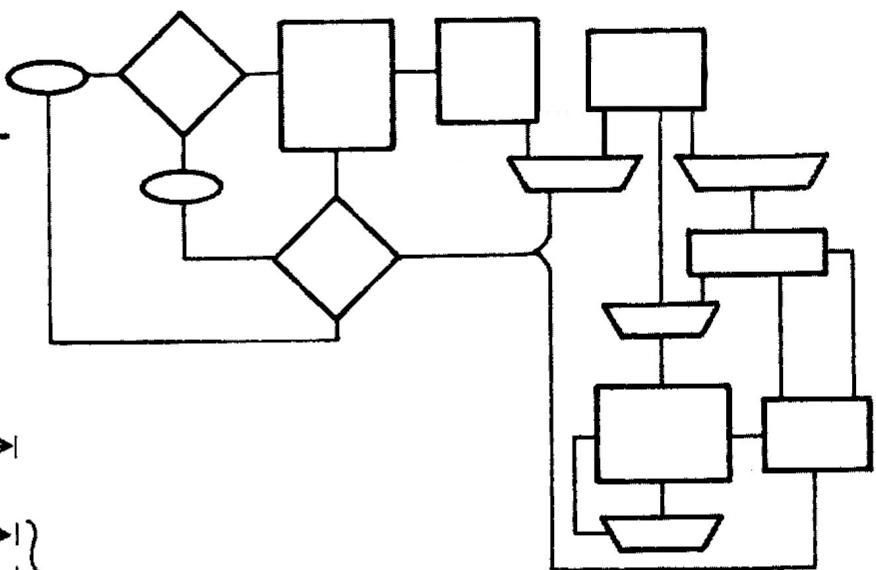
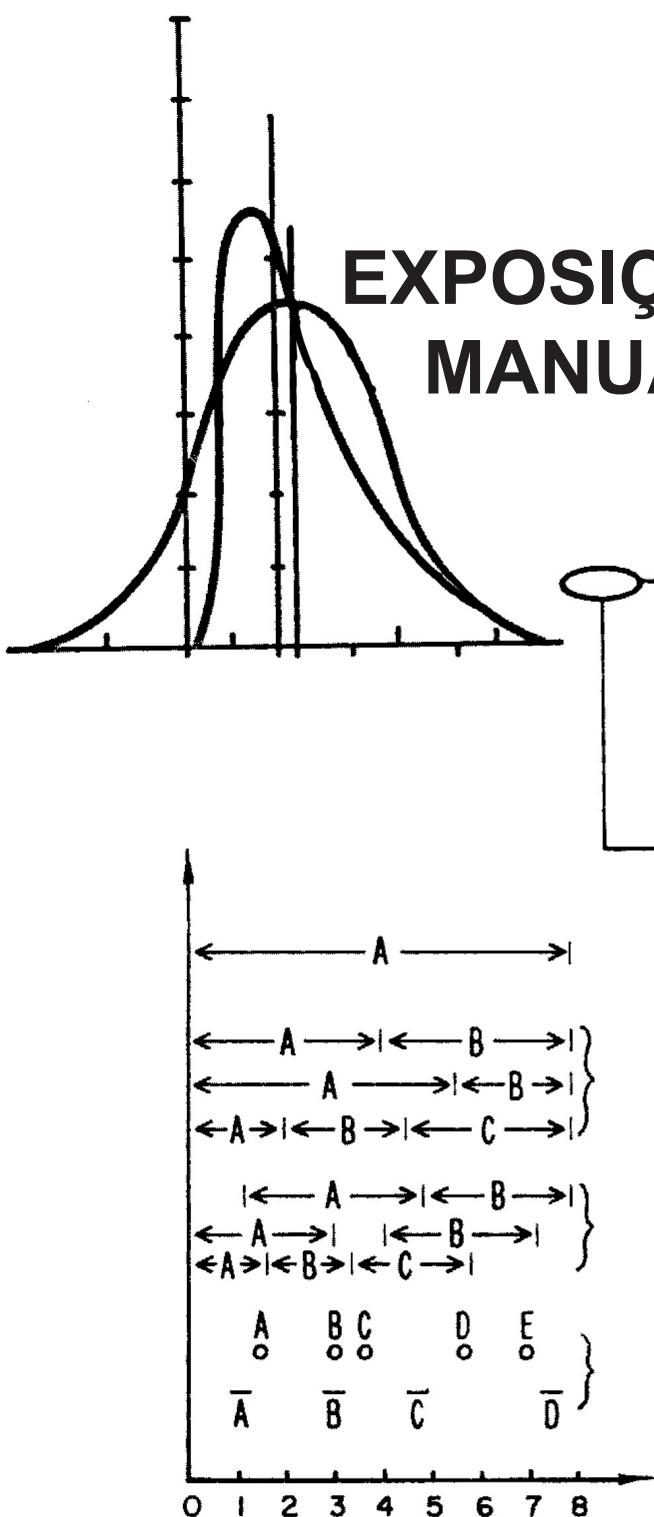


NIOSH

EXPOSIÇÃO PROFISSIONAL MANUAL DE ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM



B

EXPOSIÇÃO PROFISSIONAL MANUAL DE ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM

**NELSON A. LEIDEL
KENNETH A. BUSCH
JEREMIAH R. LYNCH**

*Com participação de
David L. Budenaers e Yaakov Bar-Shalom
Systems Control, Inc.
Palo Alto, California 94304
Contrato NIOSH CDC-99-74-75*

**DEPARTAMENTO DE SAÚDE, EDUCAÇÃO E BEM ESTAR DOS EUA
Serviço de Saúde Pública
Centro de Controle de Doenças
Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional
Cincinnati, Ohio 45226
Janeiro de 1977**

Este manual é o quarto relatório NIOSH orientado para uso de métodos estatísticos de previsão e análise na área de higiene industrial. Os três trabalhos anteriores são:

Statistical Methods for the Determination of Noncompliance with Occupational Health Standards, Relatório NIOSH 75-159 (Abril 1975).

Um relatório do tipo manual tratando de estatísticas de não conformidade e orientado para o responsável pela conformidade governamental. O material de apoio e conclusões são, no entanto, também aplicáveis aos empregadores e indústria de higienistas industriais. Disponível por \$ 1,30 na Superintendência de Documentos, Escritório de Impressão do Governo dos EUA, Washington, DC 20402, conforme GPO # 1733-00062.

Handbook for Statistical Tests for Evaluating Employee Exposure to Air Contaminants, Relatório NIOSH 75-147 (Abril 1975).

Um relatório de pesquisa, contendo um manual e teoria estatística para amostragem de níveis de contaminantes da atmosfera industrial com variáveis no tempo. Procedimentos sofisticados são disponibilizados para a montagem de curvas de tendência para coleta de dados de amostra. Disponível por \$ 3,95 na Superintendência de Documentos, Escritório de Impressão do Governo dos EUA, Washington, DC 20402, conforme GPO # 1733-00058.

Exposure Measurement Action Level and Occupational Environmental Variability, Relatório NIOSH 76-131 (Dezembro 1975).

Um relatório de pesquisa, explicando a necessidade e a base técnica para um nível de ação de medição de exposição de um meio padrão de saúde ocupacional. A teoria estatística é dada para limites de tolerância nas exposições diárias de TWA. Curvas de risco de funcionários apresentados mostram a probabilidade variável (risco), de que pelo menos 5% das médias de 8 horas diárias de exposição de um funcionário não medidas vai exceder o padrão, dado o fato de que a exposição TWA de 8 horas medida de 1 dia passou a cair abaixo do padrão por uma quantidade especificada. Disponível por \$ 1,10 na Superintendência de Documentos, Escritório de Impressão do Governo dos EUA, Washington, DC 20402, conforme GPO # 1733-00112-0.

DHEW Publicação (NIOSHI) No. 77.173

PREÂMBULO

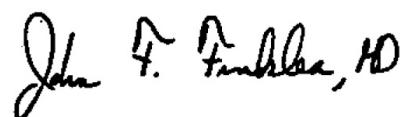
Um dos passos mais importantes para a redução do risco de saúde comprometida resultante da inalação de substâncias tóxicas é a medição e a avaliação da exposição do empregado a estas substâncias. A Lei de Segurança e Saúde Ocupacional de 1970 reconhece a importância crítica de medições da exposição dos empregados.

Seção 6 (b) (7) da Lei exige que as normas de segurança e saúde no trabalho promulgadas pela Secretaria do Trabalho, provê o controle ou medição da exposição do empregado nesses locais e, de tal maneira que possa ser necessária para a proteção dos trabalhadores. Seção 8 (c) (3) da Lei direciona regulamentos a ser emitido exigindo que os empregadores mantenham registros precisos de exposição a esses materiais potencialmente tóxicos que devem ser monitorados nos termos da Seção 6.

Para proteger a saúde dos empregados, as medições de exposição devem ser imparciais, amostras representativas da exposição do empregado. A medição adequada de exposições de empregado requer mais do que um sinal de comprometimento de pessoas, equipamento de amostragem e recursos analíticos. Esses recursos não são ilimitados, contudo, e estratégia de amostragem adequada em programas de monitoramento pode produzir o melhor uso dos recursos de medição de exposição.

Este manual contém os resultados de quase 5 anos de pesquisa estatística por pessoal empregado e contratado do Instituto Nacional de Segurança e Saúde Ocupacional. A medição de exposições e avaliação dos resultados requer o uso de procedimentos estatísticos que levam em conta variações de concentrações de exposição causados por amostragem, análise e ambiente. A pesquisa do Instituto forneceu diretrizes para estratégias de amostragem eficientes e avaliação de dados de medição.

Este manual é destinado a ajudar os empregadores a entender melhor o espírito e a intenção da exposição Federal existente e proposta de monitoramento de regulamentos. Ele deve fornecer orientação para o estabelecimento de programas de medição de exposição eficazes para proteger a saúde dos trabalhadores.



**John F. Finklea, M.D.
Diretor, Instituto Nacional de
Segurança e Saúde Ocupacional**

PREFÁCIO

Em janeiro de 1974, nós ajudamos na formulação das exigências iniciais de monitoramento de exposição do trabalhador para projetos de normas de saúde ocupacional, sendo em seguida escritas para o National Institute for Occupational Safety and Health - Instituto Nacional conjunto de Segurança e Saúde Ocupacional (NIOSH) / Standards Completion Program - Programa de Conclusão dos Padrões (SCP - PCP) da Occupational Safety and Health Administration's - Administração de Segurança e Saúde Ocupacional (OSHA). Naquela época, nós reconhecemos a obrigação de colocar à disposição dos empregadores e higienistas industriais uma publicação técnica informativa detalhando a intenção e o propósito dos regulamentos de monitoramento da exposição do empregado indicado. Também previmos um manual com recomendações do NIOSH sobre formas de satisfazer as necessidades com carga mínima para o empregador, proporcionando proteção adequada para os trabalhadores expostos. Este manual é destinado a higienistas industriais novos e experientes, bem como profissionais de segurança e funcionários de conformidade. Este material irá ajudá-los a cumprir as seguintes responsabilidades profissionais:

- elaborar planos de amostragem para avaliar a exposição ocupacional a concentrações de substâncias químicas na atmosfera,
- determinar a necessidade para medidas de exposição,
- avaliar dados de medidas de exposição e
- tomar decisões relativas à ação necessária pelas normas federais, como a 29 CFR 1910 Subparte Z.

Um contrato (NIOSH nº CDC-99-74-45) foi disponibilizado para a Systems Control Inc.

(SCI) desenvolver tal manual. O Manual de Campo Final da SCI (#SCI 5119-2) foi distribuído em Maio de 1975. O presente manual é uma consequência do manual da SCI e incorpora idéias e opiniões recebidas de revisores externos. Este manual também tenta responder a perguntas adicionais que os autores receberam no último ano relativas aos pontos de intenção técnica e efeitos dos requisitos propostos de monitoramento. Tenha em mente que a maioria dos elementos do nosso protocolo estatístico do Capítulo 4 foram projetados para uso de não-estatísticos, e às vezes fomos obrigados a trocar comandos ou eficiências estatísticas para simplificar. Além disso, os procedimentos estatísticos dados não são de natureza reguladora. Eles são recomendações técnicas da NIOSH para ajudar os empregadores no desenvolvimento de programas de monitoramento eficientes e na tomada de decisões melhores sobre os resultados das medidas de exposição do empregado.

O empregador bem intencionado desejará utilizar esses procedimentos para a proteção adicional que irá custear aos empregados. É possível desenvolver estratégias alternativas de amostragem e procedimentos de decisão, ou ambos, que oferecem proteção igual ou maior para os funcionários. Os autores gostariam de receber mais pesquisas nesta área.

Espera-se que esta é apenas a primeira edição deste manual. Os testes de campo de um projeto de Manual teriam sido mais desejáveis antes de este manual ter sido lançado, mas acreditamos que os interesses da saúde ocupacional estão melhor servidos por uma liberação oportuna de informações. Solicitamos seus comentários e idéias a respeito de como este manual pode ser melhorado, especialmente no que diz respeito a tornar-se um guia prático e útil para o pessoal de campo. Nossos objetivos foram a simplicidade, a utilidade e a objetividade.

N.A.L., K.A.B. e J.R.L.

RESUMO

A intenção e o propósito dos requisitos para monitorar a exposição de empregados são explicados, neste manual, aos empregadores. Estes requisitos foram propostos em projetos de normas de saúde ocupacional, escritos para o Programa de Conclusão de Padrões Normas do Instituto Nacional de Saúde e Segurança Ocupacional (NIOSH) juntamente com a Administração de Segurança e Saúde Ocupacional. As recomendações técnicas do NIOSH são fornecidas com formas de satisfazer as necessidades com carga mínima para o empregador, proporcionando proteção adequada para os trabalhadores expostos. Estratégias de amostragem estatística são fornecidas para ajudar os empregadores no desenvolvimento de programas eficientes para monitorar exposições ocupacionais a concentrações de substâncias químicas.

Os métodos de análise de dados ajudam na tomada de melhores decisões quanto à relação entre os resultados da medida exposição do empregado e os padrões de exposição segura. Os critérios de decisão se baseiam em pressupostos de modelos de distribuição normal e log normal para erros de amostragem/análises e para flutuações ambientais, respectivamente. O manual também aborda os temas da higiene industrial, como a determinação da necessidade de medidas de exposição, manutenção de registros, bem como a natureza de sintomas e efeitos de agentes tóxicos. Estratégias de amostragem abrangem a seleção dos sujeitos, bem como tempos de amostragem.

ÍNDICE

Preâmbulo	iii
Prefácio	v
Resumo	vii
Agradecimentos	xiii
Glossário*	xv
0. Introdução	1
0.1.. Escopo do manual	1
0.2.. Como utilizar este manual	1
1. Contexto do monitoramento da exposição de empregados na atmosfera ocupacional	5
1.1.. Lei de segurança e saúde ocupacional de 1970	5
1.2.. Padrões federais de saúde e segurança ocupacional (29 cfr 1910, subparte z).....	6
1.3.. Valores limite (tlvs) da acgih	7
1.4.. Padrões de saúde propostos pela osha	8
1.5.. Estatística e medidas de exposição ocupacional.....	9
1.6.. Estatística e observância de conformidade	15
2. Determinação da necessidade para medições de exposição.....	19
2.1.. Estados físicos dos contaminantes ambientais ocupacionais.....	19
2.1.1 Gases	19
2.1.2 Vapores	19
2.1.3 Pó.....	19
2.1.4 Fumos	20
2.1.5 Névoas	20
2.2.. Classificação fisiológica dos efeitos tóxicos.....	20
2.2.1 Agentes irritantes.....	20
2.2.2 Asfixiantes	20
2.2.3 Anestésicos e narcóticos.....	20
2.2.4 Venenos sistêmicos.....	20
2.2.5 Carcinógenos químicos	20
2.2.6 Agentes causadores de fibrose pulmonar	20
2.2.7 Teratogênicos químicos	21
2.3.. Rota de entrada e taxa de exposição	21
2.4.. Avaliação do material no local de trabalho	21
2.5.. Processo de operações como fonte de contaminantes	24
2.6.. Observações no local de trabalho	24
2.7.. Cálculo de concentrações de possível exposição.....	28
2.8.. Queixas ou sintomas de empregados	30
2.9.. Relatório de determinação ocupacional ambiental	30
3. Estratégias de amostragem para medição de exposição.....	33
3.1.. Seleção de empregado ou empregados para amostragem.....	33
3.1.1 Selecione o(s) empregado(s) com risco máximo	33
3.1.2 Amostragem aleatória de um grupo de homogêneo de trabalhadores de risco	34
3.1.3 Seleção de empregados para o programa de monitoramento de exposição periódica	35
3.2.. Amostras pessoal, de zona de respiração e do ar ambiente	37
3.3.. Estratégias de medição de exposição.....	37
3.3.1 Período total de medição de amostra única	37
3.3.2 Medidas de amostras consecutivas em intervalo total	39
3.3.3 Medidas de amostras consecutivas em intervalo parcial.....	39
3.3.4 Medições de amostragem aleatória.....	39
3.4.. Medições de exposição para um padrão twa de 8 horas	39
3.5.. Medições de exposição para um limite máximo padrão.....	42

3.6.. Registrando resultados de amostras de medição de exposição.....	43
3.7.. Intervalo entre dias monitorados	45
3.8.. Término do monitoramento de exposições.....	45
3.9.. Estratégia de amostragem para empregados que não trabalham frequentemente com substâncias perigosas	45
4. Análise estatística de resultados de amostras para medição de exposição	47
4.1.. Limites do intervalo de confiança.....	47
4.2.. Classificação de exposição	
para um padrão de twa de 8 horas	49
4.2.1 Período total de medição de amostra única.....	49
4.2.2 Medidas de amostras consecutivas em intervalo completo e medidas de amostras consecutivas em intervalo parcial	51
4.2.3 Medição de amostragem aleatória, amostra pequena (menos que 30 amostras durante o período adequado para padronização).....	55
4.2..	61
4.2.4 Medição de amostragem aleatória, amostra grande (mais que 30 amostras durante o período adequado para padronização).....	61
4.3.. Classificação da exposição para um limite máximo padrão	63
4.3.1 Classificação com base em amostras de medição	63
4.3.2 Classificação com base em períodos sem amostragem	64
4.4.. Cálculo da média geométrica de exposição de longo prazo e uso da probabilidade de não-conformidade quando decidir instalar controles de engenharia.....	65

APÊNDICE TÉCNICO

A. Cálculo de tamanho amostral para um subgrupo de risco máximo a partir de um grupo homogêneo de alto risco	71
B. Variação de exposição em grupos de trabalhadores com risco semelhante de exposição esperada ..	73
C. A inadequação do monitoramento geral do ar (área) para a medição de exposições de empregados	75
D. Coeficientes de variação e requisitos de acurácia para amostragem de higiene industrial e métodos analíticos.....	78
E. Efeitos gerais do tamanho da amostra nos requisitos para demonstração de conformidade e não-conformidade	82
F. Seleção de períodos de amostragem aleatória durante um turno de 8 horas de trabalho.....	88
G. Correções de temperatura e pressão de volumes de amostras da higiene industrial e cálculo de concentrações (ppm)	90
H. Cálculo da exposição média ponderada pelo tempo (twa).....	95
I. Gráficos de probabilidade log normal de dados de exposição de medição e médias de exposição...	97
J. Limites de confiança e níveis de confiança e como afetam o risco do empregado e do empregador.....	106
K. Teoria da decisão estatística para limites máximos de medições de exposição.....	115
L. A necessidade de um nível de ação para medição de exposição ocupacional*	118
M. Distribuições normal e log-normal da frequência.....	122
N. Critérios para selecionar e empregar um consultor de higiene industrial	128

FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1.1.	Estratégia de determinação e medição da exposição de empregados, recomendada pela NIOSH.....	11
Figura 1.2.	Dados reais de higiene industrial mostrando flutuações ambientais intra-diárias. A faixa dos dados de monóxido de carbono, no gráfico, é entre 0 e 100 ppm	14

Capítulo 2

Figura 2.1.	O tamanho dos contaminantes do ar. (Gráfico reproduzido por cortesia da Mine Safety Appliances Company.)	22
Figura 2.2.	Planilha de Dados de Segurança do Material; Formulário OSHA-20.	23
Figura 2.3.	Formulário NIOSH proposto, Ficha de Segurança de Material.....	25
Figura 2.3.	Formulário NIOSH proposto, Material Ficha de Dados de Segurança (cont.)	26

Capítulo 3

Figura 3.1.	Quadro de referência dos tipos de medições de exposição que poderiam ser tomadas para um padrão de exposição média de 8 horas.....	38
Figura 3.2	Registro de medição de exposição do empregado	44

Capítulo 4

Figura 4.1.	Exemplo de LCI e LCS unilaterais.	48
Figura 4.2.	Classificação de acordo com limites de confiança unilaterais.	48
Figure 4.3.	Gráfico de classificação média de medição de amostra aleatória.	58
Figura 4.4.	Gráfico de classificação de amostragem aleatória para exemplo da seção 4.2.3.....	59
Figura 4.5.	Gráfico estimativo para X*/STD.	60

TABELAS

Capítulo 1

Tabela 1.1.	Regulamentos propostos pela OSHA e seções deste manual que a elas se referem	10
Tabela 1.2.	Populações amostrais de exposição ocupacional	12

Capítulo 2

Tabela 2.1	Operações potencialmente perigosas e contaminantes do ar	27
------------	--	----

Capítulo 3

Tabela 3.1.	Tamanho de amostra parcial para os mais altos 10% e confiança de 0,90.....	35
Tabela 3.2.	Tabela de números aleatórios para amostragem parcial*	36

Capítulo 4

Tabela 4.1.	Sistema de classificação para exposição de empregados a contaminantes	48
Tabela 4.2.	Tabela para cálculo de porcentagem de área na extremidade de uma distribuição normal acumulada*	66

FIGURAS E TABELAS NOS APÊNDICES TÉCNICOS

Apêndice A

Tabela A-1.	Tamanho amostral para os 10% mais altos e confiança de 0,90	72
Tabela A-2.	Tamanho amostral para os 10% mais altos e confiança de 0,95	72
Tabela A-3.	Tamanho amostral para os 20% mais altos e confiança de 0,90	72
Tabela A-4.	Tamanho amostral para os 20% mais altos e confiança de 0,95	72

Apêndice B

Tabela B-1.	Níveis superiores de exposição em uma distribuição do tipo log-normal	74
Figura B-1.	Distribuição log-normal de exposição para um grupo de trabalhadores com exposição esperada semelhante. As linhas servem para diferenciar desvios padrão geométricos.	74

Apêndice D

Tabela D-1. Coeficientes totais de variação para alguns procedimentos específicos de amostragem / análise do niosh.....	79
Tabela D-2. Coeficientes gerais de variação para alguns procedimentos de amostragem / de análise.....	81

Apêndice E

Figura E-1. Efeito do tamanho de amostra consecutiva de período total sobre a demonstração de conformidade quando o poder de teste é 50%	83
Figura E-2. Efeito do tamanho da amostra aleatória sobre a demonstração de conformidade.....	84
Figura E-3. Efeito do tamanho de amostra consecutiva de período total sobre a demonstração de não-conformidade quando o poder de teste é 50%	85
Figura E-4. Efeito do tamanho da amostra aleatória sobre a demonstração de não-conformidade. Três diferentes desvios padrão geométricos (DPG) de dados refletem a quantidade de variação intradiária no ambiente.....	86
Figura E-5. Efeito de amostras consecutivas em intervalo parcial e tempo total envolvido por todas as amostras, sobre a demonstração de não-conformidade, quando o poder de teste é 50%	87

Apêndice F

Tabela F-1. Uso de uma tabela de números aleatórios para a seleção de períodos de amostragem aleatória*	89
---	----

Apêndice G

Tabela G-1. Pressão atmosférica absoluta média	91
Figura G-1. Nomograma relacionando mg/m ³ com ppm	92

Apêndice I

Figura I-1. Folha de probabilidade log normal - 2 ciclos.	98
Figura I-2. Folha de probabilidade log normal - 3 ciclos.	99
Tabela I-1. Plotar posições para folha de probabilidade normal.....	100
Figura I-3 Interpretação dos dados plotados em folha de probabilidade log normal.....	102
Figura I-4. Distribuição de medição de fluoreto de hidrogênio.....	104
Figura I-5 Distribuição da média de exposição MMA na classificação mix men.....	105

Apêndice J

Figura J-1. Distribuição amostral prevista de amostras únicas simultâneas, de 8 horas, coletadas de um empregado com média de exposição real (μ) de 80 ppm.	107
Figura J-2. Curva da função potência (FP) para um Teste de Empregador, unilateral (nível de risco 5%), utilizado para garantir a conformidade	111
Figura J-3. Curva da função potência (FP) para um Teste de Responsável pela Conformidade, unilateral (nível de risco 5%), utilizado para detectar não-conformidade.....	112
Figura J-4. Curva da função potência (FP) para um Teste de Responsável pela Conformidade, unilateral (nível de risco 1%), utilizado para detectar não-conformidade.....	113
Figura J-5. Curva da função potência (FP) para um Teste de Empregador, unilateral (nível de risco 5%), utilizado para garantir a conformidade, conforme mostram as seções 4.2.1 e 4.2.2. Calculado para método de amostragem/análise com CVT=0,05 (acurácia de aproximadamente $\pm 10\%$ em nível de confiança de 95%).....	114
Figura J-6. Curva da função potência (FP) para um Teste de Responsável pela Conformidade, unilateral (nível de risco 5%), utilizado para detectar não-conformidade	114

Apêndice L

Tabela L-1. Comparação entre programa de controle de qualidade e programa de monitoramento de exposição de empregados	120
Figura L-1. Curvas de risco de superexposição para uma medição do TWA da exposição por 8 horas..	120

Apêndice M

Figura M-1 Distribuições log-normal e normal com mesmos média aritmética e desvio-padrão.....	123
Figura M-2 Distribuições log-normal para média aritmética da concentração de 10 ppm.....	124
Tabela M-1 relações de conversão entre parâmetros logarítmicos e parâmetros aritméticos de uma distribuição log-normal.....	125

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a muitas pessoas por cartas, comentários, ideias e críticas construtivas. Nem todos podem ser individualmente agradecidos, e esta é a oportunidade de distribuir a gratidão pelo interesse e pelas contribuições. Um agradecimento especial às seguintes pessoas pelo tempo que levaram na revisão do Relatório SCI nº 5119-2, pelas observações por escrito que tiveram grande influência sobre a elaboração deste manual:

Howard E. Ayer	Universidade de Cincinatti
Acheson J. Duncan	Universidade Johns Hopkins
John W. Garis	Kemper Insurance Co.
William Heitbrink	NIOSH
J. Stuart Hunter	Universidade Princeton
John Morrison	NIOSH
Maurice Oberg	LFE Environmental Corp.
Bernard Saltzman	Universidade de Cincinatti
William Todd	NIOSH

Agradecimentos especiais também aos seguintes pelos comentários detalhados na versão preliminar deste manual:

Jeanne Burg	NIOSH
Lorice Ede	NIOSH
William Kelley	NIOSH
Howard Ludwig	NIOSH
Ray Maxson	Dow Corning
Gregory Socha	Dow Química dos Estados Unidos
David Taylor	NIOSH
Floyd Van Atta	Faculdade de Quinnipiac
William Todd	NIOSH

Não pudemos aceitar todas as sugestões. As recomendações finais e quaisquer erros são de responsabilidade dos autores.

Agradecemos ao Sr. Joe Lipera pela preparação do material em que partes dos Capítulos 1 e 2 se baseiam. O Sr. August Lauman contribuiu com a apresentação das ilustrações. Nossos agradecimentos muito especiais às Sra. Patricia Zehnder e Evelyn Jones pela paciência, muitas contribuições e ampla ajuda na preparação do manuscrito para publicação; Marion Curry e Tom Davis são responsáveis pela edição do manuscrito e o acompanharem até a publicação.

GLOSSÁRIO*

NA	Nível de ação segundo o regulamento 29 CFR 1910 Subparte Z.
CFR	Code of Federal Regulations (Código de Regulamentos Federais).
CSTD	Limite máximo padrão para exposição da saúde ocupacional do empregado, como os Padrões Federais 29 CFR 1910 Subparte Z.
CV	Coeficiente de variação, uma medida de dispersão relativa, também conhecido como desvio-padrão relativo (DPR). O CV da amostra é calculado dividindo-se o desvio-padrão pela média de amostras. Discutido no Apêndice Técnico D.
MG	Média geométrica, medida de tendência central para uma distribuição log-normal. Utilizada na seção 4.4 e discutida no Apêndice Técnico M.
DPG	Desvio-padrão geométrico, medida da dispersão relativa (variabilidade) da distribuição log-normal. Utilizada na seção 4.4 e discutida no Apêndice Técnico M.
K	Número de períodos não amostrados de exposição elevada esperada. Utilizado na seção 4.3.2.
ICI	Intervalo de confiança inferior, sobre uma média de exposição aferida. A menos que especificado de outra forma, o ICI é de 95% (unilateral) do nível de confiança.
ICI (90%)	LCI em um nível de confiança de 90% (unilateral).
n	Tamanho amostral, isto é, número de amostras ou dias sendo analisados.
Pc	Probabilidade de conformidade com um CSTD para todos os períodos K não amostrados. Utilizado na seção 4.3.2.
Pn	Estimativa de longo prazo (vários dias) da probabilidade de não-conformidade para um empregado. Calculada na seção 4.4.
LEA	Limite de exposição admissível, segundo o regulamento federal 29 CFR 1910 Subparte Z.
s	Desvio-padrão de n valores de y. Variável de classificação utilizada na seção 4.2.3.
S	Desvio-padrão dos n valores de Y _i . Calculado nas seções 4.2.3, 4.3 e 4.4.
STD	Padrão para MPT da exposição, como os Padrões federais 29 CFR 1910.1000. Também conhecido como "limite ou nível de exposição admissível" (LEA).
TLV	Valor limite, termo criado pela ACGIH. Consulte a seção 1.3.
TWA	Média ponderada da concentração de exposição pelo tempo. Consulte o Apêndice Técnico H para obter detalhes de cálculo.
LCS	Limite de confiança superior, sobre uma média de exposição aferida. A menos que especificado de outra forma, o LCI é de 95% (unilateral) do nível de confiança.

GLOSSÁRIO*

LCS (99%)	LCS em um nível de confiança de 90% (unilateral).
x	Concentração da amostra do período total padronizado calculada pela divisão do valor de X pelo STD ou CSTD, ou seja, $x = X/STD$ ou $x = X/CSTD$.
x_i	Concentração da amostra padronizada calculada pela divisão de X_i da concentração da amostra i'h pelo STD ou CSTD ou $x_i = X_i/STD$ ou $x_i = X_i/CSTD$.
X_i	Medição de amostra de período total (média de exposição de uma amostra de período completo cumulativo).
\bar{X}^*/STD	Concentração de exposição calculada a partir da iª amostra dentro de um grupo de n amostras ($i = 1, n$).
y_i	Melhor estimativa da concentração média de exposição calculada a partir de amostras aleatórias. Calculada na seção 4.2.3.
\bar{y}	Melhor estimativa da média de exposição padronizada calculada a partir de amostras aleatórias. Calculada na seção 4.2.3.
Y_i	Logaritmo em base 10 da concentração padronizada amostras. Calculado na seção 4.2.3, $y_i = \log_{10}(X_i)$.
\bar{Y}	Média aritmética de n valores de y_i . Variável de classificação utilizada na seção 4.2.3.
Y_i	Logaritmo ₁₀ da média diária de exposição medida e padronizada. Calculado na seção 4.4 [$Y_i = \log_{10}(X_i \text{ ou } \bar{X}^*/STD)_i$].
\bar{Y}	Média aritmética de valores de logaritmos (Y_i). Calculada na seção 4.4.
z	Variável normal padrão utilizada no Capítulo 4 para calcular probabilidades a partir da Tabela 4.2.
β	Probabilidade de não-conformidade com um CSTD em um intervalo não amostrado. Utilizado na seção 4.3.2.
μ	Concentração real da média ponderada pelo tempo.

*Quando no texto um registro está em itálico, ele representa uma variável de uma equação.

INTRODUÇÃO

A Associação Americana de Higiene Industrial (AIHA) definiu "Higiene Industrial" como "a ciência e a arte dedicada a reconhecimento, avaliação e controle dos fatores ou pressões ambientais originários do ou no local de trabalho, que podem resultar em doenças, debilitação da saúde e do bem estar, ou desconforto significativo e ineficiência entre os trabalhadores ou cidadãos da comunidade." Os dois elementos importantes para a proteção da saúde dos empregados no ambiente ocupacional são o reconhecimento e a avaliação da exposição destes a produtos químicos tóxicos presentes no ar. Este Manual apresenta informações que um empregador ou seu representante podem utilizar para reconhecer substâncias tóxicas presentes no ambiente ocupacional, além de auxiliar na avaliação das exposições do empregado a tais substâncias.

A avaliação adequada das exposições de empregados precisa de medidas quantitativas válidas de exposição, interpretando-as à luz da experiência e exercendo o julgamento profissional. As orientações de estratégias de amostragem do Capítulo 3 e os procedimentos de análise estatística do Capítulo 4 são ferramentas que ajudam os indivíduos responsáveis pela proteção da saúde dos trabalhadores a projetar e implementar programas de monitoramento de exposição ocupacional. Os procedimentos são meios para um fim, não um fim neles mesmos. EM TODO CASO, DEVE-SE EVITAR CAIR NA ARMADILHA DO JOGO DOS NÚMEROS E MANTER EM PERSPECTIVA O QUE OS DADOS REPRESENTAM EM RELAÇÃO AO QUÊ O TRABALHADOR ESTÁ EXPOSTO. As seções seguintes detalham as responsabilidades legais propostas e atuais, dos empregadores, quanto ao monitoramento da exposição dos empregados. O objetivo deste Manual é auxiliar o empregador a cumprir sua responsabilidade de fornecer um ambiente de trabalho seguro ao implantar um programa de monitoramento de exposição em conformidade. Os requisitos de monitoramento de exposição de empregados propostos pela Occupational Safety and Health Administration (OSHA), pormenorizados na Seção 1.4, foram desenvolvidos

a partir do duplo princípio de reconhecimento e avaliação de exposições perigosas que os higienistas industriais seguiram por muitos anos. Dessa forma, a organização deste Manual obedece tanto a sequência dos requisitos propostos pela OSHA quanto os estágios que um higienista industrial seguiria ao avaliar um ambiente ocupacional.

0.1 ESCOPO DO MANUAL

As estratégias de amostragem e os métodos estatísticos deste Manual se aplicam especificamente às exposições ocupacionais a concentração de substâncias químicas em suspensão (como poeira, fumos, névoas, gases e vapores). A aplicação de modelos de distribuição normal e log-normal para medidas de concentração de exposição ocupacional foi detalhada em trabalhos anteriores de Leidel e Busch (0-1) e Leidel, Busch e Crouse (0-2), e é discutida no Apêndice Técnico M. A aplicabilidade desses métodos para dados de exposição de agentes físicos como ruído e calor é desconhecida no momento devido à falta de conhecimento de modelos de distribuição apropriados para tais tipos de dados. Entretanto, descobriu-se que as distribuições normal e log-normal são apropriadas para os dados em questão, então os métodos deste manual poderiam ser utilizados conforme apropriados. Para os interessados em exposições ocupacionais a radiação em minas, Misaki (0-3) possui um excelente manual de amostragem e análise de dados para esse tipo de situação.

0.2 COMO UTILIZAR ESTE MANUAL

A lista abaixo corresponde a um guia geral para o tipo de questões que você deve fazer ao formular um programa de monitoramento de conformidade, e as seções do Manual que se remetem a elas. Consulte também o material da seção 1.4, especialmente o fluxograma da Figura 1.1.

- 1-1 Lembre-se que os procedimentos recomendados, especialmente os procedimentos do Capítulo 4, vão além dos requisitos legais mínimos, correntes e propostos.

REFERÊNCIAS

- 0-1. Leidel, N. A. e K. A. Busch. *Statistical Methods for the Determination of Noncompliance with Occupational Health Standards*. Editora NIOSH Technical Information, HEW. No. (NIOSH) 75-159, Cincinnati, Ohio 45226, Abril de 1975.
- 0-2. Leidel, N. A., K. A. Busch e W. E. Crouse. *Exposure Measurement Action Level and Occupational Environmental Variability*. Editora NIOSH Technical Information, HEW. N° (NIOSH) 76-131, Cincinnati, Ohio 45226, Abril de 1975.
- 0-3. Misaqi, F. L.. Application of Statistics to Radiation Surveys in Mines. Mining Enforcement and Safety Administration Informational Report 1020, Washington.

Lista para o Monitoramento da Exposição de Empregados

Item

	Sim...	Não...	<u>Referente a</u>
1. Há material tóxico ou perigoso no local de trabalho, que pode ser liberado no ar local?	Sim...	Não...	Cap. 2
2. Se sim, você fez uma resolução por escrito para cada material tóxico, que indica que qualquer funcionário pode estar exposto a concentrações de cada material na atmosfera?	Sim...	Não...	Cap. 2
3. Se sim, a resolução por escrito inclui minimamente o seguinte:			
a. Informações, observações ou cálculos que indicariam a exposição do empregado?	Sim...	Não...	
b. Se os empregados estão expostos a material tóxico, a afirmação sobre a exposição está acima ou no nível da ação?	Sim...	Não...	
c. Empregados que se queixam de sintomas atribuíveis às exposições?	Sim...	Não...	
d. Data da resolução, trabalhos sendo realizados, localização dentro do local de trabalho, nomes e números de registro de empregados possivelmente expostos, na previdência social?	Sim...	Não...	Cap. 2
e. Concentração de medidas (da área ou individual) obtidas?	Sim...	Não...	
f. Comentários sobre exames médicos que podem apontar para possíveis exposições	Sim...	Não...	
4. Há qualquer possibilidade razoável de algum empregado ser exposto acima do nível de ação de acordo com a determinação por escrito?	Sim...	Não...	Cap. 2
5. Se sim, você mediou a exposição do (s) empregado (s) mais suscetível a ter a maior exposição (empregados com risco máximo)?	Sim...	Não...	Cap. 3
6. Se não, você repetiu a Etapa 2 e as etapas subsequentes cada vez que houve uma alteração na produção, no processo ou nas medidas de controle, que poderia resultar em um aumento nas concentrações, no ar, de algum dos materiais da Etapa 2?	Sim...	Não...	Cap. 2
7. Se alguma medida de exposição indica exposição acima do nível de ação, você:			
a) Identificou todos os empregados expostos?	Sim...	Não...	Cap. 3
b) Amostrou os empregados identificados?	Sim...	Não...	
c) Classificou todos os empregados em exposição em não-conformidade, possível superexposição e exposição em conformidade?	Sim...	Não...	Cap. 4

- | | | | | |
|--|--------|--------|--|----------------------|
| 8. Você empregou as seguintes ações, de acordo com a classificação do empregado: | | | | |
| a. Reamostrou, no período de 1 mês, empregados com exposições em não-conformidade, e decidiu quais controles seriam instituídos? | Sim... | Não... | | Cap. 3 |
| b. Reamostrou, no período de 2 meses, os empregados como possível superposição, e os reclassificou se necessário? | Sim... | Não... | | |
| c. Reamostrou, a cada 2 meses (ou quando ocorreram alterações na operação), empregados cujas exposições estavam em conformidade e os reclassificou, se necessário? | Sim... | Não... | | Cap. 4 |
| 9. Os empregados cujas exposições excediam os padrões federais foram comunicados? | Sim... | Não... | | |
| 10. Todas as medidas de exposição de empregados foram adequadamente registradas e arquivadas? | Sim... | Não... | | Seção 3.6 |
| 11. Foram instituídos controles adequados para os empregados que deles necessitavam? | Sim... | Não... | | (Apêndice Técnico N) |

CAPÍTULO 1

CONTEXTO DO MONITORAMENTO DA EXPOSIÇÃO DE EMPREGADOS NA ATMOSFERA OCUPACIONAL

1.1 LEI DE SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAL DE 1970

Embora o primeiro registro reconhecido de doença ocupacional seja do século IV a.C, havia pouca preocupação para proteger a saúde dos trabalhadores, antes do século XIX. Em 1833, as Leis de Fábricas (*Factory Acts*) foram aprovadas na Grã Bretanha. Ainda que essas leis se direcionassem mais para proporcionar compensações por acidentes do que para a prevenção e o controle das causas, são consideradas os primeiros atos legislativos que exigiam alguma atenção da população trabalhadora.

Em 1908, nos Estados Unidos, uma lei de compensação foi aprovada para certos funcionários públicos. Então, em 1911, as primeiras leis estaduais de compensação foram aprovadas, e, em 1948, todos os Estados tinham alguma forma de compensação aos trabalhadores. Entretanto, foi na última década que a legislação federal teve um impacto dramático na segurança e saúde ocupacional do trabalhador estadunidense. A Federal Coal Mine Health and Safety Act [Lei Federal de Saúde e Segurança em Minas de Carvão], 1969, (P.L. 91-173) dirigia-se à saúde, proteção da vida e prevenção de doenças em mineiros e pessoas que, mesmo não sendo mineiras, trabalhavam com ou no entorno de produtos de minas de carvão.

A Lei de Segurança e Saúde Ocupacional de 1970 (P.L. 91-596) é uma das leis federais de maior alcance já promulgadas, na medida em que se aplica a todos os empregados e empregadores envolvidos em uma atividade que afeta o comércio, exceto empregados do governo e empregados e empregadores de locais regulados por outras leis federais. Citando o preâmbulo da Lei, seu objetivo é:

"Assegurar condições de trabalho seguras e saudáveis, para trabalhadores e trabalhadoras, autorizando a aplicação de padrões desenvolvidos pela Lei; auxiliando e motivando os estados no esforço de assegurar condições de trabalho seguras e saudáveis; proporcionando pesquisa, informação, formação e treinamento no campo da saúde e segurança ocupacional; dentre outros."

Com relação a isso, a Lei especifica que as obrigações do empregador são oferecer a cada empregado um local de trabalho livre dos perigos reconhecidos que causavam, ou provavelmente causavam, a morte ou ferimentos graves, além de cumprir os padrões promulgados pela OSHA. Decisões judiciais, definindo os deveres do empregador, já foram feitas, e resta pouca dúvida de que a responsabilidade final pelo cumprimento das disposições da Lei reside no empregador. Tal responsabilidade abrange a determinação da existência de uma condição de risco no local de trabalho, a avaliação do grau do risco e, se preciso, o controle necessário para prevenir doenças ocupacionais.

Mas quais são as obrigações do empregado, pela Lei? O empregado também tem que cumprir os padrões de segurança e saúde, já que se referem a seus desempenho e ações no trabalho. Apesar de não haver disposições para emitir citações ou penalizar um empregado, as boas práticas prescreveriam que ele (a) informe a autoridade apropriada caso existam condições que possam causar lesões pessoais e (b) obedeça todas as regras de segurança, utilize todos os equipamentos prescritos de proteção individual e siga os procedimentos estabelecidos para manter um ambiente de trabalho seguro e saudável.

1.2 PADRÕES FEDERAIS DE SAÚDE E SEGURANÇA OCUPACIONAL (29 CFR 1910, SUBPARTE Z)

Em 28 de abril de 1971, a Lei de Saúde e Segurança Ocupacional entrou em vigor. A primeira compilação dos padrões de saúde e segurança promulgados pelo Departamento do Trabalho da OSHA derivou dos padrões federais existentes e normas do consenso nacional. Assim, muitos dos Valores Limites (TLVs) de 1968 estabelecidos pela Conferência Americana de Higienistas Governamentais Industriais (ACGIH) se tornaram normas federais porque incluíram uma lei federal anterior. Além disso, certos padrões de qualidade do local de trabalho determinados pelo Instituto Nacional de Padronização (ANSI) foram incorporados como padrões de saúde na 29 CFR 1910.1000 (Tabela Z-2) pois eram considerados normas do consenso nacional.

Os regulamentos de saúde que tratavam como substâncias tóxicas e perigosas foram codificados originalmente na Subparte G, Saúde Ocupacional e Controle Ambiental, da 29 CFR Parte 1910. A expressão "29 CFR 1910" se refere ao Título 29 (Trabalho) do Código de Regulamentação Federal disponível na Superintendência de Documentação da Imprensa Oficial Norte-Americana. O número "1910" se refere à Parte 1910 do Título 29, que contém os Padrões de Saúde e Segurança Ocupacional. A maioria dos padrões federais de exposição ocupacional a substâncias tóxicas consta na 29 CFR 1910.93, Contaminantes do Ar, Tabelas G-1, G-2 e G-3. No dia 28 de maio de 1975, a OSHA anunciou a recodificação dos padrões de contaminantes do ar, na Subparte Z, Substâncias Tóxicas e Perigosas. Os dois parágrafos abaixo correspondem a uma versão modificada do anúncio.

No dia 29 de setembro de 1974, na 39 FR 33843, a OSHA declarou a intenção de dar início ao processo de regulamentação para publicar padrões mais completos para cada uma das substâncias listadas nas Tabelas G-1, G-2 e G-3 da 29 CFR 1910.93. Como resultado, espera-se que aproximadamente 400 padrões adicionais de tratamento de substâncias tóxicas sejam promulgados. As regulamentações que tratam de substâncias tóxicas constam na Subparte G da Parte 1910. Essa subparte contém apenas algumas seções e seções adicionais numeradas não podem ser incluídas

sem renumerar completamente as subpartes seguintes. Portanto, novos padrões que tratam de substâncias tóxicas individuais foram posteriormente inseridas seguindo a seção 1910.93 pela adição de sufixos e letras (por exemplo, seção 1910.93 a-Amianto, seção 1910.93 b-Matéria volátil de alcatrão de hulha).

Essa numeração é satisfatória para o uso limitado, mas não é conveniente para um grupo maior de novas seções, pois isso gera sufixos complexos com muitas letras. Assim, tendo em vista que a OSHA contempla a promulgação de uma grande quantidade de padrões que tratam de substâncias tóxicas, esse sistema de numeração não pode continuar. Consequentemente, os padrões de substâncias tóxicas presentes na Subparte G da Parte 1910 foram recodificados e alocados na nova Parte 1910, iniciando-se na seção 1910.1000. Essa recodificação simplificará a forma pela qual os padrões para substâncias tóxicas podem ser referenciados e eliminará confusões desnecessárias.

A tabela a seguir apresenta a recodificação do Título 29 Parte 1910, das Seções 1910.1000 a 1910.1017, respectivamente.

<i>Nº da Seção Antiga (Subparte G)</i>	<i>Nº da Nova Seção (Subparte Z)</i>	
1910.93	1910.1000	Contaminantes do ar
1910.93a	1910.1001	Amianto
1910.93b	1910.1002	Interpretação do termo "matéria volátil do alcatrão de hulha"
1910.93c	1910.1003	4-Nitro-bifenila
1910.93d	1910.1004	alfa-Naftilamina
1910.93e	1910.1005	4,4-Metileno bis (2-cloroanilina)
1910.93f	1910.1006	Clorometil metil éter
1910.93g	1910.1007	3,3'-Diclorobenzidina (e seus sais)
1910.93h	1910.1008	Clorometil éter bis
1910.93i	1910.1009	beta-Naftilamina
1910.93j	1910.1010	Benzidina
1910.93k	1910.1011	4-Aminobifenil
1910.93l	1910.1012	Etilenoimina
1910.93m	1910.1013	beta-Propiolactona
1910.93n	1910.1014	2-Acetilaminofluoreno

1910.930	1910.1015	4-Dimetilaminoazobenzeno
1910.93p	1910.1016	N-Nitrosodimetilamina
1910.93q	1910.1017	Cloreto de vinila

As tabelas G-1, G-2 e G-3 da seção 1910.93 (nova seção 1910.1000 delineada) foram remodeladas como Tabelas Z-1, Z-2 e Z-3, respectivamente. Todas as referências que a nova seção 1910.100 fazem às Tabelas G-1, G-2 e G-3 foram revisadas para corresponder à remodelagem.

Um prático volume de bolso dos padrões 29 CFR 1910, disponível como publicação OSHA 2206, contém informações atuais até 1º de janeiro de 1976.

1.3 VALORES LIMITE (TLVs) DA ACGIH

No campo da higiene industrial, o controle do ambiente de trabalho baseia-se na pressuposição de que, para cada substância, existe algum nível seguro ou tolerável de exposição abaixo do qual não ocorrem efeitos adversos significativos. Refere-se a esses níveis, genericamente, como valores limite. No entanto, o termo "valores limite" também se refere especificamente aos limites de exposição ocupacional publicados por um comitê da ACGIH, revisados e atualizados a cada ano para assimilar novas informações e reflexões (1-1). Comumente são chamados de "TLVs", e a lista (1-1) é conhecida como "Folheto de TLV". A ACGIH periodicamente publica um documento sobre os TLVs, onde fornece dados e informações em qual TLV cada substância se baseia (1-2). Esse documento (1-2) pode ser utilizado para fornecer ao higienista industrial uma visão para auxiliar o julgamento profissional ao aplicar os TLVs.

Deve-se observar vários pontos importantes sobre os TLVs. Primeiramente, o termo "TLV" é uma marca registrada da ACGIH. Não deve ser utilizado para se referir ao padrão federal ou outros padrões. Sendo os TLVs anualmente atualizados, deve-se utilizar o "Folheto de TLV" mais recente. Ao fazer referência a um valor da ACGIH, o ano da publicação deve preceder o valor, por exemplo: "O 1974 TLV para óxido nítrico era 25 ppm." Em segundo lugar, os TLVs não são obrigatórios para padrões de exposição de empregados do Estado ou da União. Os TLVs são atualizados anualmente e geralmente refletem as recomendações profissionais mais recentes, relativas a exposição de

empregados a substâncias específicas.

Se ocorrer de um TLV ser inferior a um padrão de saúde federal ou estadual, o empregador deve se esforçar para limitar a exposição do empregado ao TLV, mesmo que a obrigação legal não é se sobrepor ao padrão federal ou estadual.

O seguinte material informativo sobre os TLVs está citado a partir do prefácio do 1976 TLV Folheto V, com autorização da ACGIH:

Os valores limite se referem a concentrações de substâncias na atmosfera e representam condições abaixo das quais se acredita que quase todos os trabalhadores podem estar expostos sem efeitos adversos dia após dia.

Devido à grande variação da sensibilidade individual, contudo, uma pequena porcentagem de trabalhadores pode sentir desconforto com algumas substâncias em concentrações abaixo ou no limite; uma porcentagem menor pode ser mais seriamente afetada pelo agravamento de condições pré-existentes ou pelo desenvolvimento de uma doença ocupacional.

Médias ponderadas pelo tempo permitem digressões acima do limite, já que são compensadas por excursões equivalentes abaixo do limite durante o dia de trabalho. Em alguns exemplos, pode ser admissível calcular a média de concentração de uma semana de trabalho em vez de um dia. O grau da excursão admissível relaciona-se com a amplitude do valor limite de uma substância particular, fornecido no Apêndice D. A relação entre o valor limite e a excursão admissível é uma regra de ouro e, em alguns casos, não se aplica. O valor pelo qual os limites podem ser ultrapassados por períodos curtos sem prejuízo à saúde depende de uma série de fatores, como a natureza do contaminante seja caso as concentrações muito altas - mesmo por um curto período - produzam intoxicação aguda, seja porque os efeitos são cumulativos, também a frequência com que as altas concentrações ocorrem e a duração desses intervalos. Devem-se relevar todos os fatores para se decidir se uma situação de risco existe.

Os limites se baseiam na melhor informação disponível a partir da experiência industrial,

dos estudos experimentais em seres humanos e animais e, quando possível, através de uma combinação dos três. A base na qual os valores foram estabelecidos pode variar de substância para substância; a proteção contra o comprometimento da saúde pode ser um fator de orientação para alguns, enquanto uma razoável imunidade a irritações, narcoses, incômodos e outras formas de estresse podem constituir a base, para outros.

A quantidade e a natureza de informações disponíveis para estabelecer o TLV variam de substância para substância; consequentemente, a precisão do TLV estimado também está sujeita à variação e o DOCUMENTO mais recente deve ser consultado a fim de avaliar a extensão dos dados disponíveis para uma dada substância.

O comitê sustenta a opinião de que os limites baseados na irritação física não devem ser considerados menos vinculativos que os baseados em comprometimento físico. Há cada vez mais evidências de que as irritações físicas podem iniciar, promover ou acelerar o comprometimento físico através da interação com outros agentes químicos ou biológicos. Apesar do fato de não se acreditar que lesões graves decorrem provavelmente da exposição a concentrações de limites, a melhor atitude é manter as concentrações de todos os contaminantes atmosféricos tão baixas quanto o realizável.

Tais limites são destinados ao uso na prática da higiene industrial e devem ser interpretados e aplicados apenas por alguém com formação na disciplina. Não são destinados para o uso, ou para a modificação para uso (1) como um índice relativo de perigo ou toxicidade, (2) na avaliação ou controle dos incômodos, à comunidade, de poluição do ar, (3) na estimativa do potencial tóxico de exposições contínuas e ininterruptas ou outros períodos prolongados de trabalho, (4) como prova ou refutação de uma circunstância de doença ou problemas físicos, ou (5) para adoção por países cujas condições de trabalho são diferentes das existentes nos Estados Unidos e onde substâncias e processos são diferentes.

1.4 PADRÕES DE SAÚDE PROPOSTOS PELA OSHA

Desde janeiro de 1974, o National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) e a OSHA deram encaminhamento ao Programa Conclusão de Padrões (SCP) NIOSH/OSHA. Regulamentação Federal

A 29 CFR 1910.1000, Tabelas Z-1, Z-2 e Z-3 (antiga 1910.93, Tabelas G-1, G-2 e G-3) estabelece limites de exposição admissíveis para aproximadamente 400 substâncias químicas. A OSHA propõe inserir na 29 CFR 1910 padrões de saúde que, se adotados, estabelecerão requisitos detalhados para cada substância química, em áreas como:

1. medida da exposição do empregado,
2. vigilância médica,
3. métodos de conformidade,
4. manuseio e uso de substâncias líquidas,
5. treinamento de empregados,
6. manutenção de registros,
7. saneamento e limpeza.

A partir de setembro de 1976, padrões de saúde e substâncias tóxicas têm sido publicados como normas propostas no Registro Federal para as seguintes substâncias (em ordem cronológica):

8 de maio de 1975 - cetonas (6), inclusive 2-butanona, 2-pantanona, cicloexanona, hexano, metil n-amil cetona e etil-butil-cetona

3 de outubro de 1975 - chumbo

6 de outubro de 1975 - tolueno

8 de outubro de 1975 - geral (11), inclusive alquilbenzenos (p-tert-butil-tolueno, cumeno, etilbenzeno, alfametilestireno, estireno e vinil tolueno); ciclohexanono; cetonas (cânfora, óxido mesitil e 5-metil-3-heptanona); e ozônio

9 de outubro de 1975 - amianto

17 de outubro de 1975 - berílio

20 de outubro de 1975 - tricloroetileno

24 de novembro de 1975 - dióxido de enxofre

25 de novembro de 1975 - amônia

Como afirmado no prefácio, um dos principais objetivos deste Manual de Estratégia de Amostragem Ocupacional é detalhar a intenção e o propósito dos requisitos de monitoramento de exposição de empregados que constam nos regulamentos de saúde propostos. Este Manual também contém recomendações relativas a formas de cumprir os regulamentos propostos. É IMPORTANTE OBSERVAR QUE ALGUNS PROCEDIMENTOS APRESENTADOS

NESTE MANUAL EXEDEM OS REQUISITOS MÍNIMOS DOS REGULAMENTOS PROPOSTOS PELA OSHA. Em especial, os regulamentos propostos não exigem que os empregadores mantenham o limite de confiança superior (LCS) das médias de empregados abaixo do limite aplicável de exposição admissível. A única referência a estatística ocorre onde o método de medida utilizado deve atender os requisitos de acurácia em um nível de confiança de 95%. O método de medida se refere somente ao dispositivo de amostragem (como a bomba utilizada para extrair o ar através de um filtro, tubo de adsorvente ou impínger) e ao procedimento de análise química utilizado para determinar a quantidade de substância química.

Todavia, acredita-se que o empregador bem intencionado desejará utilizar os procedimentos estatísticos contidos no Capítulo 4. A Tabela 1.1 mostra as seções deste Manual que se aplicam a partes específicas dos regulamentos propostos para 2-pentanona, conforme publicado em 8 de maio de 1975 no Registro Federal. Essa seção é quase idêntica para a maioria dos padrões de saúde de substâncias tóxicas.

A Figura 1.1 fornece um fluxograma geral da determinação da exposição de empregados proposta pela OSHA e a estratégia de medida para os requisitos normativos da Tabela 1.1.

1.5 ESTATÍSTICA E MEDIDAS DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

Um dos objetivos mais importantes de qualquer programa de higiene industrial é avaliar, com acurácia, as exposições ocupacionais dos empregados a contaminantes atmosféricos, onde for necessário, pelas medidas de exposição. O uso de estatísticas nesse processo de avaliação é necessário porque todas as medidas de propriedades físicas contêm algum inevitável erro aleatório de medida.

Isto é, devido ao efeito dos erros aleatórios de medida, qualquer média de exposição para um empregado calculada a partir de medidas de exposição é apenas uma estimativa da média real de exposição. Esta seção irá discutir vários conceitos estatísticos e como se aplicam à amostragem de exposição ocupacional. Em seguida, serão trabalhadas as fontes de variação de medida.

Antes de chegar à terminologia da estatística, uma questão básica deve ser respondida:

"Por que higienistas industriais sequer devem se preocupar com estatísticas?" Simplesmente por causa dos erros de medida? As técnicas estatísticas não irão levar o profissionalismo para fora da profissão higiene industrial? Absolutamente não! Em primeiro lugar, perceba que a Estatística trata de todo um campo de técnicas para coletar, analisar, e, o mais importante, fazer inferências (ou chegar a conclusões) a partir de dados. Snedecor e Cochran

(1-3) afirmam:

"A Estatística não possui uma fórmula mágica para fazer isso em todas as situações, pois há muito a se aprender sobre o problema de se fazer inferências sólidas. Mas as ideias básicas da Estatística irá nos ajudar a pensar claramente sobre

o problema, fornecer algumas orientações sobre as condições que devem ser satisfeitas se inferências sólidas forem feitas, e possibilitar que detectemos muitas inferências que não têm fundamentação lógica."

Pode-se parafrasear Armitage (1-4) para justificar a aplicação adequada de técnicas estatísticas. A variação de medidas de exposição ocupacional é um argumento a favor das informações estatísticas, não contra elas. Se o higienista industrial encontra uma única ocasião em que a exposição está abaixo do nível desejado, não resulta que todas as exposições estarão abaixo do nível alvo. O higienista industrial precisa das informações estatísticas que indiquem que os níveis de exposição estão suficiente e consistentemente baixos. A "experiência profissional" muitas vezes mencionada provavelmente é, em parte, comparações essencialmente estatísticas derivadas de uma vida de prática industrial. A discussão, então, é se tais informações devem ser armazenadas de maneira bastante informal na mente do higienista industrial ou se elas devem ser coletadas e distribuídas de maneira sistemática. Muito poucos higienistas adquirem, por experiência pessoal, informações concretas sobre toda a gama de situações de exposição ocupacional, e é em parte pela coleta, análise e distribuição de informações estatísticas sobre a exposição ocupacional que um corpo de conhecimento comum é construído e solidificado. Agora vamos para a discussão da terminologia utilizada nos procedimentos estatísticos.

Uma *população estatística* corresponde a uma classificação inteira de itens sobre os quais serão tiradas conclusões. De maneira geral, é impossível, ou impraticável, medir todos os itens da população.

TABELA 1.1. REGULAMENTOS PROPOSTOS PELA OSHA E SEÇÕES DESTE MANUAL QUE A ELAS SE REFEREM

(a) Definições. (1) "Exposição admissível" indica a exposição dos empregados a concentrações de 2-pantanona na atmosfera, que não excedam a média de 200 partes por milhão (ppm) ou 700 miligramas por metro cúbico (mg/cu m) em um turno de 8 horas de trabalho (média ponderada no tempo), como afirmado em 1910.93. Tabela G-1.

(2) "Nível de ação" indica metade (1/2) da exposição admissível para 2-pantanona.

(b) *Determinação e medição de exposição.* (1) Cada empregador que possui um local de trabalho onde a 2-pantanona é liberada no ambiente deve determinar se o empregado pode estar exposto a concentrações de 2-pantanona na atmosfera acima ou no nível de ação.

A determinação deve ser o processo de produção, ou medidas de controle, que poderiam resultar em um aumento de concentrações de 2-pantanona na atmosfera.

(2) Um registro escrito da resolução deve ser feito e deve conter pelo menos as seguintes informações:

(i) Qualquer informações, observação ou cálculo que indicam a exposição do empregado a 2-pantanona;

(ii) Medidas de 2-pantanona realizadas;

(iii) Queixas de sintomas que podem ser atribuíveis à exposição a 2-pantanona; e

(iv) Data da resolução, trabalho realizado no momento, localização dentro do local de trabalho, nome e número de cadastro na previdência social, de cada empregado considerado.

(3) Se o empregador determinar que algum empregado pode estar exposto a 2-pantanona, acima ou no nível de ação, a exposição do empregado, de cada operação, que se acredita ter o índice mais alto, deve ser medida. A medição de exposição será representativa da média ponderada máxima, referente à dita exposição, durante um período de oito horas.

(4) Se a medida de exposição realizada nos termos do parágrafo (b) (3) desta seção revelar que a exposição do empregado a 2-pantanona está acima ou no nível de ação, o empregador deverá

(i) Identificar todos os empregados que podem estar expostos acima ou no nível de ação; e

(ii) Medir a exposição desses empregados identificados.

APÊNDICE L

CAPÍTULO 2

SEÇÃO 3.1

CAPÍTULO 3

(5) Se a medida de exposição de um empregado revelar que ele está exposto à 2-pantanona, acima ou no nível de ação, mas não acima da exposição admissível, a exposição do empregado deve ser medida a cada dois meses, pelo menos.

(6) Se a medida de exposição de um empregado revelar que ele está exposto à 2-pantanona, acima da exposição admissível, o empregador deverá:

(ii) Medir, todos os meses, a exposição desses empregados expostos;

(ii) Instituir medidas de controle conforme o parágrafo (d) desta seção e

(iii) Notificar individualmente, por escrito, no período de cinco dias, cada empregado que ele descobrir estar exposto acima do nível admissível de 2-pantanona. O empregado também deve ser notificado sobre a ação corretiva que será realizada para reduzir a exposição abaixo ou no nível admissível.

(7) Se duas medidas consecutivas, de exposição de empregados, forem feitas pelo menos com intervalo de uma semana e revelarem que o empregado está exposto a um nível de 2-pantanona abaixo do nível de ação, o empregador pode finalizar a medição para esse empregado.

(8) Para os fins deste parágrafo, a exposição do empregado é aquela que ocorreria caso este não estivesse utilizando uma máscara de respiração.

(c) *Métodos de medição.* (1) A exposição do empregado deve ser obtida por alguma combinação de amostra de longo ou curto prazo que representa a média real do empregado em um turno de oito horas de trabalho (confira o Apêndice B (IV)), desta seção, para métodos de medição sugeridos.

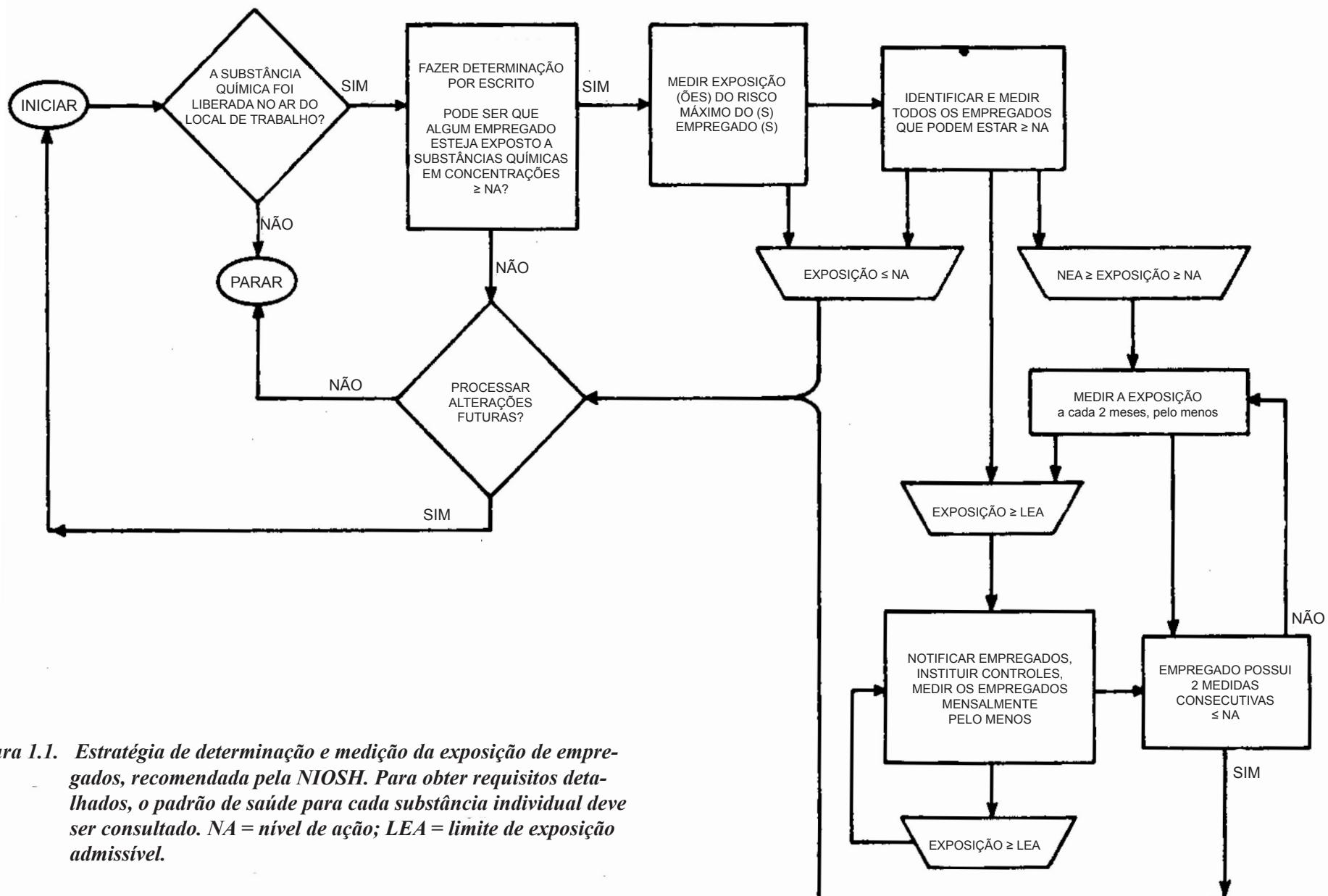
(2) O Método de Medições deve ter acurácia, para um nível de confiança de 95 porcento, com não menos que o indicado na Tabela 1.

Concentração	Acurácia requerida (porcento)
Acima da exposição admissível	±25
Acima ou no nível da exposição admissível e abaixo ou no nível de ação	±35
Abaixo ou no nível de ação.....	±50

CAPÍTULO 4

CAPÍTULO 3

APÊNDICE D



Dessa forma, geralmente tomamos medidas de vários itens que compõem uma amostra estatística, extraída da população. Os resultados das amostras são generalizados para se conseguir conclusões sobre a população como um todo. Após medir os itens da amostra estatística, as medidas podem ser classificadas em grupos tanto no formato de tabela ou de gráfico. Reconhece-se, então, que as medidas possuem alguma distribuição.

O próximo passo da redução de dados é encontrar onde as medidas se concentram (ou onde está o maior volume de medidas). Há várias *medidas* estatísticas da *posição central* (ou tendência central). Aqui se utiliza média aritmética e média geométrica. Os cálculos delas estão demonstrados no Capítulo 4. Por fim, como as medidas estão distribuídas sobre o valor do centro são determinadas. Várias medidas de dispersão dão ideia da distribuição ou variação das medidas. Aqui se utiliza desvio-padrão geométrico, desvio-padrão normal e coeficiente de variação (ou desvio-padrão relativo). Os métodos de cálculos são fornecidos no Capítulo 4.

O uso da palavra "amostra", neste Manual, pode ser fonte de confusão. A rigor, na acepção estatístico, uma amostra contém vários itens, cada qual possuindo alguma característica aferida. Na acepção da higiene industrial, contudo, uma amostra consiste em um (uns) contaminante (s) do ar coletado por um dispositivo físico (como filtro ou tubo de carvão). Usualmente se realiza a amostragem de higiene industrial pela captação de um volume medido de ar através de um filtro, um tubo adsorvente ou um dispositivo provido com impinger, ou outros instrumentos que capturem e coletam o contaminante atmosférico. Porém, na acepção deste Manual, a estratégia de amostragem da exposição ocupacional combina tanto o conceito da amostra estatística quanto o da amostra física que será analisada quimicamente. Na Tabela 1.2, há alguns exemplos de tipos de populações que podem ser encontradas na amostragem de exposição ocupacional. Consulte o Apêndice Técnico M, Distribuições Normal e Log-normal da Frequência, para uma discussão sobre a aplicação dessas distribuições.

TABELA 1.2. POPULAÇÕES AMOSTRAIS DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

População exemplo	Exemplo de amostra estatística utilizada para estimar parâmetros populacionais	Exemplo de amostra estatística utilizada para estimar parâmetros populacionais	Medida de dispersão	Melhor modelo de distribuição para adequação aos dados
Concentração de contaminante no ar, de um empregado exposto a um turno de 8 horas de trabalho.	Medidas de amostras aleatórias durante turno de 8 horas	(a) Média aritmética (TWA de 8 horas) (b) Média geométrica	Desvio-padrão geométrico (variabilidade intradiária)	Log-normal
Médias diárias (TWA de 8 horas) de exposição de um empregado, obtidas por vários dias.	Várias médias diárias de exposição aferidas	(a) Média geométrica de longo prazo (b) Média aritmética de longo prazo	Desvio-padrão geométrico (variabilidade intradiária)	Log-normal
Médias diárias (TWA de 8 horas) de exposição de todos os empregados, de um grupo ocupacional com risco similar de exposição esperada, em um determinado dia.	Médias diárias de exposição medidas para vários empregados do grupo	(a) Média geométrica do grupo (b) Média aritmética do grupo	Desvio-padrão geométrico (variabilidade do operador ou intra-grupo)	Log-normal
Muitas análises replicadas, realizadas em uma amostra de higiene industrial (como filtro ou tubo de carvão).	Várias análises replicadas, realizadas em uma amostra de HI	Valor da média aritmética da amostra valor da amostra	Coeficiente de variação do método analítico	Normal
Muitas medidas de um ensaio calibrado de concentração de contaminantes, obtidas por determinados amostragem e procedimento analíticos (como bomba de baixo volume e tubo de carvão com análises subsequentes via cromatografia líquido-gasosa).	Vários tubos de carvão expostos à concentração calibrada	Valor da média aritmética da amostra valor da amostra	Coeficiente de variação do método de amostragem e análise	Normal

A lista a seguir detalha as principais fontes de variação que afetam estimativas de médias de exposição ocupacional:

1. Erros aleatórios em dispositivos amostrais (como as flutuações aleatórias de vazão de bombas),
2. Erros aleatórios em métodos de análise (como as flutuações aleatórias no procedimento do laboratório químico),
3. Flutuações ambientais aleatórias intra-diárias (durante um dia) na concentração de um contaminante,
4. Flutuações ambientais aleatórias inter-diárias (entre dias) na concentração de um contaminante,
5. Erros sistemáticos no processo de medição (calibração inadequada, uso inadequado de equipamentos, registro errôneo de dados, etc.) e
6. Alterações sistemáticas na concentração atmosférica de um contaminante (como as decorrentes da mudança, do empregado, para uma diferente concentração de exposição ou do desligamento de exaustores).

Os erros e flutuações aleatórios (1) a (4) são às vezes denominados erros estatísticos, já que podem ser levados em consideração (mas não previstos) pela análise estatística. Os erros sistemáticos abaixo de (5) incluem tanto erros instrumentais quanto tolices ou gafes cometidas pelo sujeito falível que usa o equipamento! Os erros aleatórios debaixo de (1) e (2) são quantificados e os efeitos são minimizados pela aplicação de programas de controle de qualidade baseados em estatística. Os programas de controle de qualidade também permitem que se tenha uma boa ideia da variação típica (coeficiente de variação) de uma amostragem ou procedimento analítico. Para uma discussão mais aprofundada desses tipos de erros, consulte o Apêndice Técnico D, Coeficientes de Variação e Requisitos de Acurácia para Amostragem de Higiene Industrial e Métodos Analíticos.

As flutuações ambientais aleatórias, intra e interdiárias, da concentração atmosférica de um contaminante são mais provavelmente influenciadas, em primeiro lugar, pelo processo físico que gera o contaminante e os hábitos de trabalho do empregado (espaciais e temporais). Não há razões para acreditar que as flutuações são influenciadas pela natureza química do contaminante, mas é provável que são afetadas por sua natureza física (poeira, névoa, gás).

É importante observar que as flutuações ambientais aleatórias de um contaminante, em uma fábrica, pode ser muito superior à variação aleatória da maioria dos procedimentos amostrais e analíticos (frequentemente, por fatores de 10 a 20). A Figura 1.2 mostra flutuações ambientais reais do monóxido de carbono. A Figura 1.2 corresponde à seção de papel retirada do gráfico registrado pelo analisador de CO. A escala vertical abrange de zero a 100 ppm, e a horizontal do tempo contém um período de 15 minutos que está entre duas linhas verticais quaisquer. Uma distância de 1 polegada representa 1 hora. A variabilidade do instrumento é medida por um coeficiente de variação de aproximadamente 3%. Dessa forma, os limites de confiança de 95% para um determinado ponto de dados são aproximadamente $\pm 6\%$ da concentração medida em qualquer tempo particular. Para saber mais, consulte o Capítulo 4.

Os erros sistemáticos podem permanecer constantes através de uma série de amostras (por causa de calibração inadequada) ou variar abruptamente acompanhando alguma alteração no processo. Erros sistemáticos não podem ser considerados estatisticamente. Se forem detectados no curso do processo de medição, os dados devem ser primeiro corrigidos, antes de se realizar a análise estatística. Muitas vezes, entretanto, eles passam despercebidos e introduzem uma variação muito maior nos dados que aquela causada pelos erros e flutuações aleatórios esperados. Na acepção estatística, um erro sistemático (ou alteração no meio de uma série de medições) cria uma segunda população estatística com uma média diferente. Se a alteração sistemática passar despercebida, as duas populações comparadas "lado a lado" são analisadas como uma só, resultando em uma variação muito maior. Os procedimentos estatísticos apresentados por este Manual não irão detectar e não permitem a análise de resultados altamente imprecisos resultantes de erros sistemáticos ou falhas. O controle de erros sistemáticos é essencialmente um problema técnico, e não estatístico. Alterações sistemáticas na concentração de exposição de contaminantes, para um empregado, podem ocorrer devido a:

1. Mudança do empregado para uma área de trabalho diferente (por exemplo, indo de uma sala de solventes para um depósito),
2. Fechamento de portas e janelas da fábrica (em estações frias),
3. Queda na eficiência ou falha abrupta (ou conexão) de equipamentos de controle de engenharia, como sistemas de ventilação,

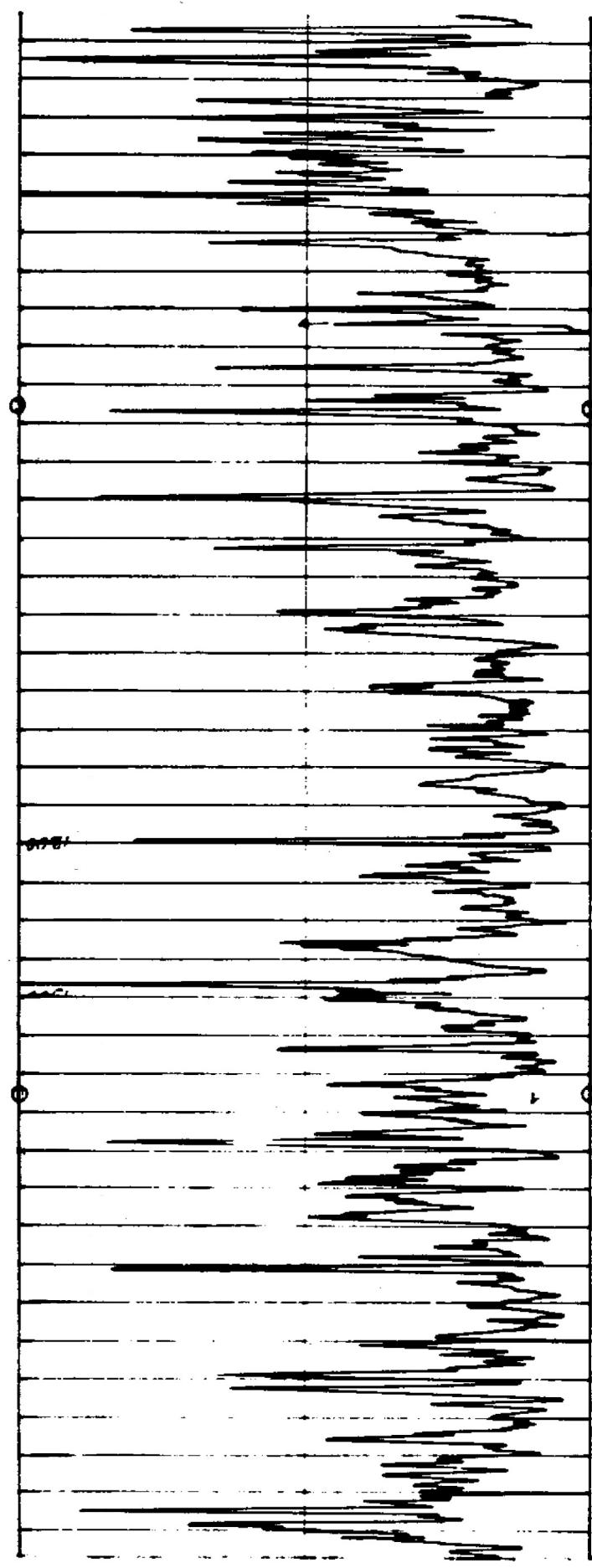


Figura 1.2. Dados reais de higiene industrial mostrando flutuações ambientais intra-díarias. A faixa dos dados de monóxido de carbono, no gráfico, é entre 0 e 100 ppm

4. Alterações no processo de produção ou hábitos de trabalho do empregado.

Uma das razões mais importantes para medir periodicamente a exposição de um empregado a cada poucos meses é detectar tendências ou alterações sistemáticas na média de exposição de longo prazo. O benefício secundário é uma melhor estimativa da variação das exposições por intervalos estendidos, porém esse não é o objetivo principal da medição da exposição periódica. A medição periódica é uma das maneiras mais eloquentes de detectar mudanças perigosas em níveis de exposição ou para indicar a aproximação a níveis perigosos.

1.6 ESTATÍSTICA E OBSERVÂNCIA DE CONFORMIDADE

Os padrões obrigatórios de exposição ocupacional têm sido promulgados nos Estados Unidos (29 CFR 1910, Subparte Z) com o objetivo de garantir, mais adequadamente, na medida do praticável, que nenhum empregado irá sofrer prejuízo material da saúde ou da capacidade funcional. Com tais padrões obrigatórios de saúde, veio a realidade da execução governamental necessária. Duncan (1-5) definiu, amplamente, "observância" como todas etapas que um órgão governamental realiza para atingir o nível desejado de qualidade. Para a OSHA, nos termos da Lei de Saúde e Segurança Ocupacional, de 1970, essas etapas consistem de procedimentos, julgamentos de engenharia, procedimentos jurídicos e programas recomendados de conformidade voluntária.

Abaixo, uma abordagem simples, sob o ponto de vista jurídico, da observância desses padrões obrigatórios de saúde ocupacional. Desenvolve-se um método de testagem amostral e analítica para a medição da exposição de um empregado a uma determinada substância perigosa. O método de testagem é utilizado para medir a exposição de um determinado empregado. Se a medida ultrapassar o padrão, houve uma violação da lei. Esse simples ponto de vista ignora o número e a duração das amostras que foram obtidas a partir de uma variação aleatória do método analítico e amostral. Por fim, não se considera quantas amostras serão necessárias para o órgão de execução ou o empregador atingirem um nível especificado de eficácia, para o programa de amostragem.

Por exemplo, se um responsável pelo cumprimento encontrasse uma média de concentração atmosférica de 105 ppm, com base em cinco amostras retiradas de um turno inteiro, em um local da fábrica, e o padrão era 100 ppm, então, pela abordagem puramente ju-

rídica, ele seria obrigado a responder a uma citação.

Supondo que a citação foi contestada e o responsável pelo cumprimento fosse questionado, sob interrogatório, se tinha certeza que suas medições mostravam que o padrão tinha sido ultrapassado. Se ele estava ciente da estatística que subjaz a amostragem ambiental, ele teria que responder, juridicamente, "Sim", porém, na realidade, "Não sei". É importante que a amostragem do ambiente ocupacional seja realizada utilizando-se planos de amostragem baseados em estatísticas apropriadas e procedimentos de decisão estatística, para que os dados possam sustentar os processos de tomada de decisão referentes ao cumprimento ou não dos padrões obrigatórios de saúde.

Tomlinson (1-6), em 1957, aplicou o conceito de testagem sequencial ao problema de monitoramento de conformidade, quanto ao padrão de TWA, em minas de carvão britânicas. Tomlinson reconheceu a grande variação dentro dos turnos e de turno a turno, da concentração média de poeira na atmosfera. Roach (1-7, 1-8) introduziu o conceito de uso do limite de confiança superior sobre a média aritmética de um grupo de amostras (aleatórias) de curto prazo, para determinar o status de conformidade de um ambiente ocupacional. Roach, no entanto, assumiu uma distribuição normal para as amostras, e trabalhos anteriores mostraram que é melhor aceitar a distribuição log-normal para dados de amostras aleatórias. Ele fez a observação importantíssima de que qualquer procedimento de amostragem, não importa quanto cuidadosamente realizado, só consegue estimar a média real de concentração que existiu no ambiente ocupacional.

A NIOSH primeiro propôs o uso da Estatística para o monitoramento de conformidade no documento de critérios do monóxido de carbono (1-9). Infelizmente, o procedimento fornecido para dados de amostras aleatórias foram baseados na concepção de dados distribuídos normalmente e não era adequado.

Há um precedente em regulamentos federais para a inclusão e referênciação de métodos estatísticos em padrões obrigatórios de saúde e produtos. Os métodos têm sido fornecidos por programas de monitoramento de cumprimento de observância governamental e indústrias privadas. A Comissão de Segurança de Produtos de Consumo (Consumer Product Safety Commission - CPSC) incluiu planos de amostragem e decisão muito específicos, em vários de seus padrões de produtos. A FF 4-72 Padrão de Inflamabilidade para Colchões (1-10) dá detalhes do programa de conformidade para um fabricante e permite a apresentação de planos alternativos de amostragem, pela área. A comissão acreditou que tais planos protegeriam o

público dos riscos excessivos e que eram razoáveis, praticáveis tecnologicamente e adequados. Essas são as metas que qualquer plano de decisão e amostragem devem atingir. A Comissão aceitou o conceito de que o órgão de execução deve assumir a responsabilidade pela demonstração de não cumprimento, mostrando, com um alto nível de confiança estatística, que a não-conformidade de fato existe. A CPSC incluiu um plano de amostragem sequencial no teste de Irritantes dos Olhos (16 CFR 1500.42) (1-11) e uma tabela para tamanho de lote, tamanho amostral e índice de falha para bolas clacker de teste na 16 CFR 1500.86 (1-12).

O Serviço de Saúde Pública dos Estados Unidos emitiu um Padrão de Água Potável (42 CFR 72, Subparte J) que especifica uma frequência mínima de amostragem e plano de decisão sequencial. Os padrões de impacto de lentes de correção, da Food and Drug Administration (21 CFR 3.84) indicam que o fabricante deve testar estatisticamente um número significativo de lentes, de cada lote de produção.

Na área da higiene industrial, a NIOSH exige que os fabricantes de unidades de tubos certificados de detectores de gás mantenham um programa de controle de qualidade similar, em muitos aspectos, ao descrito no MIL-Q-9858A, "Requisitos de Programa de Qualidade", mas acrescenta a exigência de utilizar planos de amostragem a partir do MIL-STD-105D ou MIL-STD-414. Os procedimentos de certificação do Instituto se baseiam, em parte, no uso de tais sistemas de amostragem. O Instituto também propôs que requisitos similares de controle de qualidade seriam ampliados para fabricantes de dispositivos de proteção individual (42 CFR 83) e medidores de nível de som (42 CFR 82).

Parece que a Agência de Proteção Ambiental (Environmental Protection Agency - EPA) nunca incluiu ou referenciou, em regulamentos de qualidade do ar ou da água, técnicas estatísticas para análises de dados. Larsen (1-13), da EPA, entretanto, discutiu esse problema no relatório técnico da EPA. Russell Train, Administrador da EPA, expressou o desejo de ver as técnicas estatísticas padrão para determinação da validade de resultados de amostras se tornarem comuns em padrões ambientais (1-14). Ele acredita que a metodologia dos gráficos de controle estatístico de qualidade tem importância para o controle de qualidade ambiental.

Um artigo da *Electrical World* (1-15) questionou a

precisão das leituras do gráfico de fumaças de Ringelmann por um único observador. Concluiu-se que a má precisão levava a pouca confiabilidade, para fins de observância, quando os controles regulatórios eram rígidos. Mostrou-se uma tabela de probabilidades de citações (%) em que densidade real da fumaça (NR - Número de Ringelmann) era comparada com a densidade máxima permitida. Mais tipos de artigos como esses, baseados em estatísticas, provavelmente aparecerão na bibliografia à medida que os aspectos estatísticos da aplicação dos padrões de concentração de ar são mais estritamente examinados.

É importante enfatizar que os regulamentos de saúde propostos pela OSHA (confira seção 1.4) NÃO exigem que o empregador utilize os procedimentos estatísticos do Capítulo 4 deste Manual ao tomar decisões referentes a exposições medidas, de seus empregados. Acredita-se, todavia, que o EMPREGADOR BEM INTENCIIONADO DESEJARÁ UTILIZAR TAIS PROCEDIMENTOS PARA A PROTEÇÃO ADICIONAL QUE OFERECERÃO AOS EMPREGADOS. A OSHA está pensando em adotar alguns procedimentos estatísticos para determinações de não-conformidade.

Por fim, acredita-se que procedimentos estatísticos aparecerão com mais frequência em casos judiciais que envolvem amostragem: no artigo de Katz (1-16), ele considerou os aspectos práticos da Estatística nos tribunais, e Corn (1-17) discutiu a aplicação da Estatística na determinação da não-conformidade com o padrão federal de exposição a poeira de carvão.

REFERÊNCIAS

- 1-1 American Conference of Governmental Industrial Hygienists. *TLVs - Threshold Limit Values for Chemical Substances in the Workroom Environment with Intended Changes*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, P.O. Box 1937, Cincinnati, Ohio 45201, publicação anual.
- 1-2 American Conference of Governmental Industrial Hygienists. *Documentation of the Threshold Limit Values for Substances in Workroom Air*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, P.O. Box 1937, Cincinnati, Ohio 45201, publicação anual.
- 1-3 Snedecor, G. W. e W. G. Cochran. *Statistical Methods*. The Iowa State University Press, Ames, Iowa, p. 3, 1967.

- 1-4 Armitage, P. *Statistical Methods in Medical Research*. John Wiley e Filhos, Inc., Nova Iorque, 1971, p. 2.
- 1-5 Duncan, A. J. Enforcement of Government Mandatory Product Standards . *ASTM Standardization News*, 2 (4): 12-15, 1974.
- 1-6 Tomlinson, R. C. A Simple Sequential Procedure to Test Whether Average Conditions Achieve a Certain Standard. *Applied Statistics*, 6: 198-207, 1957.
- 1-7 Roach, S. A. Testing Compliance with the AC-GIH Threshold Limit Values for Respirable Dusts Evaluated by Count. *Transactions of American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, pp. 27-29, 1966.
- 1-8 Roach, S. A., E. F. Baier, H. E. Ayer e R. L. Harris. Testing Compliance with Threshold Limit Values for Respirable Dusts. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 23: 74-82, 1967.
- 1-9 J.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health. *Occupational Exposure to Carbon Monoxide*. NIOSH HSM 73-1100, VIII-2. GPO N. 1733-00006, 1972.
- 1-10 Registro Federal. 38 (Nº 110). 15095-15100, 8 de junho de 1973.
- 1-11 Registro Federal. 38 (Nº 187), 27019, 27 de setembro de 1973.
- 1-12 Registro Federal. 38 (Nº 187), 27027, 27 de setembro de 1973.
- 1-13 Larsen, R. I. A Mathematical Model for Relating Air Quality Measurements to Air Quality Standards. Agência Norte-Americana de Proteção Ambiental. AP-89, 1971.
- 1-14 Train, R. E. The Need for Sound Standards for Environmental Improvement. Observações realizadas na Conferência Nacional de Padrões para Aprimoramento Ambiental, Washington, 20 de fevereiro de 1974.
- 1-15 Smoke Readings Vary with Observers. *Electrical World*, 15 de janeiro de 1971. 1-16. Katz, L. Presentation of a Confidence Interval Estimate As Evidence in a Legal Proceeding. *American Statistician*, 29 (4): 138-142, 1975.
- 1-16 Corn, M. Observações realizadas na Determinação de Não-Conformidade com o Padrão de Poeira Respirável, Lei Federal de Segurança e

Saúde em Minas de Carvão, 1969. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 36: 404-407, 1975.

SUGESTÃO DE LEITURAS PARA O CAPÍTULO 1

- Os seguintes Padrões Específicos ANSI:
- Benzeno (Z 37.4-1969)
 - Berílio e compostos de berílio (Z 37.5-1970)
 - Pó de cádmio (Cd) (Z 37.5-1970)
 - Fumos de cádmio (Cd) (Z 37.5-1970)
 - Dissulfeto de carbono (Z 37.3-1968)
 - Tetracloreto de carbono (Z 37.17-1967)
 - Brometo de etileno (Z 37.31-1970)
 - Dicloreto de etileno (Z 37.21-1969)
 - Formaldeído (Z 37.16-1967)
 - Ácido fluorídrico (Z 37.28-1969)
 - Flúor em pó (Z 37.28-1968)
 - Chumbo e compostos inorgânicos (Z 37.11-1969)
 - Cloreto de metilo (Z 37.18-1969)
 - Cloreto de metileno (Z 37.23-1969)
 - Organo (alquil) mercúrio (Z 37.30-1969)
 - Estireno (Z 37.12-1969)
 - Tetracloroetileno (Z 37.22-1967)
 - Tolueno (Z 37.12-1967)
 - Sulfeto de hidrogênio (Z 37.2-1966)
 - Ácido crômico e cromatos (Z 37.3-1971)
 - Mercúrio (Z 37.8-1971)

Fontes: American National Standards Institute. Broadway, 1430, Nova Iorque, 10018

U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health. *Registry of Toxic Effects of Chemical Substances*. Superintendência de Documentação, Escritório de Imprensa do Governo dos Estados Unidos, Washington, D.C. 20402, publicação anual.

U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health. *Suspected Carcinogens*. Superintendência de Documentação, Escritório de Imprensa do Governo dos Estados Unidos, Washington, D.C. 20402, publicação anual.

Maroney, M. J. *Facts From Figures. A good introduction to the practical application of statistics.* Penguin Books, Baltimore, 1951.

Natrella, M. G. *Experimental Statistics.* National Bureau of Standards Handbook 91. [Agência Nacional de Padronização, Manual 91]. Um excelente tratamento dos métodos estatísticos aplicados e a lógica para os utilizar. Superintendência de Documentação, Escritório de Imprensa do Governo dos Estados Unidos, Washington, D.C. 20402, 1963.

CAPÍTULO 2

DETERMINAÇÃO DA NECESSIDADE PARA MEDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO

Os regulamentos de saúde propostos pela OSHA, discutidos na seção 1.4, exigem, para os estabelecimentos onde alguma das substâncias regulamentadas são liberadas no ar do local de trabalho, que o empregador faça uma resolução por escrito, da exposição. Essa resolução é uma estimativa da possibilidade de algum empregado estar exposto a concentrações que ultrapassem o nível de ação. A resolução por escrito deve ser feita mesmo se os resultados forem negativos - isto é, mesmo se o empregador determinar que há poucas chances de qualquer empregado estar exposto acima do nível de exposição admissível. Isso corresponde à primeira etapa de um programa de monitoramento de exposição de empregados que reduza o volume de amostragem do empregador enquanto fornece proteção adequada. Apenas quando a determinação de exposição é positiva (isto é, se indica que um empregado pode estar exposto acima do nível de ação) o empregador é obrigado a medir (fazer amostras de concentração em) exposições de empregados, como detalhado no Capítulo 3. Para uma discussão sobre o nível de ação, consulte o Apêndice Técnico L.

O empregador deve considerar as informações relevantes das companhias de seguro, associações comerciais e fornecedores. Em estabelecimentos onde há mais de uma situação de trabalho envolvendo uma substância regulamentada, deve-se fazer uma resolução por escrito para cada situação. Por exemplo, em uma fábrica onde uma substância regulamentada é utilizada tanto em tanques de mergulho e em operações de acabamento por spray, deve-se fazer uma resolução por escrito para cada operação.

Por fim, deve-se fazer uma nova resolução escrita cada vez que houver alterações na produção, no processo e medidas de controle que poderiam resultar em um aumento das concentrações atmosféricas da substância regulamentada. Essa obrigação, contudo, aplica-se somente se a resolução original não abordou tais alterações.

Portanto, a primeira resolução escrita pode especificar variáveis de produção ao longo de intervalos de operação previstas, para as quais a determinação é negativa ou positiva. Além disso, uma "resolução separada" não implica (ou exige) necessariamente um pedaço de papel separado. Uma folha pode considerar várias operações, vários produtos químicos, e as

faixas de condições de funcionamento associadas aos quais se aplica a determinação. As seções seguintes deste capítulo dão diretrizes para considerações a serem utilizadas ao se tomar uma decisão.

2.1 ESTADOS FÍSICOS DOS CONTAMINANTES AMBIENTAIS OCUPACIONAIS

Contaminantes do ar podem estar presentes no ar como partículas na forma de líquidos ou sólidos; como material gasoso sob a forma real de gás ou vapor; ou na combinação de matéria gasosa e partículas. Na maioria das vezes contaminantes do ar são classificados de acordo com o estado físico e efeito fisiológico sobre o corpo humano. O conhecimento dessas classificações é necessário para uma avaliação adequada do ambiente de trabalho, não só do ponto de vista de como elas afetam o trabalhador, mas também para que os métodos corretos de amostragem de exposição possam ser empregados. Além disso, devemos considerar a via de entrada e ação do contaminante.

2.1.1 Gases

Os gases são definidos como fluidos amorfos que ocupam um espaço ou compartimento e que podem ser alterados para o estado sólido ou líquido apenas pelo efeito combinado do aumento da pressão e diminuição da temperatura. Exemplos: flúor monóxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e cloro. Seu tamanho é molecular.

2.1.2 Vapores

Os vapores são a forma gasosa de substâncias que estão normalmente no estado sólido ou líquido à temperatura e pressão normais. Eles podem ser condensados para estes estados apenas pelo aumento da pressão ou diminuição da temperatura. Exemplos: vapores de tricloroetileno, tetracloreto de carbono e mercúrio. Seu tamanho é molecular.

2.1.3 Pó

Pó é um termo utilizado na indústria para descrever as partículas sólidas do ar que variam em tamanho de 0,1 a 25 micrômetros (0,000004 a 0,001 polegadas) de

diâmetro. O pó é gerado por processos físicos, tais como o manuseio, esmagamento ou moagem de materiais sólidos. Exemplos: sílica, amianto e poeiras de chumbo.

2.1.4 Fumos

Fumos são partículas sólidas que são geradas pela condensação de materiais a partir do estado gasoso, geralmente após a volatilização do estado de fusão. A formação de fumos é acompanhada por reação química, como oxidação. Exemplos: fumos de óxido de chumbo, óxido de ferro e cobre. Os gases e vapores não são fumos, embora sejam muitas vezes chamados incorretamente assim, como fumos de gasolina, ou fumos de monóxido de carbono. Fumos estão tipicamente no intervalo de tamanho de 0,01 a 5 micrômetros (0,0000004 a 0,0002 polegadas).

2.1.5 Névoas

Névoas são gotículas líquidas suspensas geradas por condensação do estado gasoso para o estado líquido, ou por dispersão de um líquido, por respingos, de formação de espuma, ou de atomização. Exemplos: névoas de óleo produzidas durante operações de corte e moagem, névoas ácidas de galvanoplastia, e névoas de pesticidas de pulverização

2.2 CLASSIFICAÇÃO FISIOLÓGICA DOS EFEITOS TÓXICOS

2.2.1 Agentes irritantes

Agentes irritantes são corrosivos em ação. Eles inflamam as superfícies mucosas úmidas do corpo. A concentração no ar é de importância muito maior que o período de tempo de exposição. Exemplos de materiais irritantes que exercem os seus efeitos principalmente no trato respiratório superior são aldeídos, pós e névoas alcalinas, névoas ácidas e amoníaco. Materiais que afetam o trato respiratório superior e tecidos pulmonares são o cloro, o bromo e o ozono. Agentes irritantes que afetam principalmente as vias respiratórias terminais são o dióxido de nitrogênio e fosgênio. Há também irritantes para a pele.

2.2.2 Asfixiantes

Asfixiantes exercem os seus efeitos sobre o corpo por interferência com a oxigenação dos tecidos. Eles são geralmente divididos em duas classes: asfixiantes simples e asfixiantes químicos. Os asfixiantes simples são gases inertes fisiologicamente que diluem o oxigênio atmosférico disponível abaixo do nível exi-

gido para favorecer a vida. Exemplos de asfixiantes simples: metano, etano, hidrogênio e hélio. Os asfixiantes químicos exercem sua ação sobre o corpo pela ação química, através da prevenção do transporte de oxigênio no sangue ou oxigenação normal dos tecidos. Exemplos: monóxido de carbono, cianeto de hidrogênio, e nitrobenzeno.

2.2.3 Anestésicos e Narcóticos

Anestésicos e narcóticos exercem sua ação sobre o corpo como anestesia simples através de uma ação depressora sobre o sistema nervoso central. Exemplos: acetileno, etileno e éter etílico.

2.2.4 Venenos Sistêmicos

Venenos sistêmicos são materiais que causam danos a determinados órgãos ou sistemas do corpo. Os hidrocarbonetos halogenados (como o tetracloreto de carbono) podem provocar lesões no fígado e nos rins ao passo que o benzeno e o fenol podem causar danos ao sistema de formação de sangue. Exemplos de materiais classificados como venenos que afetam o sistema nervoso: dissulfeto de carbono, álcool metílico, tetraetilo de chumbo, e inseticidas orgânicos de fósforo. O chumbo, mercúrio, cádmio e manganês são exemplos de venenos sistêmicos metálicos.

2.2.5 Carcinógenos Químicos

Carcinógenos químicos são produtos químicos que demonstram causar tumores em mamíferos. Carcinógenos podem provocar um tipo de tumor geralmente não observado, ou provocar um aumento da incidência de um tipo de tumor normalmente visto, ou provocar tais tumores mais cedo do que seria esperado. Em alguns casos, as fases iniciais da exposição do trabalhador ao agente carcinógeno e o aparecimento de tumores são separados por um período de latência de 20 a 30 anos.

2.2.6 Agentes Causadores de Fibrose Pulmonar

Agentes causadores de fibrose pulmonar são partículas não tóxicas que produzem lentamente danos no pulmão. O dano ocorre por fibrose pulmonar e não por ação irritante imediata. A exposição crônica a irritantes também pode produzir esses efeitos.

Entre os pós que causam fibrose estão sílica cristalina e amianto. Outros pós, tais como pó para revestimento, podem produzir pneumoconiose, que tem sido uma preocupação na indústria de mineração.

2.2.7 Teratogênicos Químicos

Teratogênicos químicos são os produtos químicos que produzem malformação de células, tecidos ou órgãos em desenvolvimento de um feto. Estes efeitos podem resultar em atraso de crescimento ou em efeitos tóxicos degenerativos semelhantes aos observados no pós-natal humano.

2.3 ROTA DE ENTRADA E TAXA DE EXPOSIÇÃO

Contaminantes entram no corpo, basicamente, de três maneiras:

1. Absorção pela pele (através da pele),
2. Ingestão (através do trato digestivo) e
3. Inalação (através do trato respiratório).

O trato respiratório é de longe a via de acesso mais comum para os contaminantes transportados pelo ar para o corpo, devido à necessidade contínua para oxigenar as células do tecido e por causa de um contato íntimo com o sistema circulatório do corpo.

O efeito das partículas inaladas no corpo depende fortemente do tamanho delas. Como pode ser visto na Figura 2.1, os tamanhos das partículas típicas de contaminantes transportados pelo ar variam desde menos 0,01 micrômetros até mais de 25 micrômetros (0,0000004 a ,001 polegadas). O diâmetro das partículas perigosas para a saúde é geralmente considerado como sendo inferior a 10 micrômetros. Isto é porque as partículas maiores no ar, em particular aquelas com mais de 10 micrômetros de diâmetro, têm uma maior probabilidade de serem capturadas nas passagens superiores do sistema respiratório. Partículas de até cerca de 0,5 micrômetro (0,00002 polegada) de tamanho, como o fumo ou fumaça, penetrar mais profundamente, mas geralmente são coletadas no revestimento mucoso dos dutos das vias aéreas. As partículas de aerossol menores que cerca de 0,5 micrômetro podem atingir as paredes indutoras de troca de ar nas camadas profundas nos pulmões. É onde o pulmão é mais vulnerável a danos.

O efeito da taxa de exposição a agentes tóxicos geralmente é generalizada em aguda e crônica.

A exposição *aguda* caracteriza-se por exposição a alta concentração do material ofensivo ao longo de um curto espaço de tempo. A exposição ocorre rapidamente e pode resultar em danos imediatos para o corpo.

Por exemplo, inalar altas concentrações de monóxi-

do de carbono ou vapores de tetracloreto de carbono irá produzir intoxicação aguda.

A *exposição crônica* ocorre quando há absorção contínua de pequenas quantidades de contaminantes ao longo de um longo período de tempo. Cada dose, tomada de forma independente, teria pouco efeito tóxico, mas a quantidade acumulada durante um longo período (meses a anos) pode resultar em sérios danos. Os agentes tóxicos podem permanecer nos tecidos causando danos permanentes. Intoxicação crônica também pode ocorrer por exposição a quantidades pequenas de materiais nocivos que produzem dano irreversível aos tecidos e órgãos, de modo que a lesão se acumula, em vez do tóxico. Um exemplo de um efeito crônico de um tóxico é a doença conhecida como silicose, que é causada pela inalação de pó de sílica cristalina por de um período de anos.

2.4 AVALIAÇÃO DO MATERIAL NO LOCAL DE TRABALHO

O objetivo principal da avaliação de matéria-prima é determinar se os materiais potencialmente perigosos estão sendo usados em um ambiente de trabalho e, se assim for, as condições em que esses materiais estão sendo usados.

O primeiro passo na pesquisa é determinar e tabular todos os materiais que possam ser utilizados ou produzidos nas operações de trabalho ou processos de fabricação sob investigação e que podem ser libertadas para a atmosfera do local de trabalho ou contaminar a pele. Em muitos casos, esta informação pode ser obtida pela compra de registros. Tabular esta informação por área de processo ou operação é útil. Isso poderia ser feito durante as Observações do Local de Trabalho da seção 2.6, que é muitas vezes referida como uma "pesquisa de plantas."

Muitas matérias-primas utilizadas nas operações industriais serão identificados pelo nome comercial, em vez de pela composição química. Neste caso, o empregador deverá obter do fornecedor (ou fabricante) a composição das matérias-primas de modo que cada componente possa ser identificado e devidamente avaliado.

Esta informação está convenientemente registrada em uma Ficha de Segurança. Dois exemplos de formatos úteis são o formulário OSHA e o formulário proposta NIOSH. Note que o Formulário OSHA 20 de duas páginas, apresentado na Figura 2.2, é necessário só na indústria marítima para a reparação naval, construção naval, e desmantelamento (29 CFR 1915, 1916, e 1917, respectivamente). Locais que têm esta

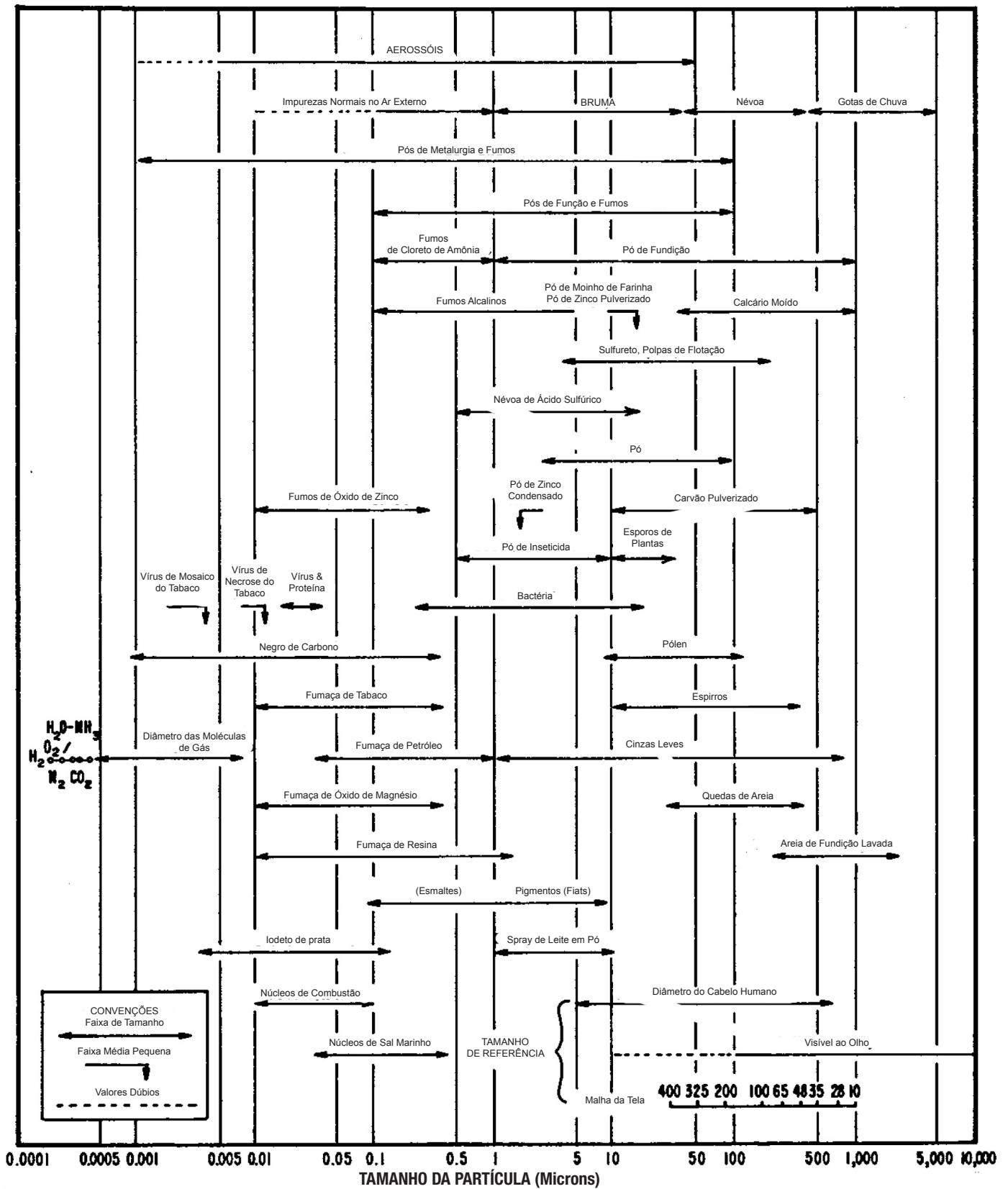


Figura 2.1. O tamanho dos contaminantes do ar. (Gráfico reproduzido por cortesia da Mine Safety Appliances Company.)

U.S. DEPARTMENT OF LABOR
Occupational Safety and Health Administration

Form Approved
OMB No. 44-R1387

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Required under USDL Safety and Health Regulations for Ship Repairing,
Shipbuilding, and Shipbreaking (29 CFR 1915, 1916, 1917)

SECTION I

MANUFACTURER'S NAME	EMERGENCY TELEPHONE NO.
ADDRESS (Number, Street, City, State, and ZIP Code)	
CHEMICAL NAME AND SYNONYMS	TRADE NAME AND SYNONYMS
CHEMICAL FAMILY	FORMULA

SECTION II - HAZARDOUS INGREDIENTS

PAINTS, PRESERVATIVES, & SOLVENTS	%	TLV (Units)	ALLOYS AND METALLIC COATINGS	%	TLV (Units)
PIGMENTS			BASE METAL		
CATALYST			ALLOYS		
VEHICLE			METALLIC COATINGS		
SOLVENTS			FILLER METAL PLUS COATING OR CORE FLUX		
ADDITIVES			OTHERS		
OTHERS					
HAZARDOUS MIXTURES OF OTHER LIQUIDS, SOLIDS, OR GASES				%	TLV (Units)

SECTION III - PHYSICAL DATA

BOILING POINT (°F.)	SPECIFIC GRAVITY (H ₂ O=1)
VAPOR PRESSURE (mm Hg.)	PERCENT VOLATILE BY VOLUME (%)
VAPOR DENSITY (AIR=1)	EVAPORATION RATE (- - - - - + + + +)
SOLUBILITY IN WATER	
APPEARANCE AND ODOR	

SECTION IV - FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA

FLASH POINT (Method used)	FLAMMABLE LIMITS	Lel	uel
EXTINGUISHING MEDIA			
SPECIAL FIRE FIGHTING PROCEDURES			
UNUSUAL FIRE AND EXPLOSION HAZARDS			

PAGE (1)

(Continued on reverse side)

Form OSHA-20
Rev. May 72

SECTION V - HEALTH HAZARD DATA

THRESHOLD LIMIT VALUE

EFFECTS OF OVEREXPOSURE

EMERGENCY AND FIRST AID PROCEDURES

SECTION VI - REACTIVITY DATA

STABILITY	UNSTABLE		CONDITIONS TO AVOID
	STABLE		

INCOMPATABILITY (Materials to avoid)

HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS

HAZARDOUS POLYMERIZATION	MAY OCCUR		CONDITIONS TO AVOID
	WILL NOT OCCUR		

SECTION VII - SPILL OR LEAK PROCEDURES

STEPS TO BE TAKEN IN CASE MATERIAL IS RELEASED OR SPILLED

WASTE DISPOSAL METHOD

SECTION VIII - SPECIAL PROTECTION INFORMATION

RESPIRATORY PROTECTION (Specify type)

VENTILATION	LOCAL EXHAUST	SPECIAL
	MECHANICAL (General)	OTHER

PROTECTIVE GLOVES	EYE PROTECTION
-------------------	----------------

OTHER PROTECTIVE EQUIPMENT

SECTION IX - SPECIAL PRECAUTIONS

PRECAUTIONS TO BE TAKEN IN HANDLING AND STORING

OTHER PRECAUTIONS

GPO 934-180

Form OSHA-20
Rev. May 72

Figura 2.2. Planilha de Dados de Segurança do Material; Formulário OSHA-20.

forma de emprego são os únicos locais para os quais a Ficha de Dados de Segurança de Material tem de ser prevista em lei. A referência 2-1 dá instruções e uma explicação dos termos usados para preparar o Formulário OSHA 20. A utilização da formulário proposto NIOSH de quatro páginas, apresentado na Figura 2.3, é discutido na Referência 2-2. Ao utilizar essas formulários, não se esqueça de verificar se algum dos componentes materiais são regulados pelo governo federal em 29 CFR 1910. Se assim for, pode haver regulamentos de uso específicos para esses componentes, incluindo anexos informativos dos regulamentos das OSHA propostas. Os apêndices são uma fonte conveniente de dados para as propriedades específicas destas substâncias. Quando estes formulários são preenchidos, eles devem ser comparados com as tabelas de substâncias publicadas nas Normas de Segurança e Saúde Ocupacional, 29 CFR 1910. Este procedimento permitirá que os empregadores determinem se eles estão sujeitos às disposições dos regulamentos Federais pelo uso de, ou a posse de, substâncias constantes das normas publicadas. Mesmo que as substâncias tóxicas não sejam reguladas pelo governo federal, os mesmos controles de exposição, procedimentos de controle, etc, que se aplicam a substâncias similares que são reguladas pelo governo federal devem ser instituídos. Consulta de higiene industrial profissional deve ser empregada.

2.5 PROCESSO DE OPERAÇÕES COMO FONTE DE CONTAMINANTES

Os processos e as operações de trabalho que utilizam materiais conhecidos por serem tóxicos ou perigosos devem ser investigados e compreendidos. A este respeito, presume-se que há muitos processos e operações de trabalho com potencial para liberar materiais tóxicos no ambiente de trabalho e expor os funcionários a concentrações acima do nível da atividade. A seguir estão alguns exemplos:

- Qualquer processo ou operação que envolva a moagem, lixamento, serragem, corte, trituração, peneiração, ou qualquer manipulação de material que gera pó.
- Qualquer processo que envolva combustão.
- Processos que envolvem fusão de metais que libertam vapores e óxidos metálicos.
- Qualquer processo com líquido ou pulverização envolvendo o uso de solventes ou produtos que contêm solventes, como a mistura de materiais úmidos, operações de desengordura-

mento, pintura em spray, as operações de secagem. Estes podem gerar vapores de solventes ou névoas.

- Processos que envolvem o tratamento de superfícies metálicas, tais como a decapagem, causticação, imersão em ácido e operações de limpeza. Estes podem liberar ácido no ambiente de trabalho ou névoas alcalinas ou vários gases e vapores, como resultado de reações químicas.

Estes processos e operações são apenas exemplos dos muitos que podem ser encontrados em uma grande variedade de indústrias em nossa sociedade. Alguns exemplos adicionais de atividades potencialmente perigosas e de exemplos de contaminantes do ar são apresentados na Tabela 2.1.

2.6 OBSERVAÇÕES NO LOCAL DE TRABALHO

As seções anteriores indicam genericamente os perigos potenciais que podem estar presentes em um local de trabalho. Eles oferecem pouca ou nenhuma informação sobre a exposição real às substâncias tóxicas. Sua única intenção é fornecer um indicador da existência de trabalhadores potencialmente expostos. Assim, com as informações sobre o estado físico e os efeitos de materiais perigosos sobre o corpo humano, a química dos produtos e subprodutos, e um conhecimento profundo do processo e as operações envolvidas, a pesquisa é continuada por uma visita ao local de trabalho para observar as operações de trabalho. É aqui que os riscos potenciais à saúde podem ser identificados e uma decisão tomada quanto a saber se um trabalhador pode ser exposto a concentrações no ar de materiais perigosos liberados no ambiente de trabalho.

Algumas condições potencialmente perigosas e fontes de contaminantes do ar podem ser visualmente identificados, tais como operações com poeira. Mas os pós ou fumos que não podem ser vistos como o maior perigo para os trabalhadores, porque estão na faixa de tamanho que é mais prontamente inalável. O pó respirável é considerado a porção do pó que é capaz de alcançar as porções não-ciliadas profundas dos pulmões, tais como a bronquíolos respiratórios, dutos alveolares, e sacos alveolares - pós com diâmetros das partículas inferiores a 10 micrômetros. Consulte a Referência 2-3 para uma discussão sobre dispositivos de amostragem utilizados para estimar o risco à saúde devido à inalação de partículas insolúveis

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
MATERIAL SAFETY DATA SHEET				
I PRODUCT IDENTIFICATION				
MANUFACTURER'S NAME	REGULAR TELEPHONE NO. EMERGENCY TELEPHONE NO.			
ADDRESS				
TRADE NAME				
SYNOMYNS				
II HAZARDOUS INGREDIENTS				
MATERIAL OR COMPONENT	%	HAZARD DATA		
III PHYSICAL DATA				
BOILING POINT, 760 MM HG		MELTING POINT		
SPECIFIC GRAVITY ($H_2O=1$)		VAPOR PRESSURE		
VAPOR DENSITY (AIR=1)		SOLUBILITY IN H_2O , % BY WT.		
% VOLATILES BY VOL.		EVAPORATION RATE (BUTYL ACETATE=1)		
APPEARANCE AND ODOR				
IV FIRE AND EXPLOSION DATA				
FLASH POINT (TEST METHOD)			AUTOIGNITION TEMPERATURE	
FLAMMABLE LIMITS IN AIR, % BY VOL.	LOWER		UPPER	
EXTINGUISHING MEDIA				
SPECIAL FIRE FIGHTING PROCEDURES				
UNUSUAL FIRE AND EXPLOSION HAZARD				
V HEALTH HAZARD INFORMATION				
HEALTH HAZARD DATA				
ROUTES OF EXPOSURE				
INHALATION				
SKIN CONTACT				
SKIN ABSORPTION				
EYE CONTACT				
INGESTION				
EFFECTS OF OVEREXPOSURE				
ACUTE OVEREXPOSURE				
CHRONIC OVEREXPOSURE				
EMERGENCY AND FIRST AID PROCEDURES				
EYES				
SKIN:				
INHALATION:				
INGESTION:				
NOTES TO PHYSICIAN				

Figura 2.3. Formulário NIOSH proposto, Ficha de Segurança de Material.

IX SPECIAL PRECAUTIONS	
PRECAUTIONARY STATEMENTS	
OTHER HANDLING AND STORAGE REQUIREMENTS	
<p>PREPARED BY: _____</p> <p>ADDRESS: _____</p> <p>DATE: _____</p>	
VI REACTIVITY DATA	
CONDITIONS CONTRIBUTING TO INSTABILITY	
INCOMPATIBILITY	
HAZARDOUS DECOMPOSITION PRODUCTS	
CONDITIONS CONTRIBUTING TO HAZARDOUS POLYMERIZATION	
VII SPILL OR LEAK PROCEDURES	
STEPS TO BE TAKEN IF MATERIAL IS RELEASED OR SPILLED	
NEUTRALIZING CHEMICALS	
WASTE DISPOSAL METHOD	
VIII SPECIAL PROTECTION INFORMATION	
VENTILATION REQUIREMENTS	
SPECIFIC PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT RESPIRATORY (SPECIFY IN DETAIL)	
EYE	
GLOVES	
OTHER CLOTHING AND EQUIPMENT	

Figura 2.3. Formulário NIOSH proposto, Material Ficha de Dados de Segurança (cont.).

TABELA 2.1 OPERAÇÕES POTENCIALMENTE PERIGOSAS E CONTAMINANTES DO AR

Tipos de processo	Tipo de contaminante	Exemplos de contaminantes
<i>Operações a quente</i>		
Soldagem	Gases (g)	Cromatos (p)
Reações químicas	Partículas (p)	Zinco e seus compostos (p)
Soldadura	(pó, fumo, névoa)	Manganês e seus compostos (p)
Fusão		Óxidos de metal (p)
Moldagem		Monóxido de carbono (g)
Queima		Ozônio (g)
		Óxido de cádmio (p)
		Fluoretos (p)
		Chumbo (p)
		Cloreto de vinilo (g)
<i>Operações com líquidos</i>		
Pintura	Vapores (v)	Benzeno (v)
Desengorduramento	Gases (g)	Tricloroetileno (v)
Imersão	Névoas (m)	Cloreto de metíleno (v)
Spray		1,1,1-tricloroetileno (v)
Escovação		Ácido clorídrico (m)
Revestimento		Ácido sulfúrico (m)
Causticação		Cloreto de hidrogênio (g)
Limpeza		Sais de cianeto (m)
Limpeza a seco		Ácido crômico (m)
Decapagem		Cianeto de hidrogênio (g)
Chapeamento		TDI, MDI (v)
Mistura		Sulfeto de hidrogênio (g)
Galvanização		Dióxido de enxofre (g)
Reações químicas		Tetracloreto de carbono (v)
<i>Operações em sólidos</i>		
Derramamento	Pós	Cimento
Mistura		Quartzo (sem sílica)
Separações		Vidro fibroso
Extração		
Extração		
Transporte		
Carregamento		
Ensacamento		
<i>Pulverização pressurizada</i>		
Limpeza de peças	Vapores (v)	Solventes orgânicos (v)
Uso de pesticidas	Pós (d)	Clordano (m)
Desengorduramento	Névoas (m)	Paratião (m)
Jateamento de areia		Tricloroetileno (v)
Pintura		1,1,1-tricloroetano (v)
		Cloreto de metíleno (v)
		Quartzo (sem sílica, d)
<i>Operações de dar forma</i>		
Corte	Pó	Amianto
Moagem		Berílio
Preenchimento		Urânio
Trituração		Zinco
Moldagem		Chumbo
Serragem		
Perfuração		

As operações que geram fumos podem, por vezes, ser identificadas visualmente, uma vez que a fusão de metais, como na soldadura, podem resultar em emissões de fumos visíveis. Na galvanoplastia e outras operações, em que as superfícies metálicas são sujeitas a uma variedade de tratamentos por imersão em tanques aquecidos de ácidos, álcalis e agentes desengordurantes, há frequentemente névoas visíveis sob a forma de vapor.

Algumas fontes de contaminantes do ar em operações de trabalho pode ser determinado pelo sentido do olfato. Os gases e vapores podem muitas vezes ser detectados por seus odores distintos, gostos, ou efeitos irritantes, tais como sensações de queimação no nariz, garganta e pulmões. No entanto, a capacidade para identificar e detectar a sua presença irá variar amplamente com indivíduos. Aconselha-se precaução neste método de detecção por causa da fadiga olfativa em alguns casos. Além disso, muitos gases e vapores têm limites de odores mais elevados do que os níveis de exposição permitidos, de modo que seria possível ocorrer uma superexposição antes do material ofensivo poder ser detectado pelo cheiro. Tabelas de dados de limites de odores são muito difíceis de se encontrar na literatura e muitas vezes contêm dados conflitantes.

No entanto, pode-se verificar cada padrão Federal de saúde (29 CFR 1910) e examinar a Tabela de Proteção Respiratória permitida para a substância. Se a OSHA especificamente permite que tanto um cartucho químico ou respirador de máscara de gás para um vapor orgânico (sem a necessidade de um indicador de fim de vida útil), pode-se supor que o vapor orgânico tem alguma propriedade de aviso (geralmente odor ou irritação) em níveis inferiores a exposição permissível. Deve-se, em seguida, consultar o Apêndice A (Dados de Segurança da Substância) e o Apêndice B (Orientações Técnicas da Substância) do padrão de determinada substância para obter mais informações sobre o que essas propriedades de aviso possam ser. Finalmente, tenha em mente que os sentidos, como a visão, olfato e paladar podem ajudar a detectar contaminantes, mas eles não são confiáveis para reconhecer todos os perigos para a saúde.

A localização do empregado em relação a uma fonte de contaminação também é um fator importante para determinar se um empregado pode estar significativamente exposto à uma substância perigosa. Deve ser evidente que na maioria dos casos o mais próximo que um trabalhador esteja de uma fonte de um contaminante de ar, maior é a probabilidade de que uma exposição significativa vai ocorrer. Em alguns casos,

pode ser necessária a investigação dos padrões de fluxo de ar dentro de um estabelecimento de trabalho, uma vez que muitos contaminantes podem ser dispersados a longas distâncias da origem da evolução. Assim, pode ser possível expor de forma significativa os trabalhadores que não estão próximos à fonte de contaminante.

Os procedimentos ou métodos que o trabalhador utiliza para executar seu trabalho também deve ser analisado. Equipamentos de ventilação de escape para os tanques de desengorduramento, que são projetados para prevenir ou controlar a liberação de materiais tóxicos no ambiente de trabalho, podem não desempenhar a sua função pretendida, se o trabalhador se inclinar diretamente sobre o tanque para realizar o seu trabalho. Neste mesmo sentido, o hábito de um trabalhador de não usar ou usar indevidamente os equipamentos de controle pode causar exposição significativa a materiais perigosos. Além disso, o manuseio descuidado de materiais tóxicos, intencional ou não, pode causar situações de exposições significativas.

Concepção inadequada, instalação ou manutenção de equipamentos de controle muitas vezes pode causar situações de exposição. Por várias vezes os empregadores (ou seus contratados) sem conhecer os princípios da ventilação de exaustão local projetam e instalam sistemas de controle ineficazes. Os princípios de design e medições para determinar a eficácia do sistema contido na Referência 2-4 devem ser seguidos.

Existem outras características do local de trabalho que devem ser consideradas em relação à forma como as concentrações dos contaminantes podem ser afetadas. Certamente, os locais de alta temperatura dariam origem a elevadas taxas de evaporação de solventes tóxicos. A localização de portas e janelas abertas fornece alguma ventilação natural, que tende a se dispersar ou diluir materiais lançados na sala de trabalho. Atenção também deve ser direcionada para a ventilação do ambiente geral que pode fornecer alguma medida de controle.

2.7 CÁLCULO DE CONCENTRAÇÕES DE POSSÍVEL EXPOSIÇÃO

Conhecendo a taxa de ventilação em um ambiente de trabalho e a quantidade de matéria gerada, pode-se frequentemente fazer cálculos para determinar se os padrões estão sendo ultrapassados. Por exemplo, supondo que 4 galões de metil-etyl-cetona são usados (evaporados) por 8 horas em uma estação de tra-

lho, e a taxa de ventilação no local de trabalho é de 600.000 pés cúbicos por hora de diluição do ar. As equações de ventilação de diluição da Referência 2-4 podem ser modificadas para fornecer:

Estimativa de concentração constante de exposição

$$(em \text{ ppm}) = \frac{(403)(a)(10^6)(b)(K)}{(c)(d)}$$

Onde:

- a* = gravidade específica dos solventes
- b* = quartilhos de solvente/h
- c* = peso molecular do solvente
- d* = taxa de ventilação em pés cúbicos/h

Os pesos moleculares e gravidades específicas de muitos solventes comuns encontram-se na Referência 2-4. Esses dados para certas substâncias regulamentadas na 29 CFR 1910 também estão no Apêndice B (Diretrizes Técnicas de Substâncias).

K é um fator de segurança que deve estar incluso para contabilizar a má mistura do material na sala toda, as localizações dos ventiladores na sala, a proximidade dos empregados com a operação, etc. A Referência 2-4 afirma que valores de *K* de 3 a 10 são geralmente escolhidos para o trabalho de ventilação de diluição. Para o nosso intuito, entretanto, eles podem não ser grandes o suficiente. O fator *K* pode ser pensado como a relação aproximada entre a concentração da zona de respiração na operação e a concentração de ar ambiente em geral.

Gonzales, *et al.* (2-5) realizou um estudo onde o aerosol DOP [dioctil ftalato] foi liberado como uma fonte pontual em um dos lados de uma sala de 20 x 20 x 8 pés. As condições de ventilação consistiam em 6, 9 e 12 renovações de ar ambiente por hora, sendo que o ar que entrava era distribuído uniformemente por toda a parede, com um duto de ventilação identicamente construído. Sob todas as condições de ventilação, concentrações de aerossóis indo até 4% da concentração de DOP liberado pelo gerador ocorreram dentro da provável zona de respiração, a distâncias entre 4 e 10 pés da fonte de vazamento. Ao mesmo tempo, próximo a 2 pés acima do vazamento, onde a concentração geral podia ser medida, as concentrações variavam entre 0,04 e 0,6% da fonte de concentração. Taxas de 100 para a concentração na zona de respiração próxima da fonte para a concentração fixa das amostras da sala (portanto, do ar em geral) não eram incomum.

Portanto, se o empregado permanece relativamente próximo à fonte (dentro de um raio de 10 pés), particularmente se localizada na direção do vento a partir da fonte, um fator *K* de 100 seria justificativamente

conservador. Para outras situações, poder-se-ia utilizar *K* = 10. O valor anterior se aplica só se a ventilação de exaustão local, adequadamente projetada e operada, não for utilizada e depender da mistura com o ar da sala.

Se *K* = 10 foi utilizado para o exemplo acima de cetona, a equação seria:

$$\frac{(403)(0,81)(10^6)(4)(10)}{(71)(600.000)} = 300 \text{ ppm}$$

O padrão TWA para metil-etyl-cetona é 200 ppm. Definitivamente, um trabalhador com risco máximo (tipicamente é o que está mais próximo à fonte de metil-etyl-cetona, como tanques ou bandejas de solvente) deve ser escolhido para a medição, e um representante da medição da exposição máxima provável deve ser obtido conforme o Capítulo 3 pormenoriza. As decisões baseadas na equação anterior devem ser bastante cautelosas, já que um valor de *K* = 1 admite a (inatigável) mistura perfeita, na sala, e concentrações entre 10 e 100 vezes a concentração média da sala podem facilmente ocorrer perto da fonte do solvente.

Se a sala estiver "fechada" ou se a taxa de ventilação for desconhecida (ou muito baixa), pode-se fazer uma hipótese moderada de uma troca efetiva na sala, por hora. Sendo que o ar ambiente provavelmente estaria mal misturado, é melhor assumir *K* = 50. A equação anterior se torna assim:

Estimativa de concentração constante de exposição
(em ppm) =

$$\frac{(403)(10^6)(\text{gravidade específica do solvente})(\text{quartilhos do solvente/h})(50)}{(\text{peso molecular do solvente})(\text{volume da sala em pés cúbicos})}$$

Supondo que a metil-etyl-cetona é utilizada em uma sala não ventilada com taxa de 1 quartilho por turno de 8 horas. A sala possui 20 pés de comprimento, 20 de largura e 10 de altura, ou 4000 pés cúbicos:

$$\frac{(403)(0,81)(0,125)(50)}{(72)(4000)} = 7100 \text{ ppm}$$

Sem dúvida, nesse caso, devemos proceder com as medições de exposição do empregado de risco máximo, conforme detalhado no Capítulo 3. Hemeon (2-6) fornece equações mais sofisticadas para a diluição convencional em fontes pontuais, área e faixa. Essas equações são muito úteis para estimar concentrações que prevalecem na zona de respiração de trabalhadores que estão envolvidos em tarefas que implicam evaporação apenas a curta distância (poucos pés) da área respiratória. Nesse caso, as concentrações da zona local de respiração devem ser elevadas visto que

a concentração média da sala é baixa.

Hemeon (2-6) também forneceu estimativas das taxas típicas de aplicação do solvente para os locais onde as informações das taxas de solvente estavam faltando. A seguir, uma lista de taxas de aplicação de solvente em certas operações individuais típicas, presente em Hemeon.

<u>Operação</u>	<u>Quartilhos/minuto/ trabalhador</u>
Cimentação manual com escova pequena	0,02-0,03
Aplicações manuais com escova grande	0,02
Aplicação bruta manual, taxa máxima da utilização da mão (incomum)	3/4-1 1/2
Operações de revestimento mecânico Máquina de pintura por spray	1/4-1/2

A melhor informação para o uso de solventes é obtida, contudo, a partir do empregado ou do chefe.

2.8 QUEIXAS OU SINTOMAS DE EMPREGADOS

As queixas ou sintomas que podem ser atribuíveis à exposição significativa a uma substância química devem ser sempre relevadas na determinação da necessidade para medições de exposição. Um empregado pode obter informações sobre os sintomas comuns de exposição a alguma substância a partir da seção Dados de Perigo à Saúde, no Apêndice A de algum padrão proposto de substância (dos tipos discutidos na Seção 1.4), e na Seção Sinais e Sintomas do Apêndice C, do padrão proposto. As enfermeiras e médicos de saúde ocupacional que cuidam dos empregados devem ser consultados sobre tais aspectos.

2.9 RELATÓRIO DE DETERMINAÇÃO OCUPACIONAL AMBIENTAL

O objetivo das seções anteriores é a obtenção de uma relação escrita com a determinação que informa se algum empregado pode estar exposto a concentrações atmosféricas de uma substância química perigosa. Consulte os regulamentos federais adequados (29 CFR 1910 Subparte Z) para determinar as informações mínimas necessárias para este relatório. As seguintes diretrizes fornecem recomendações

do quê um relatório completo deve conter. O relatório pode ser organizado, por conveniência, tanto pelo empregado quanto pela operação de trabalho. É compatível com os requisitos propostos de padrão federal de saúde.

1. Data do relatório.
2. Nome e registro na Previdência Social de cada empregado que a operação de trabalho contém.
3. Operações de trabalho realizadas pelo empregado, na hora do relatório.
4. Localização das operações dentro do local de trabalho.
5. Substâncias químicas a que o empregado pode estar exposto, em cada operação de trabalho.
6. Informações, observações e estimativas que podem indicar a exposição desse empregado a uma substância química. Lista de dados e cálculos de medição de exposição.
7. Limites federais admissíveis e/ou TLVs da ACGIH, para cada produto químico.
8. Queixas ou sintomas que podem ser atribuídos à exposição à substância química.
9. Tipo e eficácia de quaisquer medidas de controle utilizadas. Para controles mecânicos de ventilação: lista de medidas obtidas para demonstrar eficácia do sistema.
10. Variações de condições de operação para produção, processos e medidas de controle, aos quais a resolução se aplica.
11. Resumo da determinação, incluindo qualquer outra ação necessária.

REFERÊNCIAS

- 2-1 Ministério do Trabalho dos Estados Unidos. Planilha de Dados de Segurança do Material. Disponível na OSHA e nos Órgãos Regionais.
- 2-2 - U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health. *A Recommended Standard ... An Identification System for Occupationally Hazardous Materials*. Publicação da NIOSH, HEW. No. (NIOSH) 75-126, Cincinnati, Ohio 45226, 1974.

- 2-3 Aerosol Technology Committee, American Industrial Hygiene Association. Guide for Respirable Mass Sampling. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 31: 133, 1970.
- 2-4. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. *Industrial Ventilation - A Manual of Recommended Practice*, 14 ed. Esse manual é revisado a cada 2 anos, aproximadamente. A edição atual pode ser adquirida com o Comitê da ACGIH, em Industrial Ventilation, P.O. Box 453, Lansing, Mich. 48902, 1976.
- 2-5. Gonzales, M., H. J. Ettinger, R. G. Stafford e C. E. Breckinridge Relationship Between Air Sampling Data from Glove Box Work Areas and Inhalation Risk to the Worker. *Los Alamos Scientific Laboratory Informal Report*, #LA-5520-MS, Los Alamos, 87104, 1974.
- 2-6. Hemeon, W. C. L. *Plant and Process Ventilation*, 2 ed. The Industrial Press, Inc., Nova Iorque, 1963.
- Olishfski, J. B., and F. E. McElroy. *Fundamentals of Industrial Hygiene*. Conselho Nacional de Segurança, 425 N. Michigan Avenue, Chicago. 60611, 1971. Patty, F. A. (ed). *Industrial Hygiene and Toxicology*, vol. I e II. Interscience Publishers, Inc., 250 Fifth Avenue, Nova Iorque, 1958.
- Sax, N. I. *Dangerous Properties of Industrial Materials*, 4 ed. Van Nostrand Reinhold Co., Nova Iorque, 1975.
- Gleason, M. N., R. E. Gosselin, and H. C. Hodge. *Clinical Toxicology of Commercial Products*, 3 ed. The Williams and Wilkins Co., Baltimore, 1969.
- Casarett, L. J., e J. Doull (ed.). *Toxicology*. Macmillan, Nova Iorque, 1975.
- Cralley, L. V., et al. (ed.). *Industrial Environmental Health: The Worker and the Community*. Academic Press, Nova Iorque, 1972.

SUGESTÃO DE LEITURAS PARA O CAPÍTULO 2

U.S. Department of Health, Education, and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health. *The Industrial*

CAPÍTULO 3

ESTRATÉGIAS DE AMOSTRAGEM PARA MEDIÇÃO DE EXPOSIÇÃO

Uma vez que é feita uma determinação indicando a possibilidade de alguma exposição significativa do empregado a concentrações atmosféricas de uma substância tóxica, o empregador é obrigado a fazer medições da dita exposição. Algumas considerações estão envolvidas na formulação de um programa de monitoramento de exposição de empregados.

- Qual (is) empregado (s) serão amostrados?
- Onde o dispositivo de amostragem deve estar localizado, relativamente ao empregado amostrado?
- Quantas amostras deverão ser coletadas, em cada dia de trabalho amostrado, para definir a exposição de um empregado?
- Para uma amostra de medição, quanto deve durar o intervalo de amostragem?
- Em quais períodos, durante o dia de trabalho, a exposição do empregado deve ser amostrada?
- Quantos dias de trabalho durante um ano devem ser amostradas, e quando?

Essas considerações serão discutidas nas seções deste capítulo.

Lembre-se que a expressão "exposição de empregado" sempre significa que isso deve ocorrer caso o empregado não estava utilizando um respirador.

3.1 SELEÇÃO DE EMPREGADO OU EMPREGADOS PARA AMOSTRAGEM

Os regulamentos de saúde propostos pela OSHA exigem que, feita uma determinação positiva indicando a possibilidade de exposições de empregados, acima ou no nível de ação, é necessário que o empregador faça uma medição da exposição do "empregado que se acredita possuir a maior exposição". O conceito é conhecido como amostragem do "empregado com risco máximo".

É utilizado para reduzir razoavelmente a carga de amostragem do empregador, já que o procedimento de determinação, do capítulo anterior, destinou-se apenas como um meio de fazer uma estimativa sem medições reais.

3.1.1 Selecionando o(s) Empregado(s) Com Risco Máximo

O Capítulo 2 discutiu os fatores que devem ser considerados para determinar se os empregados podem estar expostos a materiais tóxicos em concentrações acima do nível de ação.

Se, na determinação, existirem empregados expostos, a próxima etapa é a seleção desse empregado ("empregado com risco máximo") ou grupo de empregados que se acredita possuírem a maior exposição, a fim de medir suas exposições. As mesmas considerações utilizadas para a resolução por escrito, do capítulo anterior, devem ser agora utilizadas para selecionar e classificar os trabalhadores segundo o potencial esperado de risco.

Ao fazer a primeira determinação para avaliar os funcionários potencialmente expostos, julgou-se que os funcionários foram expostos, acima ou em um determinado nível a materiais potencialmente tóxicos.

Na ausência de medidas definitivas de amostragem de ar, o julgamento ou seleção do(s) empregado(s) esperado com risco máximo deve ser feito através da comparação entre os níveis estimados de exposição de vários trabalhadores expostos. Em uma situação ideal, cada trabalhador potencialmente exposto deveria ser individualmente amostrado e decisões adequadas seriam tomadas no que diz respeito a não-exposição, exposição e superexposição. Na maioria dos casos, contudo, não temos situações ideais, e a determinação inicial é muito irregular, geralmente sem medidas reais de ar. A estratégia de amostragem mais razoável, para o uso mais eficaz de recursos amostrais, é amostrar o empregado que se presume ter o mais elevado risco de exposição.

Se há várias operações de trabalho resultantes de diferentes processos onde pode haver empregados expostos, um empregado com risco máximo deve ser selecionado para cada operação. Tal procedimento reduzirá consideravelmente o volume de recursos de amostragem, já que não é necessário inicialmente amostrar empregados que se pensa ter exposições mais baixas que os que têm risco máximo.

Novamente, não é possível definir uma regra geral que se aplica a todos os tipos de processos ou operações de todas as áreas. No entanto, informações suficientes podem ser obtidas da pesquisa preliminar de

uma fábrica, de maneira que uma pessoa competente e bem-informada consiga fazer um julgamento válido dos empregados com a exposição mais elevada.

Em geral, o melhor procedimento para determinar o empregado com risco máximo é observar e selecionar o empregado que fica mais próximo à fonte de geração do material perigoso. Por exemplo, em uma operação de moagem, o trabalhador que opera o esmeril seria muito provavelmente o empregado com risco máximo de estar exposto a partículas tóxicas. Quanto mais longe a pessoa se situa da fonte de geração (esmeril), mais baixa a possibilidade de exposição significativa, pois o material gerado provavelmente se diluiria pela dispersão na área de trabalho. Assim, nesse tipo de operação, pode-se considerar que os empregados estão dentro de várias zonas de risco potencial, com base em concentrações estimadas de ar para diferentes distâncias em relação à fonte de contaminação. A solda em sala aberta é um outro exemplo onde a distância da fonte pode ser o fator dominante para a determinação de risco potencial.

A distância de uma fonte de geração de material perigoso é apenas um fator para a determinação potencial de risco. A movimentação do empregado é outra consideração. Por exemplo, considere que a estação de trabalho de um empregado é contígua ao forno de secagem que libera solventes na atmosfera. Se esse empregado se movimenta durante as várias tarefas de trabalho, nem sempre estará na estação de trabalho quando as altas concentrações de contaminantes estão presentes. É preciso observação cuidadosa para obter um retrato acurado da movimentação do trabalhador dentro do ambiente de trabalho, de forma que exposições válidas de concentração pelo tempo possam ser estimadas.

Os padrões de movimentação de ar, dentro de uma sala de trabalho, devem ser analisados, para determinar acuradamente o potencial de risco dos empregados. Principalmente em operações ou processos que envolvem aquecimento ou combustão, a circulação do ar natural pode ser tal que o empregado com risco máximo esteja localizado em distância considerável, da fonte de geração. A localização de saídas e entradas de ventilação de ar, a localização de portas e janelas abertas e o tamanho e formato da área de trabalho são todos fatores que poderiam afetar os padrões de fluxo de ar na sala de trabalho e resultar em concentrações mais altas de contaminantes, ainda mais longe da fonte.

As diferenças dos hábitos de trabalho dos trabalhadores individuais podem afetar significativamente os níveis de exposição. Mesmo que vários trabalhadores

estejam essencialmente realizando o mesmo trabalho com os mesmos materiais, os métodos individuais de realizar a tarefa podem produzir níveis de exposição variáveis. Por exemplo, em operações de limpeza, mergulha-se, em um grande tanque de solvente, peças de metal que estão dentro de um cesto. Quando se ergue o cesto do tanque, o procedimento correto é deixar escorrer o excesso de solvente das peças para o interior do tanque. Se um empregado não aguardar um tempo para deixar o solvente escorrer no tanque, este pode espalhar no chão, onde se evapora para o ar do local de trabalho. Isso aumentará os níveis de exposição relativos aos níveis dos trabalhadores que deixam, adequadamente, o solvente escorrer para o tanque.

3.1.2 Amostragem Aleatória de um Grupo de Homogêneo de Trabalhadores de Risco

Se um trabalhador com risco máximo não pode ser selecionado de uma operação com razoável certeza, é necessário lançar mão da amostragem aleatória do grupo de trabalhadores. O procedimento é amostrar randomicamente o grupo cujos membros têm um risco de exposição esperada semelhante. O objetivo do procedimento é selecionar um subgrupo de tamanho apropriado de forma que haja uma probabilidade alta de a amostra aleatória conter ao menos um trabalhador com alta exposição, se existir. (Observe que esse procedimento de amostragem parcial não deve ser utilizado quando qualquer medida de exposição de empregados revelar uma exposição acima ou no nível de ação, pelos motivos indicados no Apêndice Técnico B.) Deve-se utilizar o seguinte procedimento:

Etapa 1: Determinar o número de empregados para amostra, utilizando a Tabela 3.1.

Etapa 2: Selecionar aleatoriamente o número requerido de empregados, utilizando os números aleatórios da Tabela 3.2, e medir a exposição deles.

Etapa 1: Determinação do Número de Empregados Para Amostra

A Tabela 3.1 contém o tamanho n de amostras necessárias, de uma amostra aleatória, retirada de um grupo de tamanho N ($N = 1 a 50$), o que garante, com 90% de confiança, que pelo menos uma exposição individual, a partir do grupo com os 10% mais elevados de exposição, esteja contida na amostra. Por outro lado, há 10% de probabilidade de faltarem todos os trabalhadores do subgrupo com 10% da exposição mais elevada, após amostragem do subgrupo necessário, como especificado na

Tabela 3.1, retirada da Tabela A.1 do Apêndice Técnico A.

TABELA 3.1. TAMANHO DE AMOSTRA PARCIAL PARA OS MAIS ALTOS 10% E CONFIANÇA DE 0,90

<i>Tamanho do grupo N*</i>	<i>Quantidade de amostras necessárias*</i>
8	7
9	8
10	9
11-12	10
13-14	11
15-17	12
18-20	13
21-24	14
25-29	15
30-37	16
38-49	17
50	18

* N = tamanho do grupo de risco igual ao original.

+n= tamanho da amostra ou do subgrupo.

†n=N se $N < 7$.

Por exemplo, suponha um grupo de risco com exposição esperada igual, de tamanho $N \sim 26$. Para se ter 90% de confiança de que ao menos um dos 3 (isto é, 10% de 26) indivíduos com a mais elevada de todas as exposições seja incluído em uma amostra parcial, veja a Tabela 3.1 para o tamanho requerido do subgrupo parcial, que parece ser $n \sim 15$. Ou seja, 15 trabalhadores seriam escolhidos aleatoriamente, a partir do total de 26. Assim, é necessário amostrar quase 60% do grupo para garantir, com 90% de probabilidade, que ao menos um trabalhador com uma exposição nos 10% mais elevados de todo o grupo, seja incluído.

Etapa 2: Amostragem Aleatória de Trabalhadores

Depois de selecionar o número apropriado de trabalhadores para amostra, é necessário selecionar realmente os trabalhadores de forma aleatória e medir as exposições. Esta seção descreverá como o procedimento de amostragem aleatória pode ser implementado com o uso de uma tabela de números aleatórios.

A Tabela 3.2 contém os números aleatórios neces-

sários para amostragem parcial. Ela é utilizada da seguinte maneira:

1. Atribua, a cada indivíduo do grupo de risco, um número de 1 a N , onde N é o número de pessoas no grupo.
2. Vá para a Tabela 3.2 e escolha arbitrariamente (idealmente, de forma randômica), uma posição inicial da tabela. Leia para baixo, ignorando números maiores que N , bem como o número zero, e selecione os números menores ou iguais a N . Continue a selecionar números dessa forma até que uma amostra parcial de n números tenha sido escolhida. Se necessário, prossiga para a próxima coluna e, se alcançar o fim da coluna 25, retorne para a coluna 1.

Por exemplo, para selecionar 15 indivíduos de 26, de forma aleatória, o procedimento desta seção resulta em:

1. Primeiro, numere os indivíduos do grupo, de 1 a 26.
2. Escolha arbitrariamente o primeiro número na coluna 10 da Tabela 3.2, como posição inicial, e leia, selecionando os seguintes números: 11, 20, 8, 1, 14, 13, 25, 23, 7, 22, 18, 19, 9, 10, 3.
3. Os indivíduos a quem esses números foram atribuídos terão agora suas exposições a contaminantes monitoradas.

Se deseja utilizar um nível de confiança diferente de 90%, ou escolher uma porcentagem que não 10%, consulte o Apêndice Técnico A, Cálculo de Tamanho de Amostra para um Subgrupo de Risco Máximo a Partir de um Grupo Homogêneo de Alto Risco.

3.1.3 Seleção de Empregados para o Programa de Monitoramento de Exposição Periódica

Os Regulamentos de Saúde propostos pela OSHA exigem que, se uma das medições de exposição tomada do empregado (ou subgrupo) com risco máximo mostrar exposições a substâncias tóxicas acima ou no nível de ação, o empregador deve:

TABELA 3.2. TABELA DE NÚMEROS ALEATÓRIOS PARA AMOSTRAGEM PARCIAL*

LINHA	COLUNA	1	5	10	15	20	25	
1	05 57 23 06 26 23 08 66 16 11 73 28 81 56 14 62 82 45 65 80 36 02 76 55 63	37 78 16 06 57 12 46 22 90 97 78 67 39 06 63 60 51 02 07 16 75 12 90 41 16	23 71 15 08 82 64 87 29 01 20 46 72 05 80 19 27 47 15 76 51 58 67 06 80 34	42 67 98 41 67 44 28 71 43 09 47 76 30 26 72 33 69 92 51 95 23 26 85 76	05 83 03 84 32 62 83 27 48 83 19 84 90 20 20 50 87 74 93 51 62 10 23 30			
6	60 46 18 41 23 74 73 51 72 90 40 52 95 41 20 89 48 98 27 38 81 33 83 82 94	32 80 64 75 91 98 09 40 64 89 29 99 46 35 69 91 50 73 75 92 90 56 82 93 24	79 86 53 77 78 06 62 37 48 82 71 00 78 21 65 65 88 45 82 44 78 93 22 78 09	45 13 23 32 01 09 46 36 43 66 37 15 35 04 88 79 83 53 19 13 91 59 81 81 87	20 60 97 48 21 41 84 22 72 77 99 81 83 30 46 15 90 26 51 73 66 34 99 40 60			
11	67 91 44 83 43 25 56 33 28 80 99 53 27 56 19 80 76 32 53 95 97 53 09 61 98	86 50 76 93 86 35 68 45 37 83 47 44 52 57 66 59 64 16 48 39 26 94 54 66 40	56 73 38 38 23 36 10 95 16 01 10 01 59 71 55 99 24 88 31 41 00 73 13 80 62	55 11 59 29 17 73 97 04 20 39 20 22 71 1 43 00 15 10 12 35 09 11 00 89 05	23 54 33 87 92 92 04 49 73 96 57 53 57 08 93 09 69 87 83 07 46 39 50 37 05			
16	41 48 67 79 44 57 40 29 10 34 58 63 51 18 07 41 02 39 79 14 40 68 10 01 61	03 97 71 72 43 27 36 24 59 88 82 87 26 31 11 44 28 58 99 47 83 21 35 22 88	90 24 83 49 07 41 56 68 11 14 77 75 48 68 08 90 89 63 87 00 06 18 63 21 91	98 98 97 42 27 11 80 51 13 15 03 42 91 14 51 22 15 48 67 52 09 40 34 60 85	74 20 94 21 49 96 51 69 99 85 43 76 55 81 36 11 88 68 32 43 08 14 78 05 34			
21	94 67 48 87 11 84 00 85 93 56 43 99 21 74 84 13 56 41 90 96 30 04 19 68 73	58 18 84 82 71 23 66 33 19 25 65 17 90 84 24 91 75 36 14 83 86 22 70 86 89	31 47 28 24 88 49 28 69 78 62 23 45 53 38 78 65 87 44 91 93 91 62 76 09 20	45 62 31 06 70 92 73 27 83 57 15 64 40 57 56 54 42 35 40 93 55 82 08 78 87	31 49 87 12 27 41 07 91 72 64 63 42 06 66 82 71 28 36 45 31 99 01 03 35 76			
26	69 37 22 23 46 10 75 83 62 94 44 65 46 23 65 71 69 20 89 12 16 56 61 70 41	93 67 21 56 98 42 52 53 14 86 24 70 25 18 23 23 56 24 03 86 11 06 46 10 23	77 56 18 37 01 32 20 18 70 79 20 85 77 89 28 17 77 15 52 47 15 33 35 12 75	37 07 47 79 60 75 24 15 31 63 25 93 27 66 19 53 52 49 98 45 12 12 06 03 32	72 08 71 01 73 46 39 60 37 58 22 25 20 84 30 02 03 62 68 58 38 04 06 89 94			
31	55 22 48 46 72 50 14 24 47 67 84 37 32 84 82 64 97 13 69 85 20 09 80 46 75	69 24 98 90 70 29 34 25 33 23 12 69 90 50 38 93 84 32 28 96 03 65 70 90 12	01 86 77 18 21 91 66 11 84 65 48 75 26 94 51 40 5 53 38 39 77 69 06 25 07	5 43 94 06 80 61 34 28 46 28 11 48 48 94 60 65 06 63 71 06 19 35 05 32 56	58 78 02 85 80 29 67 27 44 07 57 23 20 28 22 62 97 59 62 13 41 72 70 71 07			
36	33 75 88 51 00 33 56 15 84 34 28 50 16 65 12 81 56 43 54 14 63 37 74 97 59	58 60 37 45 62 09 95 93 16 59 35 22 9 78 04 97 98 80 20 04 38 92 13 92 30	72 13 12 95 32 87 99 32 83 65 40 17 92 57 22 68 98 79 16 23 53 56 56 07 47	22 21 3 16 10 52 57 71 40 49 95 25 55 36 95 57 25 25 77 05 38 05 62 57 77	97 94 83 67 90 68 74 88 17 22 38 01 04 33 49 38 47 57 61 87 15 39 43 87 03			
41	09 03 68 53 63 29 27 31 66 53 39 34 88 87 04 35 83 69 52 74 93 16 52 01 65	29 95 61 42 65 05 72 27 28 18 09 85 24 59 46 03 91 55 38 62 51 71 47 37 38	81 96 78 90 47 41 38 36 33 95 05 90 26 72 85 23 30 70 51 56 93 23 84 83	44 52 20 81 21 57 57 85 00 47 26 10 87 22 45 72 03 5 75 23 38 38 56 77 97	68 9 12 15 08 02 18 74 56 79 21 53 53 41 77 5 07 39 87 11 19 25 62 19 30			
46	29 33 77 60 29 09 25 09 42 28 07 15 40 67 56 29 58 75 84 06 19 54 31 16 53	54 13 39 19 29 64 97 73 71 6 78 03 24 02 93 86 69 76 74 28 08 98 84 08 23	75 16 85 64 64 93 85 68 08 84 15 41 57 84 45 1 70 13 17 60 47 80 10 13 00	36 47 17 08 78 03 92 85 18 42 95 48 27 37 99 98 81 94 44 72 05 95 42 31 17	29 6 08 21 91 23 76 72 84 98 26 23 66 54 86 88 95 14 82 57 17 99 16 28 99			

*Reproduzida a partir da Tabela A-36 de Natrella (3.1), com permissão de Rand Corporation, "A Million Random Digits," The Free Press, 1955.

1. identificar todos os empregados que podem estar expostos acima ou no nível de ação; e
2. medir a exposição desses empregados identificados.

O intuito dessa disposição é exigir medições de exposição apenas para os trabalhadores com índices significativos. O empregador deve definir a população em risco e medir a exposição de cada um dos empregados. É importante perceber que o objetivo da disposição não pode ser atingido pela amostragem de um subgrupo de trabalhadores e atribuição da exposição média obtida para todos os trabalhadores, excedo em circunstâncias incomuns. Isso se dá por causa da variação considerável de exposições, mesmo entre empregados que supostamente fazem o mesmo trabalho. Mais explicações são fornecidas no Apêndice Técnico B, Variação de Exposição em Grupos de Trabalhadores com Risco de Exposição Semelhante Esperada.

Seja porque um indivíduo com risco máximo foi identificado ou porque o procedimento de amostragem parcial do grupo com risco igual é utilizado, o objetivo permanece o mesmo: determinar se a exposição, de qualquer empregado, medida, está acima do nível de ação. Se a exposição do empregado com a maior exposição, independente de como foi identificada, estiver abaixo do nível de ação, é justo admitir

que as medidas de exposição dos outros empregados, dessa operação, estão abaixo do nível de ação. Nenhuma ação adicional é necessária até que ocorram alguma alteração da operação ou das medidas de controle. Se a medida do risco máximo está acima do nível de ação, é necessário prosseguir na identificação dos empregados cujas exposições podem estar acima do nível de ação.

3.2 AMOSTRAS PESSOAL, DE ZONA DE RESPIRAÇÃO E DO AR AMBIENTE

Os regulamentos de saúde propostos pela OSHA exigem que a exposição de um empregado seja medida pela combinação de amostras de longo prazo e de curto prazo que representem a exposição real do empregado. Amostras de ar devem ser tomadas na área de respiração do empregado (ar que mais aproximadamente representa o ar inalado pelo empregado). Há três tipos básicos de técnicas de coleta de amostras de ambiente ocupacional:

1. Pessoal – O dispositivo de amostragem é acoplado diretamente no empregado, que o usa continuamente durante as operações

- de trabalho e descanso.
2. Zona Respiratória – O dispositivo de amostragem é segurado por um segundo indivíduo, que tenta coletar o ar da "zona de respiração" do empregado.
3. Ar Ambiente - O amostrador é colocado em uma localização fixa da área de trabalho (também referida como "área de amostragem").

O objetivo dos regulamentos é que as amostras obtidas com o propósito de medir a exposição do empregado sejam normalmente colhidas a partir dos métodos "pessoal" ou "zona respiratória". Se forem utilizadas amostras obtidas pelo "ar ambiente", para determinar a exposição do empregado, é necessário demonstrar que elas medem precisamente as exposições. Geralmente, isso implicaria em um trabalho extenso e um estudo de movimento, para cada empregado, repetido a cada 3 meses, pelo menos. Então, a comparação deve ser feita com amostras pessoal e da área respiratória, para mostrar equivalência. Normalmente, isso é muito difícil de fazer. Consulte o Apêndice Técnico C, A Inadequação do Monitoramento do Ar Geral (Área) Para a Medição de Exposições de Empregados, para mais discussões sobre o assunto.

3.3 ESTRATÉGIAS DE MEDAÇÃO DE EXPOSIÇÃO

Os procedimentos de decisão no próximo capítulo sobre o cumprimento e descumprimento com base em medições de exposição serão diferentes, dependendo de como as amostras foram obtidas em relação ao período do padrão, a duração das amostras e número de amostras. A terminologia a seguir é utilizada para descrever estes vários tipos de medição. Ver Figura 3.1 para uma representação gráfica dos tipos de medição. O termo "período" refere-se ao período do padrão. Para um padrão TWA de 8 horas, o período é de 8 horas, e para um padrão máximo, é geralmente de 15 minutos. Uma "medição" de exposição consiste em uma ou mais amostras (zona pessoal ou respiração) tomadas durante o período de medição.

3.3.1 Período Total de Medição de Amostra Única

A amostra é retirada para o período integral da norma. Isto seria 8 horas para um TWA padrão de 8 horas e 15 minutos para um limite.

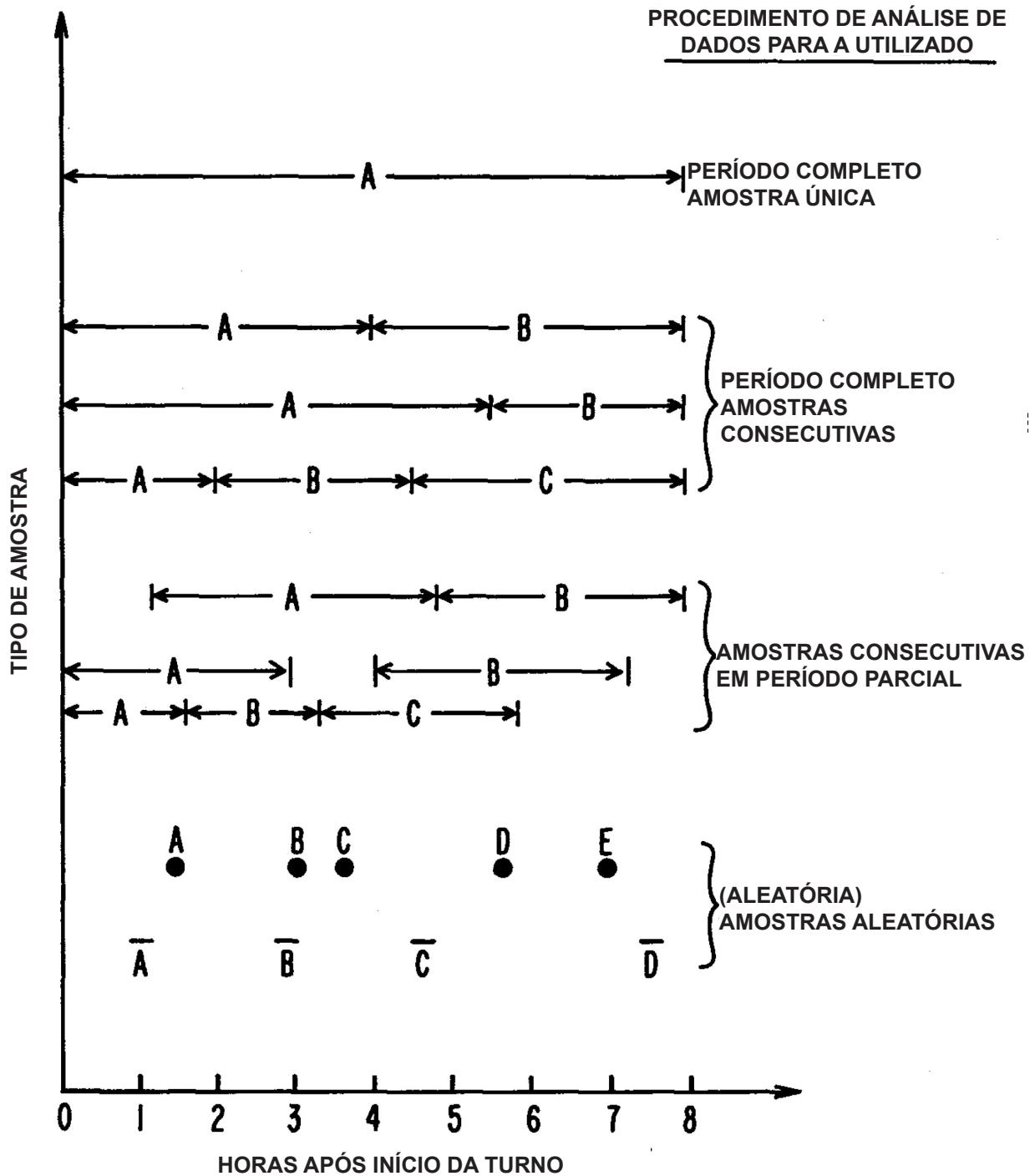


Figura 3.1. Quadro de referência dos tipos de medições de exposição que poderiam ser tomadas para um padrão de exposição média de 8 horas.

Exemplo:

Uma bomba de amostragem individual com uma cabeça de amostragem de poeira respirável é anexada a um empregado, no início do seu turno às 8h, desligado das 11h30 às 12h meio-dia (almoço) e ligado novamente das 12h meio-dia às 16h30. A amostra coletada constitui uma amostra de período completo para a determinação de exposição ao pó inalável porque cobre a totalidade do período de tempo adequado para o padrão (8 horas).

3.3.2 Medidas de Amostras Consecutivas em Intervalo Total

São obtidas várias amostras (duração de tempo igual ou desigual), durante todo o período adequado para o padrão. O tempo total coberto pelas amostras deve ser de 8 horas para um TWA padrão de 8 horas, e 15 minutos para um padrão limite.

Exemplo:

Amostras pessoais são coletadas em um trabalhador envolvido com amianto da seguinte forma:

<i>Amostra N°</i>	<i>Tempo</i>
1	7h (início do turno) às 8h
2	8h às 9h30
3	9h30 às 11h
4	11h às 13h (desligado e coberto por 30 minutos durante)
5	13h às 15h30

A medida obtida é uma medida de amostra consecutiva de período completo porque abrange todo o período de tempo adequado para o padrão (8 horas) e as amostras são obtidas consecutivamente (ou em série).

3.3.3 Medidas de Amostras Consecutivas em Intervalo Parcial

Uma ou várias amostras (duração de tempo igual ou desigual) são obtidas por apenas uma parte do período adequado para o padrão. Para um TWA padrão de 8 horas, significaria que a amostra ou amostras cobrem cerca de 4 até menos de 8 horas. Várias amostras, totalizando menos de 4 horas (como oito amostras de 30 minutos), provavelmente seria melhor descrito como (de curto prazo) amostras aleatórias para fins de análise apresentados no próximo capítulo.

Exemplo:

A coleta de uma amostra pessoal para exposição ao chumbo foi iniciada às 9h e continuou até o final do turno às 15h30. O turno de 8 horas começou às 7h com uma pausa para o almoço de meia hora, das 11h30 às 12h. A medição obtida é uma medição da amostra de período parcial, uma vez que abrange apenas parte (6 horas) do período adequado para o padrão (8 horas).

3.3.4 Medição de Amostragem Aleatória

Em alguns casos é impossível, por causa de limitações em métodos de medição como com medidores de leitura direta ou tubos de detecção colorimétricos, coletar uma única amostra, ou uma série de amostras consecutivas cuja duração total se aproxima do período em que o padrão está definido. Neste caso, as amostras aleatórias são obtidas sobre um certo número de períodos de tempo curtos (menos de uma hora cada um; em geral apenas alguns minutos ou segundos). Amostras aleatórias são obtidas em intervalos aleatórios ao longo do período de tempo em que o padrão está definido.

Exemplo:

É necessário obter uma medição da exposição de fosgênio utilizando tubos de detecção. Cada amostra no tubo de detecção leva 5 minutos para ser recolhida. Devem-se recolher 10 amostras dos noventa e seis possíveis períodos de 5 minutos durante o período de 8 horas. Estas dez amostras de 5 minutos de duração constituem 10 amostras aleatórias da exposição do trabalhador no dia em questão. A estimativa da exposição TWA de 8 horas obtida a partir da média das leituras dos 10 tubos seria uma medição de amostra aleatória.

3.4 MEDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO PARA UM PADRÃO TWA DE 8 HORAS

Esta seção discutirá os fatores que afetam a escolha de uma estratégia de medição de exposição para a medição de um dia específico. Não há algo como uma "melhor" estratégia para todas as situações. No entanto, algumas estratégias são claramente melhores que outras. Diretrizes serão dadas para comparar estratégias alternativas. São considerações gerais:

- Disponibilidade e custo do equipamento de amostragem (bombas, filtros, tubos de detecção, medidores de leitura direta, etc)

- Disponibilidade e custo de centros de análise de amostra (para filtros, tubos de carvão, etc)
- Disponibilidade e custo de pessoal para recolher amostras
- Localização de funcionários e operações de trabalho
- Variação da exposição profissional (intradiária e interdiária)
- Precisão e exatidão da amostragem e métodos analíticos
- Número de amostras necessárias para atingir a precisão requerida da medição da exposição.

O assunto da variação da exposição ocupacional intradiária e interdiária tem sido discutido por Ayer e Burg (3-2) e Leidel et al. (3-3). A variação da exposição de operações específicas é praticamente impossível de se prever. A única generalização que pode ser feita é que a variação intradiária e interdiária, como medida pelo desvio-padrão geométrico (DPG), geralmente situa-se entre 1,25 e 2,5, tal como mostrado pelos dados em (3-20) e (3-3).

Precisão e exatidão da amostragem e métodos analíticos são discutidos no Apêndice Técnico D, Coeficientes de Variação e Requisitos de Precisão para Amostragem de Higiene Industrial e Métodos Analíticos. Novamente para generalizar, a maioria das amostragens NIOSH e procedimentos analíticos têm coeficientes totais de variação de 0,05 a 0,10 (5% a 10%). Também consulte o Anexo Técnico E, Efeito Geral de Tamanho da Amostra sobre Requisitos para Demonstração de Conformidade e Não Conformidade.

Depois de considerar a variação de exposição e a precisão/exatidão da amostragem/métodos analíticos, as seguintes diretrizes gerais podem ser dadas:

1. A Medição de Amostras Consecutivas de Período Completo é "melhor" na medida em que produz os limites de confiança mais estreitos na estimativa da exposição. Há benefícios estatísticos a serem obtidos com amostras maiores (como oito amostras de 1 hora, em vez de quatro amostras de 2 horas), mas com os desproporcionalmente grandes custos adicionais (especialmente analíticos), os benefícios são geralmente insignificantes. Ou seja, os ganhos de amostras adicionais (mais curtas) no mesmo turno de trabalho em "poder de decisão" são pequenos em comparação

com os custos significativamente maiores.

Consulte as Figuras E-1 e E-3 do Anexo Técnico E para o efeito do aumento do tamanho da amostra. Considerando as técnicas de amostragem/analíticas disponíveis atualmente, podemos afirmar que duas amostras de períodos completos consecutivos (cerca de 4 horas cada, para um padrão TWA de 8 horas) geralmente oferecem uma precisão suficiente e são recomendadas como a "melhor" medição para se fazer.

2. A Medição de Amostra Única de Período Completo (uma amostra de 8 horas) está próxima da melhor se um método de amostragem/analítico adequado estiver disponível. Neste caso, uma amostra de 8 horas, é essencialmente tão boa (todos os fatores considerados) como duas amostras de 4 horas. O Consecutivo Período Parcial
3. Medição de Amostras é a próxima escolha. O problema principal com este tipo de medição é como controlar o período sem amostra. Estritamente falando, os resultados da medição são válidos apenas para a duração do período em que as medições cobrem (6 de 8 horas). No entanto, qualquer julgamento profissional permite inferências a serem feitas a respeito de concentrações de exposição durante o período sem amostragem. Conhecimento confiável sobre a operação é necessário para fazer esse julgamento.
4. O período com amostragem deverá cobrir pelo menos 70% a 80% do período total. Para medições de exposição feitas pelo empregador ou seu representante, é provavelmente suficiente atribuir a média de exposição do período parcial para todo o período. Supõe-se que o período sem amostragem teve a mesma média de exposição que a período com amostra. No entanto, os testes de decisão estatísticos no próximo capítulo não são plenamente válidos nesta situação. Pode-se colocar limites de confiança em uma média de exposição de 6 horas, mas não seria adequado compará-los com um padrão TWA de 8 horas desde que os hábitos de trabalho do em-

pregado e da operação de trabalho devem ser idênticos durante as períodos de turno com amostras e sem amostras.

Este tipo de medição deve ser evitada, se possível. Para medições de exposição feitas por um encarregado de conformidade governamental, é melhor assumir a exposição zero para o período sem amostragem. A figura E-5 do Anexo Técnico E mostra o "poder" baixo do Procedimento de Amostragens Consecutivas de Período Parcial. O efeito do tamanho da amostra e o tempo total coberto por todas as amostras sobre os requisitos para demonstrar não conformidade é mostrado pela família de quatro curvas. A curva inferior (para um tempo total de amostra de 8 horas) é a mesma curva de CV - 0,10 da Figura E-3. A recolha de amostras consecutivas de período parcial é um ajuste entre a amostra preferida de período total e as amostras aleatórias menos desejáveis. Se um GSD de 2,5 for admitido na Figura E-4 (Apêndice Técnico E), uma curva de cerca de 5 horas e meia na Figura E-5 teria aproximadamente as mesmas proporções X/STD. Portanto, se não for possível amostrar, pelo menos, 70% do período de tempo adequado ao padrão (5 horas e meia para um padrão de 8 horas), é melhor partir para uma estratégia de amostragem aleatória. Leidel e Busch (3-4) devem ser consultados para a análise deste tipo de dados quando a exposição zero for admitida para o período sem amostragem.

4. Uma Medição de Amostra aleatória é a maneira menos desejável de estimar uma exposição TWA de 8 horas. Isso ocorre porque os limites de confiança na estimativa de exposição são muito grandes e é preciso ter uma média baixa de exposição para demonstrar estatisticamente a conformidade com os métodos do próximo capítulo. Consulte o Anexo Técnico E, Efeito Geral de Tamanho da Amostra sobre os Requisitos de Demonstração de Conformidade e Não Conformidade, Figura E-2. Figura E-2 mostra que o número ideal de amostras aleatórias para recolher para uma medição de exposição é entre 8 e 11. Isso só se aplica, contudo, para a exposição TWA de 8 horas, se a operação do trabalhador e exposição de trabalho forem relativamente constantes durante o dia. Se o trabalhador estiver em vários locais de trabalho ou operações durante o turno de 8 horas,

então, pelo menos de 8 a 11 amostras aleatórias devem ser recolhidas durante cada período de exposições diferentes que contribuem significativamente para a exposição TWA 8 horas. Se alguém estiver limitado a recolher menos que 8 a 11 amostras em cada local (ou operação), então escolher o número de amostras em cada local em proporção aproximada ao tempo gasto em cada local. Ou seja, *recolher mais amostras em áreas onde mais tempo é gasto*.

Se amostras aleatórias forem recolhidas, a sua duração é importante apenas naquelas amostras suficientes devem ser recolhidas para o método analítico. Ou seja, qualquer aumento no período de amostragem que ultrapasse o tempo mínimo necessário para recolher uma quantidade suficiente de material é desnecessário e improdutivo. Uma amostra aleatória de 40 minutos é um pouco melhor que uma de 10 minutos. Isso é discutido por Leidel e Busch (3-4).

A última questão a ser respondida refere-se a quando recolher as amostras aleatórias durante o período de exposição. A precisão do nível de probabilidade para o teste depende de suposições implícitas da log normalidade e independência da média dos resultados. Estes pressupostos não são muito restritivos se forem tomadas precauções para evitar inclinação ao selecionar os tempos de amostragem durante o período para o qual o padrão está definido. Para este fim, é desejável escolher os períodos de amostragem em uma forma estatisticamente aleatória.

Para um padrão definido como uma concentração média ponderada pelo tempo ao longo de um período maior que o intervalo de amostragem, uma estimativa imparcial da verdadeira média pode ser assegurada através de amostras em intervalos aleatórios. É válido amostrar em intervalos iguais se a série for estável, com os níveis de contaminantes variando aleatoriamente sobre uma média constante e oscilações de curta duração, em relação ao comprimento do intervalo de amostragem.

Se as médias e seus limites de confiança forem calculados a partir de amostras recolhidas em intervalos igualmente espaçados, contudo, resultados enviesados poderiam ocorrer se os ciclos de operação estivessem em fase com o

períodos de amostragem. Os resultados da amostragem aleatória são imparciais mesmo quando ciclos e tendências ocorrem durante o período do padrão.

O termo "aleatório" refere-se à forma de selecionar a amostra. Qualquer amostra em particular pode ser o resultado de um processo de amostragem aleatória. Uma maneira prática de definir a amostragem aleatória é que qualquer porção do turno de trabalho tem a mesma chance de ser amostrada.

O Apêndice Técnico F, Seleção de Períodos de Amostragem Aleatória Durante um Turno de 8 Horas de Trabalho, fornece o método estatístico formal para escolher os períodos de amostragem randômica.

3.5 MEDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO PARA UM LIMITE MÁXIMO PADRÃO.

As amostras para determinação de conformidade com limites máximos padrão são tratadas de maneira similar às realizadas para comparação com os padrões de TWA. Devem-se notar duas diferenças importantes.

A primeira é que as amostras feitas para comparação com limites máximos padrão são melhor feitas de forma não-aleatória. Isto é, todo o conhecimento disponível sobre a área, os indivíduos e os processos sendo amostrados deve ser mobilizado para obter amostras durante períodos de concentrações máximas esperadas, da substância.

O segundo ponto é que tais amostras coletadas para comparação com limites máximos padrão são normalmente colhidas por um período muito mais curto que as realizadas para calcular TWAs. Há quatro formas diferentes que podem ter o período de tempo definido para um limite máximo padrão (29 CFR 1910. 1000).

1. 29 CFR 1910.1000(a)(1) para a Tabela Z-1: Nenhum período de tempo. "A exposição de um empregado... jamais deve ultrapassar o valor do limite máximo..."
2. 29 CFR 1910.1000(a)(2) para a Tabela Z-2: Nenhum período de tempo, mas há pico acima do "limite máximo" permitido. "A exposição de um empregado. . . não deve ultrapassar, em tempo algum dentro de um turno de 8 horas, o limite de concentração do máximo aceitável. . . exceto para... um valor de pico máximo."
3. 29 CFR 1910.1000(a)(2) para a Tabela Z-2: Período de tempo breve (5 a 30 minutos) definido como "duração máxima" para "pico máximo". O limite máximo padrão

diretamente acima pode ser ultrapassado por períodos breves até uma concentração definida como "pico máximo aceitável acima da concentração do limite máximo aceitável, para um turno de 8 horas."

4. No Programa atual de Conclusão de Padrões, realizado em conjunto por NIOSH/OSHA, todos os limites máximo padrão das substâncias, na Tabela Z-1 da 29 CFR 1910.1000 são definidos assim, quanto aos períodos de 15 minutos: "... concentrações não acima da... média acima de algum período de 15 minutos durante um turno de trabalho de 8 horas."

As medições realizadas com o propósito de determinar a exposição do empregado em relação a substâncias com limite máximo padrão devem ser colhidas durante períodos de concentrações atmosféricas máximas e esperadas, da substância. Cada medição deve conter uma amostra de 15 minutos (ou série de amostras consecutivas que totalizem 15 minutos), coletadas da zona respiratória do empregado. Devem-se coletar no mínimo três medições, em um turno de trabalho, e a mais alta de todas as medições corresponde a uma boa estimativa da exposição superior do empregado, naquele turno.

É mais fácil localizar grandes erros ou desvios quando se faz pelo menos três medições. Na maioria dos casos, contudo, será feito o teste estatístico para verificar a conformidade apenas do valor mais alto, por meio do Procedimento de Medição de Amostras Simples em Período Completo, Capítulo 4 (seção 4.2.1). Se as amostras forem colhidas por comparação com o "pico máximo" do limite máximo padrão (29 CFR 1910.1000, Tabela Z-2), o período de amostragem deve ser igual ao período de "duração máxima", daquele padrão em particular. Assim, para tubos detectores, pode ser necessário realizar várias amostras consecutivas e calcular a média dos resultados. E o Procedimento de Medição de Amostras Simples em Período Completo (seção 4.2.1) será utilizado para analisar os resultados. A classificação de exposições para um limite máximo padrão será discutida na seção 4.3 do Capítulo 4.

Mesmo que amostras para comparação com limites máximos padrão sejam melhor colhidas de forma não-aleatória, pode haver situações em que o processo parece constante durante o turno de trabalho. Nesse caso, a quantidade de períodos de tempo que deve ser amostrada deve ser estimada para que essa representação (uma ou mais) seja garantida a partir das exposições desejadas (a 15% ou 10% maiores) pelas técni-

cas da seção 3.1.2 e do Apêndice Técnico A.

Por exemplo, com um limite máximo padrão definido para um período de 15 minutos, há 32 períodos não-sobrepostos, em um turno de 8 horas. Assim, com $N = 32$ e com o uso do Apêndice Técnico a, os seguintes tamanhos amostrais são determinados:

Período de 15 minutos

No mínimo um período do:	Nível de confiança	Amostrar no mínimo:
20% maiores	0,90	9 períodos
20% maiores	0,95	11 períodos
10% maiores	0,90	16 períodos
10% maiores	0,95	19 períodos

Onde o limite máximo padrão é definido para um período de 10 minutos, haveria 48 períodos, e os seguintes tamanhos amostrais são apropriados:

Período de 10 minutos

No mínimo um período do:	Nível de confiança	Amostrar no mínimo:
20% maiores	0,90	9 períodos
20% maiores	0,95	12 períodos
10% maiores	0,90	17 períodos
10% maiores	0,95	21 períodos

Às vezes, pode-se colher amostras em tempo muito breve, como as realizadas com um tubo detector, por 3 minutos, ou leituras no local com ou um medidor de leitura direta. Então, o número adequado de amostras a fazer é dado pela equação 5 do Apêndice Técnico A, e os resultados são:

Período inferior que 5 minutos

No mínimo um período do:	Nível de confiança	Amostrar no mínimo:
20% maiores	0,90	10 períodos
20% maiores	0,95	13 períodos
10% maiores	0,90	22 períodos
10% maiores	0,95	28 períodos

Assim que o número apropriado de períodos é escolhido, os determinados tempos a serem amostrados devem ser selecionados. Isso se faz pelas técnicas da estratégia de Amostragem Aleatória, da seção 3.4.4 e Apêndice Técnico F. Outra técnica útil é plotar os resultados da amostra na folha de probabilidade log-normal, fornecida no Apêndice Técnico I. Isso dará uma boa ideia da distribuição real da exposição pela porcentagem do tempo durante o turno de trabalho.

3.6 REGISTRANDO RESULTADOS DE AMOSTRAS DE MEDIÇÃO DE EXPOSIÇÃO

De acordo com os regulamentos de saúde propostos pela OSHA, o empregador é obrigado a manter um registro exato de todas as medições realizadas para determinar a exposição do empregado a uma particular substância regulamentada. O registro deve incluir, no mínimo:

- A data da medição;
- Operações que envolvem a exposição à substância monitorada;
- Métodos de amostragem e de análise utilizados, e evidência de sua acurácia, inclusive método, resultados e data da calibração dos equipamentos de amostragem;
- Número, duração e resultados das amostras colhidas; e
- Nome, número do registro na Previdência Social e exposição do empregado monitorado.

O registro deve ser mantido até que seja substituído por um mais recente, porém em hipótese alguma deve ser mantido por menos que 1 ano. Algumas substâncias exigem um período mínimo de retenção superior a 1 ano.

O Registro da Medição de Exposições de Empregados (Figura 3.2) contém um tipo de informação que deve ser registrado para cada medição. Os cálculos das exposições médias para o empregado podem ser feitos no verso do formulário, como referência.

Se o local de calibração do medidor de fluxo do dispositivo de amostragem (como rotâmetros de bomba ou orifício crítico) e a localização da amostra forem diferentes em mais de alguns mil pés de altitude, ou mais que entre 25 e 30 graus Fahrenheit de temperatura, deve-se utilizar fatores de correção de medidores de fluxo. Tal procedimento é fornecido no Apêndice Técnico G, Correções de Temperatura e Pressão de Volumes de Amostras da Higiene Industrial e Cálculo de Concentrações (ppm). O procedimento de correção do medidor de fluxo não é obrigatório para dispositivos de amostragem com bombas volumétricas. No Apêndice Técnico G também há o procedimento e um nomograma para conversão de concentrações de massa (por exemplo, miligramas por metro cúbico) para a medida de concentração partes por milhão, para comparação com os padrões federais. O último procedimento é necessário independentemente da amostra utilizada.

O requisito para "evidência de acurácia" dos métodos amostral e analítico podem

REGISTRO DE MEDAÇÃO DE EXPOSIÇÃO DO EMPREGADO

Instalação	.....	Área	.....
Amostrado por	.....	Data	.....
Temperatura	.....	Altitude	.....
Amostra	#.....	Nome do Empregado	.....
Operação(ões) monitorada(s)	.....	Amostra N°	
Tipo de amostra: Individual	.....	Zona respiratória	.....
Condições de operação e métodos de controle	.....	
			
Horário de término	.....	Horário de início	.....
Tempo decorrido (min)	.....	Taxa de fluxo indicada (LPM)	.....
Local de calibração	.....	By	.....
Método de amostragem/análise	.....	Data	
Evidência de acurácia	.....	.....
Observações, possíveis interferências, ações tomadas, etc.	.....	.....
			
			
Resultados da análise amostral ou leitura do instrumento	.....	.....
			
			
Exposição do empregado (indicar se média de 8 h ou 15 min) e número de amostras em que essa informação se baseia			
			
			

Figura 3.2 Registro de medição de exposição do empregado

causar certa preocupação. Entretanto, não é preciso ser interpretado como algo que exige que o empregador execute seus próprios testes de acurácia do método de análises de um laboratório ou dos testes dos equipamentos certificados. A seguir, exemplos de atender tal exigência:

1. Estabelecer procedimentos de calibração no local, para equipamentos de amostragem.
2. Analisar as amostras em um laboratório que participa do programa de controle de qualidade de higiene industrial, como as análises realizadas para a AIHA.
3. Utilize tubos detectores certificados pela NIOSH (certificados pela 42 CFR Parte 84), se disponíveis.
4. Consulte as declarações de acurácia do material do fabricante.
5. Consulte as declarações dos laboratórios de análise, que dizem se eles atendem os requisitos de acurácia dos regulamentos.

Consulte o Apêndice Técnico D, Coeficientes de Variação e Requisitos de Acurácia para Amostragem de Higiene Industrial e Métodos Analíticos.

Lembre-se que, se alguma estratégia de medição de exposição diferente da Medição de Amostras Simples em Período Completo for utilizada, a média da exposição deve ser calculada pelo método da TWA. Para conhecer esse procedimento, consulte o Apêndice Técnico H, Cálculo da Média Ponderada por Tempo (TWA) da Exposição.

Por fim, pode ser muito instrutivo plotar graficamente os dados da medição da exposição das amostras aleatórias (ou médias de exposição para empregados de um grupo de exposição ocupacional). Procedimentos e exemplos são fornecidos no Apêndice Técnico I, Pontos de Probabilidade Log Normal de Dados de Medição de Exposição e Médias de Exposição. Os resultados do traçado da medição de exposição (ou médias de exposição de empregado) na folha de probabilidade log normal fornecem uma representação prática dos percentis dos dados (ou percentis de exposição). A distribuição log normal equiparada pode ser mostrada como uma linha reta, no mesmo gráfico dos Dados de Medição de Exposição e Médias de Exposição.

Outra maneira de apresentar e analisar as exposições diárias de um empregado é representar médias por tempo em um gráfico, como nos gráficos de controle de qualidade industrial.

Leidel *et al.* (3-3) discutiram as semelhanças entre os programas de monitoramento de exposição de empregados e programas de controle de qualidade. Para os interessados na aplicação das técnicas de gráficos de controle de qualidade, em programas de monitoramento de exposição, o trabalho de Morrison (3-5) é útil; os trabalhos nessa área serão estimulados.

3.7 INTERVALO ENTRE DIAS MONITORADOS

Os regulamentos de saúde propostos pela OSHA, desenvolvidos segundo o Programa de Conclusão de Padrões, exigem o seguinte:

1. A exposição de um empregado cuja medição de exposição encontra-se acima ou no nível de ação, mas não acima da exposição admissível, deve ser medida a cada 2 meses, pelo menos.
2. Para um empregado cuja medição de exposição ultrapassar a exposição admissível, o empregador deve medir sua exposição todos os meses, pelo menos, até a exposição diminuir para abaixo do padrão, por medidas de controle adequadas.

Os itens acima correspondem aos requisitos legais mínimos propostos. Medições mais frequentes devem ser realizadas com base na opinião profissional da situação de exposição.

3.8 TÉRMINO DO MONITORAMENTO DE EXPOSIÇÕES

Os regulamentos de saúde propostos pela OSHA permitem que o monitoramento de exposição de determinado empregado seja concluído, se duas medições consecutivas de exposição, colhidas no mínimo dentro de 1 semana, revelarem que cada uma das medições de exposição do empregado está abaixo do nível de ação. Ou seja, ambas as medições devem estar abaixo do nível de ação.

3.9 ESTRATÉGIA DE AMOSTRAGEM PARA EMPREGADOS QUE NÃO TRABALHAM FREQUENTEMENTE COM SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS

O Capítulo 2 e as seções anteriores deste capítulo foram desenvolvidos com o conhecimento de que, onde produtos químicos são utilizados nos processos industriais e liberados no ar do ambiente de trabalho, a maioria das situações com potencial de exposição para empregados será rotina, ocorrerá diariamente.

Porém, há tipos de trabalhos na indústria em que os empregados não trabalham com produtos químicos tóxicos segundo uma frequência (por ex., não diariamente, uma vez por mês). Dois exemplos são operações em laboratórios e de manutenção. Essas operações com pouca frequência geralmente resultam em (ou têm potencial para) a geração de níveis de contaminantes maior que as vivenciadas durante operações normais.

A fase de determinação de exposição, dos regulamentos propostos pela OSHA (confira a Tabela 1.1 da seção 1.4 e o Capítulo 2) é totalmente compatível com operações com pouca frequência. Se um empregador considerar todos os fatores exigidos pelos regulamentos propostos, e determinar, com a melhor opinião profissional, que exposições significativas provavelmente não ocorrerão, não é necessário medir as exposições. Consulte o regulamento para cada substância específica no 29 CFR série 1910. 1000 (Subparte Z), para obter os requisitos detalhados. O risco fisiológico do produto químico (ou seu potencial tóxico) deve ser uma consideração importante quando da determinação da necessidade de amostrar empregados com exposições com pouca frequência. Os produtos químicos que podem criar efeitos tóxicos agudos após altas exposições que duram de segundos a horas obviamente têm prioridade de amostragem. Tais produtos precisam ser vigiados mais de perto nas exposições com pouca frequência. Os apêndices informativos dos regulamentos propostos pela OSHA contêm dados de danos à saúde e informações toxicológicas que delineiam os efeitos de curto e longo prazo, de cada substância. Geralmente, tais substâncias com padrões com limite máximo devem ser observadas com muito cuidado, para o caso de risco de superexposição em situações de exposição pouco frequente.

As seções 3.1 a 3.6 também são diretamente aplicáveis às operações pouco frequentes. Contate a OSHA para obter informações sobre o cumprimento dos requerimentos no monitoramento periódico de operações pouco frequentes (seção 3.7). Os requisitos para monitoramento de rotina foram desenvolvidos prin-

cipalmente para detectar turnos perigosos em níveis de exposição da rotina. Por conseguinte, a questão da frequência do monitoramento de operações pouco frequentes é melhor respondida pela opinião profissional, com base nas considerações acima.

REFERÊNCIAS

- 3-1. Natrella, M. G. *Experimental Statistics*. National Bureau of Standards Handbook 91. [Agência Nacional de Padronização, Manual 91]. Superintendência de Documentação, Escritório de Imprensa do Governo dos Estados Unidos, Washington, D.C. 20402, 1963.
- 3-2. Ayer, H. E., e J. Burg. Time-Weighted Average vs. Maximum Personal Sample. Artigo apresentado na Conferência Americana de Higiene Industrial, Boston, 1973.
- 3-3. Leidel, N. A., K. A. Busch e W. E. Crouse. *Exposure Measurement Action Level and Occupational Environmental Variability*. Editora NIOSH Technical Information, HEW. Nº (NIOSH) 76-131, Cincinnati, Ohio 45226, Abril de 1975.
- 3-4. Leidel, N. A. e K. A. Busch. *Statistical Methods for the Determination of Noncompliance with Occupational Health Standards*. Editora NIOSH Technical Information, HEW. No. (NIOSH) 75-159, Cincinnati, Ohio 45226, Abril de 1975.
- 3-5. Morrison, J. The Lognormal Distribution in Quality Control. *Applied Statistics*, 7(3): 160-172, 1958.

SUGESTÃO DE LEITURAS PARA O CAPÍTULO 3

American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Air Sampling Instruments. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, P.O. Box 1937, Cincinnati, Ohio 45201.

Linch, A. L. *Evaluation of Ambient Air Quality by Personnel Monitoring*. CRC Press, 18901 Cranwood Parkway, Cleveland 44128.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE RESULTADOS DE AMOSTRAS PARA MEDAÇÃO DE EXPOSIÇÃO

O Capítulo 3 discutiu como as amostras para medição de exposição de empregados devem ser coletadas e analisadas quimicamente, e como os resultados da medição devem ser registrados. Este capítulo detalha a aplicação dos métodos estatísticos padrão desses resultados, com o objetivo de responder perguntas como:

- A média de exposição de um empregado estava em conformidade com o padrão de saúde (seja o limite, seja a média ponderada por tempo [TWA] de 8 horas), em determinado dia?
- O que é uma estimativa de exposição de longo prazo, baseada em várias médias diárias de medições de exposição?
- Qual porcentagem de dias se pode esperar que um empregado esteja exposto acima dos níveis padrão, com base em várias médias diárias de medições de exposição?
- Os controles de engenharia devem ser instalados para reduzir exposições excessivas?

4.1 LIMITES DO INTERVALO DE CONFIANÇA

O processo de tomada de decisão baseado na teoria estatística da testagem de hipóteses está intimamente ligado ao conceito de limites de intervalos de confiança (isto é, o cálculo do intervalo de confiança que se espera conter a exposição média real). O assunto é discutido na maioria dos textos introdutórios de Estatística. Leidel e Busch (4-1) discutiram a aplicação dos limites de confiança em medições de exposição de saúde ocupacional. Em resumo, quando um empregado é amostrado e uma exposição média calculada, tal média de exposição calculada raramente será exatamente a mesma que a exposição média real. A discrepância entre as médias de exposição calculada e real resulta dos erros de amostragem aleatória e das flutuações randômicas do ambiente ocupacional

dentro de um turno de trabalho. Dessa forma, o resultado da amostragem é indicado como uma *estimativa da exposição média* (ou estimativa da exposição média real). Os métodos estatísticos permitem-nos calcular limites de intervalos para cada lado da estimativa de exposição média que irá conter a média real de exposição em um nível de confiança selecionado (como 95%). O limite numericamente maior é conhecido como limite de confiança superior (LCS), e o limite numericamente inferior, limite de confiança inferior (LCI). Em última análise, dezenove dos vinte intervalos de confiança de 95% incluiriam a exposição média real entre o LCS e o LCI.

Pode-se calcular tanto intervalos de confiança bilaterais e unilaterais. Intervalos de confiança bilaterais agrupam, em ambos os lados, a exposição média no nível de confiança indicado. O limite de confiança unilateral traz apenas o superior (ou inferior) que é ligado à média real de exposição, sem considerar o outro lado (ou conexão). Todos os procedimentos do Manual de Leidel e Busch utilizam *limites de confiança unilaterais* (tanto com LCS ou LCI). Eles são escolhidos no nível de confiança de 95%. O LCI deve ser utilizado para o responsável pelo cumprimento identificar o volume de provas de não-conformidade, para o Governo. Entretanto, o empregador mais adequadamente empregaria o LCS para garantir que níveis de exposição segura de empregados existam.

A Figura 4.1 fornece um exemplo de gráfico de um LCI e um LCS (cada um unilateral) para uma estimativa de exposição média. A interpretação prática de um LCI unilateral de 95% é tal que pode-se ter 95 % de confiança de que a exposição média real é maior que o LCI (daí a flecha apontar para cima). Reciprocamente, para um LCS unilateral de 95 %, pode-se estar 95% confiante que

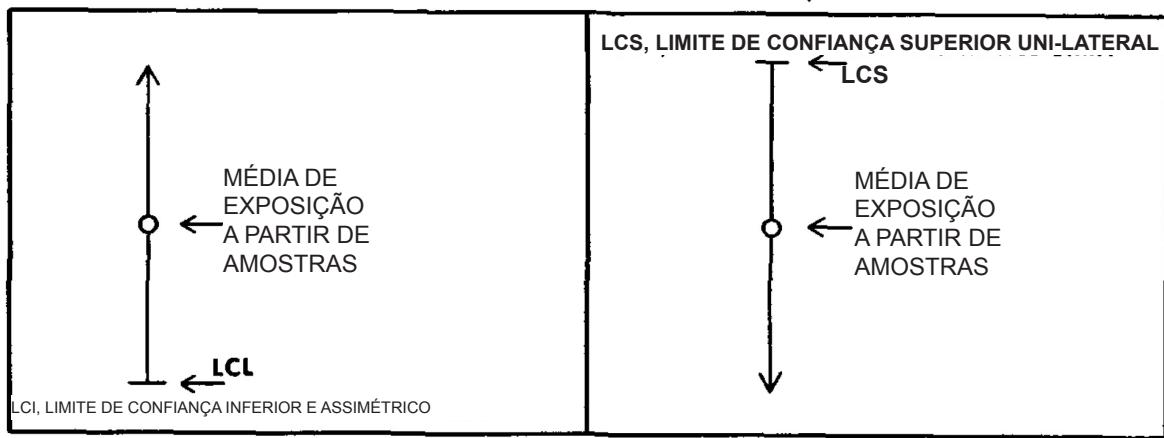


Figura 4.1.

Exemplo de LCI e LCS unilaterais.

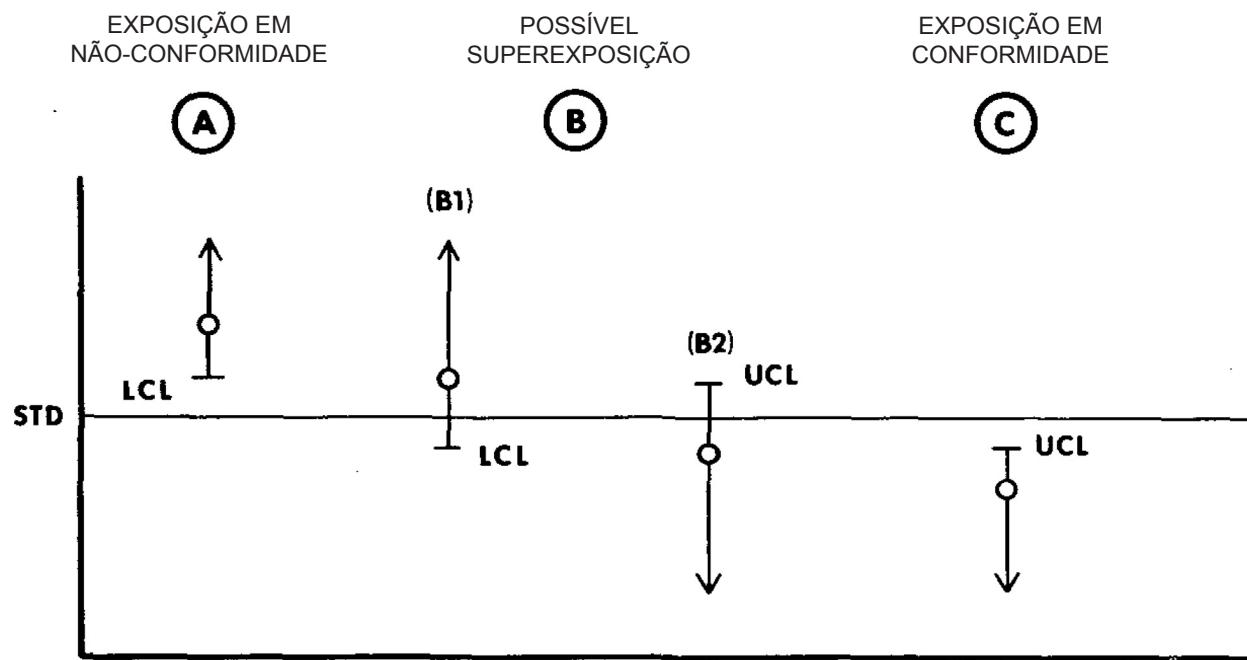


Figura 4.2. *Classificação de acordo com limites de confiança unilaterais.*

TABELA 4.1.

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO PARA EXPOSIÇÃO DE EMPREGADOS A CONTAMINANTES

Classificação	Definição	Critério estatístico
A. Exposição em não-conformidade exposição	Há 95% de confiança (com base em medições) de que a exposição de um trabalhador está acima do padrão	$LCI \text{ (com 95\%)} > STD$
B. Possível superexposição supere exposição	Qualquer indivíduo que não pode ser classificado em A ou C	
C. Exposição em conformidade exposição	Há 95% de confiança (com base em medições) de que a exposição de um trabalhador está abaixo do padrão	$LCS \text{ (com 95\%)} \leq STD$

a exposição média real é menor que o LCS (daí a flecha apontar para baixo).

O Apêndice Técnico J, Limites e Níveis de Confiança e Como Afetam o Risco do Empregado e do Empregador, discute a escolha de outros níveis de confiança, como 90% e 99%.

Um limite de confiança unilateral (LCI ou LCS) pode ser utilizado para classificar exposições médias, em uma das três categorias possíveis de exposição.

O uso do LCI (pelo responsável por cumprimento) resultaria em uma decisão tanto da Exposição em Não-Conformidade quanto da Possível Superexposição. O uso do LCS (pelo empregador) resultaria em uma decisão tanto da Exposição em Conformidade quanto da Possível Superexposição. A Figura 4.2 exibe três formas de classificação em relação ao padrão. (A Figura 4.2 é uma representação gráfica dos conteúdos da Tabela 4.1.) O círculo em cada linha vertical representa a estimativa de exposição média, calculada

a partir de resultados de amostras de medição.

A definição de empregado "exposto" merece mais explicações. O Caso B1 representa um empregado cuja estimativa de exposição média, em um dia, foi maior que o padrão (superexposição, no sentido convencional). Mas o LCI não ultrapassou o padrão, e uma afirmação estatística definitiva não poderia ser feita desde que houvesse uma possibilidade de que a exposição média real estava abaixo do padrão na região abaixo do LCI, portanto, não estava "superexposto". Por outro lado, o Caso B2 representa um empregado cuja estimativa média de exposição era menor que o padrão (exposição segura, em termos convencionais). Mas o LCS não estava abaixo do padrão, e uma afirmação estatística definitiva não poderia ser feita em relação à conformidade já que havia uma possibilidade de que a exposição média real realmente era maior que o padrão (até o LCS).

O sistema de classificação para exposição de empregados encontra-se resumido na Tabela 4.1.

4.2 CLASSIFICAÇÃO DE EXPOSIÇÃO PARA UM PADRÃO DE TWA DE 8 HORAS

Os seguintes procedimentos consideram um TWA padrão de 8 horas, conforme definido no 29 CFR 1910 Subparte Z. Os autores não têm conhecimento de qualquer política OSHA sobre turnos de trabalho de durações diferentes das 8 horas. Contudo, pode ser que o empregador deseje criar seus próprios limites de exposição inferiores, para turnos que excedem as 8 horas; Brief e Scala (4-2) deram orientação para casos de mais de 8 horas de trabalho.

4.2.1 Período Total de Medição de Amostra Única

Consulte as seções 3.3.1 e 3.4 para conhecer a definição e a aplicação dessa estratégia de medição.

PROCEDIMENTO

- (1) Obter o valor da amostra do período completo (X), o padrão de TWA de 8 horas (STD), e o coeficiente de variação (CV_T) para o método amostral/analítico, conhecido a partir de dados anteriores. O CV_T pode ser obtido no Apêndice Técnico D, nos Coeficientes de Variação e Requisitos de Acurácia para Amostragem de Higiene Industrial e nos procedimentos analíticos.

EXEMPLO

- (1) Um tubo de carvão e uma bomba individual foram utilizados para amostrar alfa-clo-roacetofenona. Utilizou-se uma vazão de 100 cc/min por um período de 8 horas. O laboratório analítico registrou 0,04 ppm e forneceu um CV_T de 0,09 para o método. O STD é 0,05 ppm. Dessa forma, $X = 0,04$ ppm.

- (2) Divida X pelo padrão para determinar x , a concentração "padronizada". Isto é:

$$x = \frac{X}{\text{STD}}$$

A divisão é realizada para deixar as concentrações do contaminante independentes do padrão (em unidades de concentração) para o contaminante específico sendo pesquisado e para simplificar cálculos posteriores.

Todos os valores de x são comparáveis a uma escala única de conformidade com um padrão de unidade. Isto é, o padrão para a variável x transformada será sempre unidade.

- (3) Calcule o LCI ou o LCS como indicado:*

- a) Teste do responsável pelo cumprimento para verificar não-conformidade. Calcular

$$\text{LCI (95\%)} = x - (1,645) (CV_T)$$

- b) Teste do empregador para verificar conformidade. Calcular

$$\text{LCS (95\%)} = x + (1,645) (CV_T)$$

- (4) Classifique a média de exposição para uma (4) amostra, de acordo com o sistema de classificação.

- a) Teste do responsável pelo cumprimento para verificar não-conformidade.

- Se $\text{LCI} > 1$, classifique como Exposição em Não-Conformidade.
- Se $x > 1$ e $\text{LCI} \leq 1$, classifique como Possível Superexposição.
- Se $x \leq 1$, não é preciso fazer nenhum teste estatístico para verificar não-conformidade.

$$x = \frac{= 0,04 \text{ ppm}}{0,05} = 0,8$$

- (3)

a) $\text{LCI} = 0,8 - 1,645 (0,09) = 0,65$

(Obs.: Não seria necessário o LCI já que o valor do próprio x está abaixo de 1,0.)

b) $\text{LCS (95\%)} = 0,8 + (1,645) (0,09) = 0,95$

- a) Sendo $x = 0,8$ menor que 1, o responsável pelo cumprimento não precisaria fazer um teste estatístico para verificar não-conformidade.

*OBSERVAÇÃO ESTATÍSTICA: O uso do (CV_T) nas fórmulas de limites de confiança é equivalente a calcular o desvio padrão de X (concentração) com (CV_T) (STD) ao invés do (CV_T) (μ). Dessa maneira, para $\mu > \text{STD}$, o LCI calculado para $\mu > \text{STD}$ (concentração relativa real) é ligeiramente maior que o LCI correto porque subestimamos o desvio-padrão. Mesmo assim, o uso do LCI, como calculado em (3a), para fazer uma decisão de não-conformidade, está correto desde que a regra de decisão selecionada seja algebricamente equivalente a um teste de significância da hipótese nula de conformidade. A base lógica para o teste de significância é: — Calcule um limite de tolerância superior para medições de concentração

de período completo (X) abaixo da hipótese nula em que a concentração real de TWA seja igual ao padrão.

Então, se a medida observada ultrapassar o limite de tolerância superior, rejeite a hipótese nula e se decideira não-conformidade.

Uma vez que a mesma tolerância para o erro de medição for adicionada ao STD para obter o limite de tolerância superior conforme fosse subtraído de X para obter o LCI para a concentração real de TWA, as duas regras de decisão são algebricamente idênticas. Prefere-se o formato LCI para a regra de decisão pois ele também fornece um limite quantitativo (moderado) inferior sobre a exposição real, no caso de uma decisão de não-conformidade.

b) Teste do empregador para verificar conformidade.

- Se $LCS \leq 1$, classifique como Exposição em Conformidade.
- Se $LCS > 1$, classifique como Possível Superexposição.
- Se $x > 1$, não se deve fazer teste estatístico de conformidade.

b) Sendo 0,95 menor que 1, o empregador poderia afirmar que a exposição é uma Exposição em Conformidade com nível de confiança de 95%.

4.2.2 Medidas de Amostras Consecutivas em Intervalo Completo e Medidas de Amostras Consecutivas em Intervalo Parcial

Para definições e aplicações dessas estratégias de medição, consulte as seções 3.3.2, 3.3.3 e 3.4.

Para amostras consecutivas de período completo, a seção 4.2.2.1 assume que todos os períodos amostrados têm concentrações médias reais iguais. Se esperamos que as amostras tenham valores significativamente diferentes como decorrência de diferentes situações de exposição durante o turno de trabalho, pode-se usar o procedimento conservador da seção 4.2.2. Sempre que as exposições forem muito variáveis entre os períodos de amostragem de um dia, o uso de 4.2.2.1 subestimaria o erro de amostragem aleatório no TWA, aumentando assim a chance de se decidir uma Exposição em Não-Conformidade (com o teste do responsável pela conformidade) ou uma Exposição em Conformidade (com o teste do empregador). O procedimento da seção 4.2.2.1 é correto ($\alpha = 0,05$) para o caso de exposição uniforme durante o turno. O procedimento para exposição não uniforme, fornecido na seção 4.2.2.2, é aproximado e, tipicamente, terá níveis de confiança maiores que 95%. A probabilidade

de α de se cometer um erro tipo 1 utilizando 4.2.2.2 é menor que 0,05 e a força do teste também diminuiria, como discutido no Apêndice Técnico J.

Resumindo, para situações de exposição altamente não uniformes, o procedimento mais simples da seção 4.2.2.1 poderia subestimar o erro de amostragem no TWA. Entretanto, o procedimento aproximado da seção 4.2.2.2 irá geralmente superestimar o erro de amostragem no TWA. Os LCI da 4.2.2.2 serão menores que os da 4.2.2.1, e o LCS da 4.2.2.2 serão maiores que os da 4.2.2.1.

Para amostras consecutivas de período parcial, o empregador calcula o LCS para o nível de exposição média durante a porção amostrada do dia, utilizando o procedimento da seção 4.2.2.1 ou 4.2.2.2. Ele então compara o LCS com o padrão de 8 horas. Isso pode ser feito se ele supor que a mesma exposição existiu durante a porção, do turno de trabalho, amostrada, conforme existiu durante a porção medida. No entanto, um procedimento mais conservador, para uso pelo responsável por cumprimento, seria assumir exposição zero para a porção do turno de trabalho que foi amostrada. Para uma discussão do assunto, confira a seção 3.4. O procedimento presente na seção 4.2.2.3 destina-se somente ao responsável por cumprimento.

4.2.2.1 Exposição Uniforme em Período Completo

PROCEDIMENTO PADRÃO

- (1) Obter X_1, X_2, \dots, X_n , os valores n de amostras consecutivas, em um turno de trabalho, e suas durações T_1, T_2, \dots, T_n . Obtenha também o CV_{T_p} , o coeficiente amostral / analítico da variação, como na seção 4.2.1 (etapa 1).

EXEMPLO

- (1) Uma bomba individual (50 cc/min) e três tubos de carvão foram usados consecutivamente para monitorar a exposição uniforme de um empregado, a álcool isoamilo. O apêndice D fornece um $CV_{T_p} = 0,08$ para esse método. A TWA STD de 8 horas é 100 ppm. O laboratório de análises registrou os seguintes resultados para os três tubos:

$$X_1 = 90 \text{ ppm}, \quad X_2 = 140 \text{ ppm}, \quad X_3 = 110 \text{ ppm}$$
$$T_1 = 150 \text{ min}, \quad T_2 = 100 \text{ min}, \quad T_3 = 230 \text{ min}$$

(2) Calcule a TWA da exposição, conforme detalhado no Apêndice Técnico H (Parte A).

(3) Divida a TWA da exposição pelo padrão, para determinar a média padronizada (TWA/STD).

(4) Calcule o LCI ou o LCS como indicado:

a) Teste do responsável pelo cumprimento para verificar não-conformidade. Calcule $LCI(95\%) = (TWA/STD) -$

$$\frac{1,645 (CV_T) \sqrt{T_1^2 + T_2^2 + \dots + T_n^2}}{T_1^2 + T_2^2 + \dots + T_n^2}$$

b) Teste do empregador para verificar conformidade. Calcule $LCS(95\%) = (TWA/STD) +$

$$\frac{1,645 (CV_T) \sqrt{T_1^2 + T_2^2 + \dots + T_n^2}}{T_1^2 + T_2^2 + \dots + T_n^2}$$

OBS: Se as durações de amostras forem aproximadamente iguais, pode-se utilizar as seguintes equações curtas:

a) $LCI(95\%) = (TWA/STD) - \frac{1,645 (CV_r)}{V_n}$

b) $LCI(95\%) = (TWA/STD) - \frac{1,645 (CV_r)}{V_n}$

$$(2) TWA = \frac{1}{480} \{(150 \text{ min}) (90 \text{ ppm}) + (100 \text{ min}) (140 \text{ ppm}) + (230 \text{ min}) + (110 \text{ ppm})\} \\ = 110 \text{ ppm}$$

$$(3) (TWA/STD) = \frac{110 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} = 1,10$$

a)

$$LCI(95\%) = 1,10 -$$

$$\frac{(1,645) (0,08) \sqrt{(150)^2 + (100)^2 + (230)^2}}{150+100+230} \\ = 1,10 - 0,08 = 1,02$$

b) Não é necessário nenhum teste do empregador, já que o TWA/STD é maior que 1. Para fins de ilustração, calcule $UCL(95\%) = 1,10 + 0,08 = 1,18$

- (5) Classifique a TWA da exposição para n amostras, de acordo com o sistema de classificação.
- a) Teste do responsável pela conformidade para verificar não-conformidade.
- Se $LCI > 1$, classifique como Exposição em Não-Conformidade.
 - Se $(TWA/STD) > 1$ e $LCI \leq 1$, classifique como Possível Superexposição.
 - Se $(TWA/STD) \leq 1$, não é preciso fazer nenhum teste estatístico para verificar não-conformidade.
- b) Teste do empregador para verificar conformidade.
- Se $LCS \leq 1$, classifique como Exposição em Conformidade.
 - Se $LCS > 1$, classifique como Possível Superexposição.
 - Se $(TWA/STD) > 1$, não é preciso fazer nenhum teste estatístico para verificar conformidade.
- (5) Sendo que 1.02 é maior que 1, a *TWA* da exposição é classificada como Exposição em Não-Conformidade, em nível de confiança 95%, utilizando um método analítico com $CV_T = 0,08$. Os resultados da amostra indicam uma exposição bastante uniforme.

4.2.2.2 Exposição Não Uniforme em Período Completo

PROCEDIMENTO

- (1) Obter X_1, X_2, \dots, X_n , os valores n de amostras consecutivas, em um turno de trabalho, e suas durações T_1, T_2, \dots, T_n . Obter também o CV_T , o coeficiente amostral / analítico da variação, como na seção 4.2.1 (etapa 1).

- (2) Calcule a TWA da exposição, conforme detalhado no Apêndice Técnico H (Parte A).

- (3) Divida a TWA da exposição pelo padrão, para determinar a média padronizada (TWA/STD).

EXEMPLO

Uma bomba individual (50 cc/min) e três tubos de carvão foram usados consecutivamente para monitorar a exposição não uniforme de um empregado, a álcool isoamilo. O apêndice D fornece um $CV_T = 0,08$ para esse método. A TWA STD de 8 horas é 100 ppm. O laboratório registrou os resultados abaixo.

$$X_1 = 30 \text{ ppm} \text{ e } X_2 = 140 \text{ ppm} \\ T_1 = 300 \text{ min} \text{ e } T_2 = 180 \text{ min}$$

$$(2) TWA =$$

$$\frac{(300 \text{ min}) (30 \text{ ppm}) + (180 \text{ min}) (140 \text{ ppm})}{(300 + 180) \text{ min}}$$

$$(3) (TWA/STD) = \frac{71 \text{ ppm}}{100 \text{ ppm}} = 0,71$$

(4) Calcule o *LCI* ou o *LCS* como indicado:

- a) Teste do responsável pela conformidade para verificar não-conformidade. Calcule
 $LCI (\geq 95\%) = (TWA/STD)$

$$\frac{1,645 (CV_T)}{(STD) (T_1 + \dots + T_n) \sqrt{1 + CV^2_T}}$$

- b) Teste do empregador para verificar conformidade. Calcule

$$LCS (\geq 95\%) = (TWA/STD)$$

$$\frac{1,645 (CV_T)}{(STD) (T_1 + \dots + T_n) \sqrt{1 + CV^2_T}}$$

OBS: Se as durações de amostras forem aproximadamente iguais, pode-se utilizar as seguintes equações curtas:

a) $LCI (\geq 95\%) = (TWA/STD)$

$$\frac{1,645 (CV_T)}{(n)(STD) (T_1 + \dots + T_n) \sqrt{1 + CV^2_T}}$$

(5) Classifique a TWA da média de exposição para as n amostras não uniformes, de acordo com o sistema de classificação.

- a) Teste do responsável pela conformidade para verificar não-conformidade.
- Se $LCI > 1$, classifique como Exposição em Não-Conformidade.
 - Se $(TWA/STD) > 1$ e $LCI \leq 1$, classifique como Possível Superexposição.
 - Se $(TWA/STD) \leq 1$, não é preciso fazer nenhum teste estatístico para verificar não-conformidade.

(4)

- a) Sendo $(TWA/STD) < 1$, não é preciso fazer nenhum teste estatístico para verificar não-conformidade.

b) $LCS (\geq 95\%) = 0,71 +$

$$\frac{1,645 (CV_T)}{(100) (300+180) \sqrt{1 + (0.08)^2}} = 0,71 + 0,07 = 0,78$$

(5)

- a) Sendo $0,71 < 1$, o responsável pelo cumprimento não precisaria fazer um teste estatístico para verificar não-conformidade.

- b) Teste do empregador para verificar conformidade.
- Se $LCS \leq 1$, classifique como Exposição em Conformidade.
 - Se $LCS > 1$, classifique como Possível Superexposição.
 - Se $(TWA/STD) > 1$, não é preciso fazer

nenhum teste estatístico para verificar conformidade. Sendo 0,78 menor que 1, o empregador poderia classificar o *TWA* dessa exposição como Exposição em Conformidade com nível de confiança de 95% ou maior

4.2.2.3 Procedimento Para Amostras Consecutivas em Período Parcial (apenas para o responsável por cumprimento)

Para calcular o LCI, siga os procedimentos para período completo da seção 4.2.2.1 (exposição uniforme) ou 4.2.2.2 (exposição não uniforme) e os exemplos até a parte (4) de cada seção. Por exemplo, suponha que três amostras da seção 4.2.2.1 abrangeram apenas 6,4 horas e o *LCI* (95%) ainda estava em 1,02. Depois, um *Limite de Período Parcial (PPL)* seria calculado assim:

$$PPL = \left[\frac{\text{período do STD} = 8 \text{ horas}}{\text{tempo total das amostras}} \right] = (8 \text{ h}) / (6,4 \text{ h}) = 1,25$$

Classifique a TWA da exposição para as n amostras com o seguinte teste de verificação de não-conformidade.

- Se $LCI > PPL$, classifique como Exposição em Não-Conformidade.
- Se $(TWA/STD) > PPL$ e $LCI \leq PPL$, classifique como Possível Superexposição.
- Se $(TWA/STD) \leq PPL$, não é preciso fazer nenhum teste estatístico para verificar não-conformidade.

Sendo 1,10 menor que 1,25, não é preciso fazer nenhum teste estatístico para verificar não-conformidade pois não há possibilidade de demonstrar estatisticamente a não-conformidade com as suposições anteriores.

4.2.3 Medição de Amostragem Aleatória, Amostra Pequena (menos que 30 amostras durante o período adequado para padronização)

Consulte as seções 3.3.4 e 3.4 para conhecer a definição e a aplicação dessa estratégia de medição. A teoria estatística utilizada no material desta seção consta em Bar-Shalom *et al.* (4-3).

PROCEDIMENTO

- (1) Coletar os dados.

Os dados disponíveis dos contaminantes consistem em menos de 30 amostras aleatórias X_1, \dots, X_n , (concentrações de amostras para os períodos curtos de amostragem).

Observação Técnica: Não se deve tentar decidir o índice médio de contaminantes, durante 8 horas, com base em pequenas amostras de apenas uma pequena porção (ex. últimas duas horas) do dia de trabalho de 8 horas. Os períodos amostrados têm que ter sido escolhidos como uma amostra aleatória e não-enviesada a partir do período total do padrão, conforme mostra a seção 3.4.4.

OBS: ESSE PROCEDIMENTO NÃO COMPORTA DADOS COM VALOR ZERO. Para uma discussão desse problema, consulte o Apêndice Técnico I, "Pontos de Probabilidade Log Normal de Dados de Medida de Exposição e Médias de Exposição".

- (2) Padronize as concentrações de amostras e calcule o logaritmo de cada valor padronizado.

- a) Calcule as concentrações padronizadas utilizando o padrão oficial aplicável (29 CFR Parte 1910 Subparte Z).

Deixe o padrão federal para o contaminante sendo investigado ser indicado por STD. Calcule as seguintes quantidades:

$$x_i = \frac{X_i}{\text{STD}}, \quad x_1 = \frac{X_1}{\text{STD}}, \quad x_2 = \frac{X_2}{\text{STD}}, \quad \dots, \quad x_n = \frac{X_n}{\text{STD}}$$

Isto é, divida pelo padrão cada uma das concentrações de amostras. Os novos x_1, x_2, \dots, x_n são denominados "concentrações padronizadas".

- b) Calcule os logaritmos comuns (base 10) para cada concentração padronizada. Os logaritmos das concentrações padronizadas são indicados por y_1, y_2, \dots, y_n . Portanto:

$$y_1 = \log x_1, \quad y_2 = \log x_2, \quad \dots, \quad y_n = \log x_n$$

EXEMPLO

- (1) Uma bomba individual (25 cc/min) e 8 tubos de carvão foram usados consecutivamente para monitorar a exposição de um empregado a álcool isoamilo. Cada tubo foi exposto por 20 minutos. O MPT STD de 8 horas é 1000 ppm. O apêndice D fornece um CV_T de 0,06 para esse método. Registraram-se os seguintes resultados.

$$X_1 = 1225 \text{ ppm}$$

$$X_2 = 800 \text{ ppm}$$

$$X_3 = 1120 \text{ ppm}$$

$$X_4 = 1460 \text{ ppm}$$

$$X_5 = 975 \text{ ppm}$$

$$X_6 = 980 \text{ ppm}$$

$$X_7 = 525 \text{ ppm}$$

$$X_8 = 1290 \text{ ppm}$$

- (2)

Dados (ppm) X_i	Concentrações padronizadas x_i	$y_i = \log 10 (x_i)$
1225	1,225	0,0881
800	0,800	-0,0969
1120	1,120	0,0492
1460	1,460	0,1644
975	0,975	-0,0110
980	0,980	-0,0088
525	0,525	-0,2798
1290	1,290	0,1106

- (3) Calcular as Variáveis de Classificação (y , s , n). (3) $y = 0,002$
 Obtenha a média aritmética dos valores $s = 0,140$
 dos logaritmos, indicados por y , e o des-
 n=8
 vio-padrão dos logaritmos, indicados por
 s . Dessa forma, y , s e n são as variáveis de
 classificação. Essas variáveis serão utiliza-
 das para classificar a média de exposição.
 Podem ser calculadas de maneira prática por
 meio de uma calculadora pré-programada, ou
 podem-se utilizar as seguintes equações. A
 fórmula para \bar{y} é

$$\bar{y} = \frac{1}{n} y_1 + y_2 + \dots + y_n$$

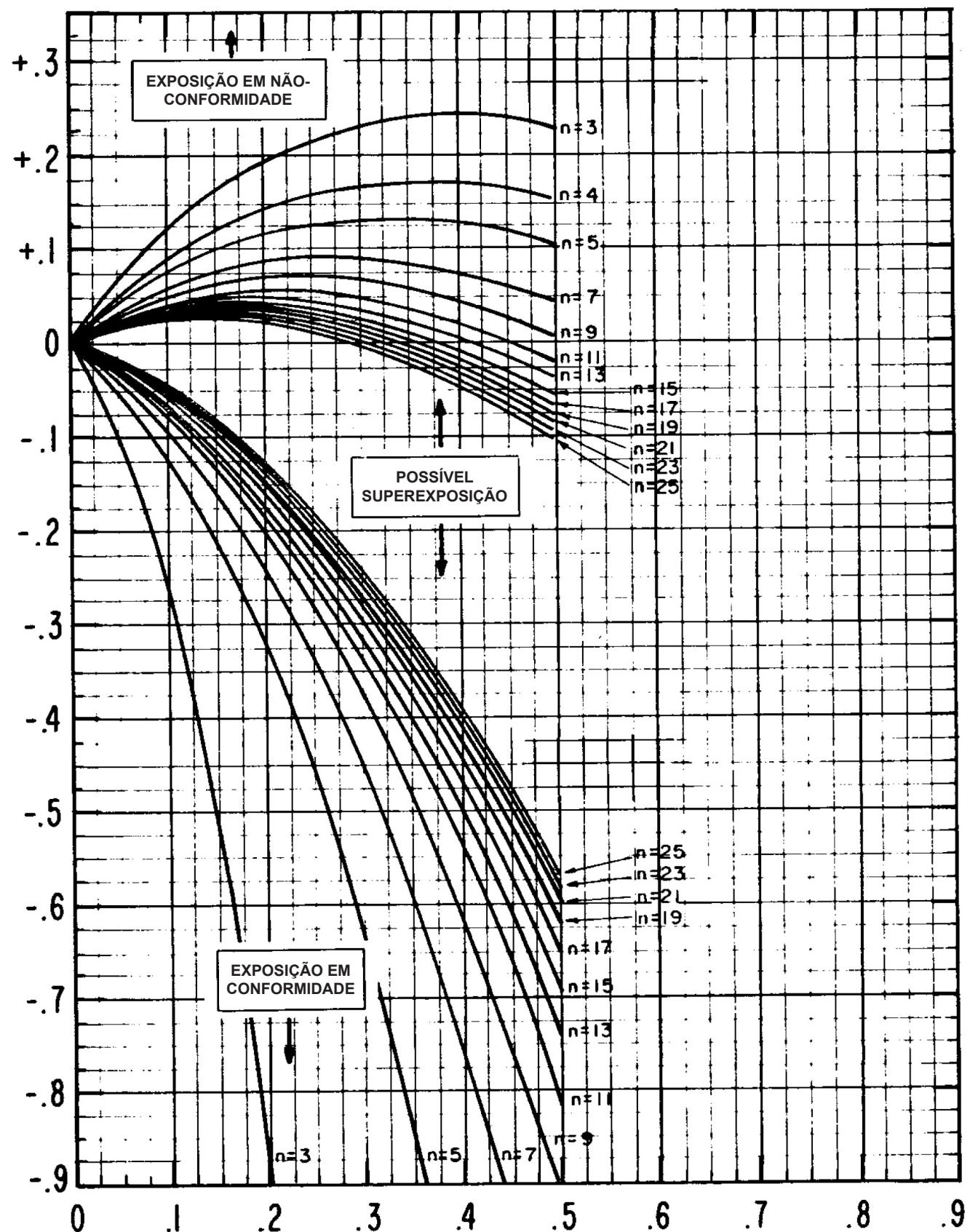
A fórmula para s é

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} ([y_1 - \bar{y}]^2 + [y_2 - \bar{y}]^2 + \dots + [y_n - \bar{y}]^2)}$$

Ou, de maneira simples, s é

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} ([y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2] - n\bar{y}^2)}$$

- (4) Marque um ponto cujas coordenadas sejam \bar{y} e s , no gráfico de classificação. (4) Para utilizar o gráfico de classificação, proceda da seguinte maneira:
- Marque um ponto determinado pelas variáveis de classificação \bar{y} e s , na Figura 4.3.
 - Se o ponto de classificação ficar sobre ou acima da curva superior, correspondente ao número de medições de n , classifique como Exposição em Não-Conformidade.
 - Se o ponto de classificação ficar abaixo da curva inferior, correspondente ao número de medições de n , classifique como Exposição em Conformidade.
 - Se o ponto de classificação ficar entre as duas curvas, classifique como Possível Superexposição.
 - Se o valor de s é maior que 0,5, uma medida de concentração, ou mais, está relativamente distante do corpo principal da distribuição de amostras. Devem-se obter medidas adicionais de exposição, para esse empregado.



s – DESVIO PADRÃO DO \log_{10} (CONCENTRAÇÕES RELATIVAS x_i)

Figure 4.3. Gráfico de classificação média de medição de amostra aleatória.

Nesse caso, o ponto é mostrado na Figura 4.4, entre a curva $n=8$ da família de curvas acima e a curva $n=8$ da família debaixo. Assim, essa exposição é classificada como Possível Supere exposição.

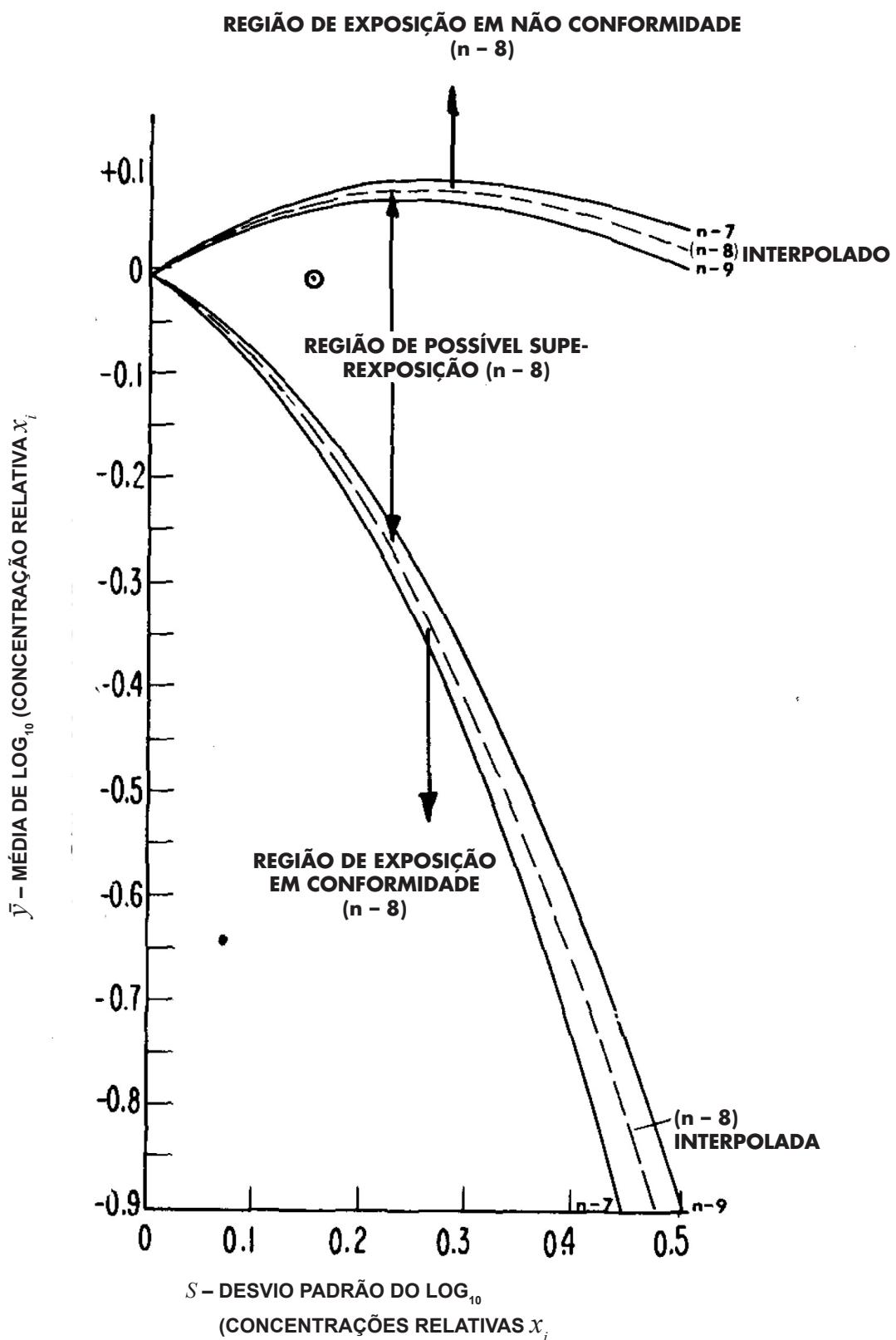


Figura 4.4. Gráfico de classificação de amostragem aleatória para exemplo da seção 4.2.3.

- (5) Calcule a melhor estimativa de exposição média (\bar{X}^*).

As variáveis de classificação \bar{y} e s também são utilizadas para obter a melhor estimativa de exposição média (\bar{X}^*). A melhor estimativa de exposição média é obtida utilizando o gráfico de estimativa apresentado na Figura 4.5. O gráfico de estimativa contém:

- eixo vertical para a variável de classificação \bar{y} ,
- eixo horizontal para a variável de classificação s , e
- um conjunto de curvas para a leitura da melhor estimativa da exposição média padrão (exposição dividida pelo padrão) indicada por \bar{X}^*/STD .

Se os valores de \bar{y} ou s estiverem fora do intervalo de medições, a fórmula

$$\frac{\bar{X}^*}{STD} = \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n)$$

será utilizada para calcular a exposição média padrão.

- (1) O procedimento para utilizar a Figura 4.5 é o seguinte:

- Marque as variáveis \bar{y} e s , posicionando \bar{y} no eixo vertical e s no horizontal.
- Acompanhe a curva do gráfico que está mais próxima do ponto situado no eixo de \bar{X}^*/STD , no lado direito do gráfico.
- Faça a interpolação de dois valores de \bar{X}^*/STD para obter o \bar{X}^*/STD adequado. Se o valor de \bar{X}^*/STD for multiplicado por STD, obtém-se o melhor cálculo de exposição média (\bar{X}^*).

No exemplo, o ponto (mostrado no gráfico) indica que

$$\bar{X}^*/STD = 1,05$$

$$\bar{X}^* = (1,05) (1000 \text{ ppm}) = 1050 \text{ ppm}$$

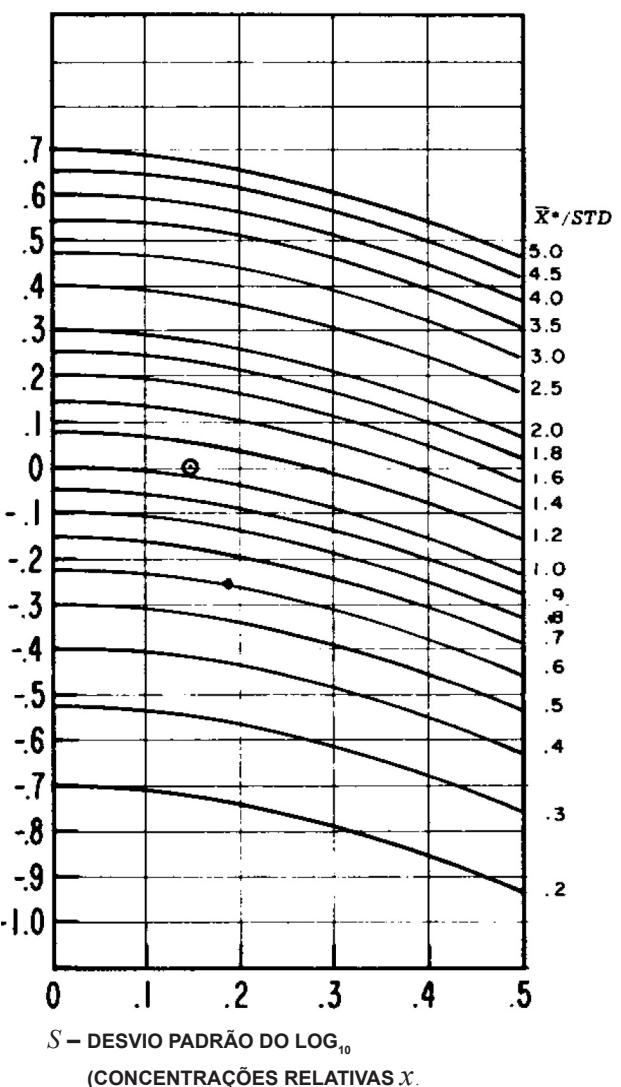


Figura 4.5. Gráfico estimativo para X^*/STD .

4.2.4 Medição de Amostragem Aleatória, Amostra Grande (mais que 30 amostras durante o período adequado para padronização)

Consulte as seções 3.3.4 e 3.4 para conhecer a definição e a aplicação dessa estratégia de medição. Geralmente, coleta-se muito menos que 30 amostras durante um período de 8 horas (TWA padrão) ou 15 minutos (limite máximo padrão) devido ao custo de cada uma (para tubos detectores colorimétricos) e a disponibilidade limitada de pessoal para recolher as amostras. Entretanto, quando se possui um instrumento de leitura direta disponível (especialmente com um registrador gráfico linear acoplado) para o contaminante de interesse, é factível obter mais que 30 amostras durante o período adequado para o

padrão. Isso é preferível para a análise de amostra pequena (menos que 30) da seção anterior (4.2.3), uma vez que, para amostras grandes, os limites de confiança relacionados à exposição média são mais estreitos que para amostras pequenas. Além disso, para amostragens maiores que 30, a distribuição da exposição média medida é melhor descrita pela distribuição normal. Dessa forma, não há necessidade de calcular o logaritmo dos valores de amostra (como na seção 4.2.3) e os testes de conformidade e não-conformidade são simplificados. Contudo, a maioria dos instrumentos de leitura direta não são adequados para amostras pessoais e só podem ser utilizados para amostras gerais do ar. Consulte o Apêndice Técnico C, Inadequação do Monitoramento de Ar Geral (Área) para a Medição de Exposição de Empregados.

PROCEDIMENTO

(1) Coletar dados.

Os dados disponíveis de contaminantes consistem em mais que 30 amostras aleatórias de exposição X_1, \dots, X_n (concentrações de amostra para cada período curto de amostragem, aleatoriamente selecionadas a partir do período total adequado para o cálculo). OBSERVAÇÃO: Esse procedimento é capaz de lidar com dados de valores igual a zero.

EXEMPLO

(1) Um medidor de ozônio de leitura direta com um registrador gráfico linear foi utilizado para monitorar a exposição ao ozônio de um empregado parado. O TWA STD de 8 horas é 0,1 ppm. Os 35 valores abaixo foram retirados do registrador gráfico linear, em que 35 leituras foram selecionadas aleatoriamente no intervalo de 8 horas (valores em ppm).

0,084	0,062	0,127	0,057	0,101	0,072	0,077
0,145	0,084	0,101	0,105	0,125	0,076	0,043
0,079	0,078	0,067	0,073	0,069	0,084	0,061
0,066	0,085	0,080	0,071	0,103	0,075	0,070
0,048	0,092	0,066	0,109	0,110	0,057	0,107

(2) Padronizar os valores de amostras, como mostrado na parte 2 (a) da seção anterior (4.2.3). Estão indicados por x_1, \dots, x_n .

(2) 0,84 0,62 1,27 0,57 1,01 0,72 0,77
1,45 0,84 1,01 1,05 1,25 0,76 0,43
0,79 0,78 0,67 0,73 0,69 0,84 0,61
0,66 0,85 0,80 0,71 1,03 0,75 0,70
0,48 0,92 0,66 1,09 1,10 0,57 1,07

(3) Calcule a média aritmética e o desvio padrão dos valores de amostras padronizados. Utilize uma calculadora pré-programada (com botões \bar{x} e s) ou as fórmulas de cálculo presentes na parte 3 da seção anterior (4.2.3).

(3) média = $0,831 = \bar{x}$
desvio padrão = 0,230
 $n=35$

(4) Calcule o LCI ou o LCS como indicado: (4)

- a) Teste de conformidade do administrador para não-conformidade. Calcule

$$LCI(95\%) = \bar{x} - \frac{(1,645)(s)}{\sqrt{n}}$$

- b) Teste do empregador para verificar conformidade. Calcular

$$LCS(95\%) = \bar{x} - \frac{(1,645)(s)}{\sqrt{n}} = 0,89$$

onde

1,645 = padrão normal crítico desvia para 95% de confiança (unilateral)

$$c) LCS(95\%) = 0,831 + \frac{(1,645)(0,230)}{\sqrt{35}}$$

(5) Classificar a exposição média da TWA calculada, (5) de acordo com o sistema de classificação.

- a) Teste de conformidade do administrador para não-conformidade:

- Se $LCI > 1$, classifique como Exposição em Não-Conformidade.
- Se $\bar{x} > 1$ e $LCI \leq 1$, classifique como Possível Superexposição.
- Se $\bar{x} \leq 1$, não é preciso fazer nenhum teste estatístico para verificar não-conformidade.

- b) Teste do empregador para verificar conformidade:

- Se $LCS \leq 1$, classifique como Exposição em Conformidade.
- Se $LCS > 1$, classifique como Possível Superexposição.
- Se $\bar{x} > 1$, não se deve fazer teste estatístico de conformidade.

- b) Sendo 0,89 menor que 1, essa exposição é classificada como uma Exposição em Conformidade com nível de confiança de 95%.

4.3 CLASSIFICAÇÃO DA EXPOSIÇÃO PARA UM LIMITE MÁXIMO PADRÃO

Consulte a seção 3.5 para obter orientações sobre amostragem para limite máximo padrão. Esta seção (4.3) está dividida em duas partes:

- Classificação da exposição com base em amostras de medição tomadas durante intervalos de alta concentração esperada (4.3.1).
- Classificação da exposição com base em períodos sem amostragem de concentrações potencialmente elevadas (4.3.2).

4.3.1 Classificação com Base em Amostras de Medição

PROCEDIMENTO

- (1) a) Obtenha as medições com limite máximo (cada medição deve conter uma ou mais amostras):

$$X_1, X_2, \dots, X_3$$

Obtenha CV_r , o coeficiente amostral / analítico da variação, como na seção 4.2.1 (etapa 1).

- (1) a) Um empregado é exposto a sulfeto de hidrogênio por cerca de 16 períodos curtos em cada turno. O limite máximo padrão é 20 ppm. O método NIOSH S4 especifica um reagente em procedimento de amostragem com impinger anão. Cada amostra foi obtida por 10 minutos, com 0,2 litros por minuto. O apêndice D fornece um CV de 0,12 para esse método. Foram utilizados cinco impingers, e 5 amostras foram obtidas a partir de 5 intervalos aleatoriamente escolhidos, de um total de 16 possíveis. O laboratório registrou:

$$\begin{aligned} X_1 &= 12 \text{ ppm}, X_2 = 14 \text{ ppm}, X_3 = 13 \text{ ppm}, \\ X_4 &= 16 \text{ ppm}, X_5 = 15 \text{ ppm} \end{aligned}$$

- b) Selecionar a maior medição e atribuir seu valor a X .
- c) Calcular o maior valor do limite máximo relativo

$$x = X/\text{CSTD}$$

onde CSTD é o limite máximo padrão.

$$\begin{aligned} b) \quad X &= 16 \text{ ppm} \\ c) \quad x &= (16 \text{ ppm}) / (20 \text{ ppm}) \end{aligned}$$

- (2) Calcule utilizando a seção 4.2.1 ou 4.2.2. Utilize a seção 4.2.1 se a maior medição corresponder a uma amostra única de 15 minutos. Utilize a seção 4.2.2 se a média de várias amostras consecutivas (como tubos detectores) equivaler à maior medição.

$$\begin{aligned} (2) \quad \text{LCS (95\%)} &= 0,80 + (1,645)(0,12) \\ &= 0,997 \end{aligned}$$

sendo 0,997 menor que 1, classifique o valor da maior medição como Exposição em Conformidade.

- (3) Se a classificação for Exposição em Conformidade, vá para a seção 4.3.2. Se não, o procedimento de classificação do limite máximo está completo.

- (3) Vá para a seção 4.3.2.

4.3.2 Classificação com Base em Períodos sem Amostragem

Essa opção de procedimento de classificação é utilizada quando há períodos sem amostragem de exposição (limite máximo) potencialmente elevada. É utilizada para fazer uma inferência estatística conservadora (do ponto de vista da proteção dos trabalhadores) dos períodos sem amostragem. Consulte o Apêndice Técnico K, "Teoria de Decisão Estatística para Limites Máximos de Medidas de Exposição" para se informar a respeito de derivação, premissas e métodos estatísticos utilizados nesta seção.

PROCEDIMENTO

- (1) a) Calcular as medições dos limites máximos relativos e os \log_{10} :

$$x_1 = X_1 / \text{CSTD}, x_2 = X_2 / \text{CSTD}, \dots, \\ x_n = X_n / \text{CSTD}$$

$$y_1 = \log_{10}(X_1), y_2 = \log_{10}(x_2), \dots, y_n = \log_{10}(x_n)$$

- b) Agora calcule a média \bar{y} dos valores de logaritmo (\bar{y}_l) e o desvio padrão (s). Esse cálculo é melhor realizado por uma calculadora. As seguintes equações podem ser utilizadas caso não haja calculadora.

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = (y_1 + y_2 + \dots + y_n)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}$$

- (2) Probabilidade de cálculo β (β é a probabilidade de que, durante um intervalo arbitrário não observado, a exposição está acima do padrão) como mostrado:

$$\text{De } z = \frac{|\bar{y}|}{s} \text{ onde } |\bar{y}| \text{ é o valor absoluto de } y.$$

EXEMPLO

- (1) a) (CSTD = 20 ppm)

X_i	$Dados$	x_i	$y_l = \log_{10}(x_i)$
	12	0,600	-0,2218
	14	0,700	-0,1549
	13	0,650	-0,1871
	16	0,800	-0,0969
	15	0,750	-0,01249

b) $\bar{y} = -0,1571$

$s = 0,0494$

$n = 5$

$$(2) z = \frac{|-0,1571|}{0,0494} = 3,18$$

$$\text{desde } \bar{y} < 0, \beta = 1 - (0.9993) = 0,0007$$

Isso significa que existe uma probabilidade de 0,07% de que qualquer um dos períodos sem amostra irá exceder o CSTD

Utilize a Tabela 4.2 e z para avaliar o valor de β , como abaixo mostrado:

Se $\bar{y} < 0$, calcule $\beta = 1 - (\text{valor na Tabela 4.2})$, mas se $\bar{y} \geq 0$, então $\beta = \text{valor da Tabela 4.2}$.

- (3) Classifique a exposição do empregado para os intervalos sem amostragem que restaram.

Na Etapa 2, β corresponde à probabilidade de a exposição durante qualquer intervalo sem amostragem estar acima do padrão. Outra forma de afirmar o cálculo acima, é dizer que β é a probabilidade de "quebra" do padrão. Assim, $(1 - \beta)$ corresponde à probabilidade de "conformidade" com o padrão para qualquer período específico sem amostragem.

A probabilidade de conformidade para todos os intervalos K sem amostragem de altas exposições esperadas é calculada a partir de:

$$P_c = (1 - \beta)^K$$

De novo, esse cálculo é melhor realizado com uma calculadora, mas P_c pode ser calculado a partir da tabela de logaritmos, como segue:

$$\log_{10} P_c = K \log_{10} (1 - \beta)$$

$$P_c = \text{antilog}_{10} (\log P_c)$$

Talvez o número de intervalos restantes do turno de trabalho correspondentes à alta exposição esperada é desconhecido. Nesse caso, uma abordagem conservadora seria assumir que K é igual ao número de intervalos remanescentes. Por exemplo, se cinco medições de 15 minutos forem obtidas durante um turno de 8 horas (32 possíveis intervalos de 15 minutos), tem-se que K é igual a 27 (32- 5).

4.4 CÁLCULO DA MÉDIA GEOMÉTRICA DE EXPOSIÇÃO DE LONGO PRAZO E USO DA PROBABILIDADE DE NÃO-CONFORMIDADE QUANDO DECIDIR INSTALAR CONTROLES DE ENGENHARIA

O regulamentos OSHA propostos de exposição exigem que as medidas de controle sejam instituídas caso "as medidas de exposição de um empregado revelem que ele está exposto a (nome da substância) acima do nível permitido". O tipo de controles

$$(3) (1 - \beta) = 1 - 0,0007 = 0,9993$$

$$K=16-5=11$$

$$P_c = (0,9993)^{11} = 0,992$$

Portanto, há 99,2% de probabilidade de todos os intervalos sem amostragem estarem em conformidade.

A classificação é realizada da seguinte forma:

- Se $P_c > 0,9$, classifique como Exposição em Conformidade.
- Se $P_c < 0,1$, classifique como Exposição em Não-Conformidade.
- Se $0,1 \leq P_c \leq 0,9$, classifique como Possível Superexposição.

Por conseguinte, esse caso é classificado como Exposição em Conformidade.

permitidos e as condições de uso necessários são especificados no padrão de cada substância. Eles devem ser sempre consultados antes de qualquer controle ser planejado ou implementado. Há duas grandes categorias de controle: práticas de trabalho e engenharia. No sentido desta seção, os controles de engenharia são destinados a ser sistemas de ventilação de exaustão local ou modificações permanentes de engenharia para que a operação reduza a exposição dos trabalhadores.

TABELA 4.2. TABELA PARA CÁLCULO DE PORCENTAGEM DE ÁREA NA EXTREMIDADE DE UMA DISTRIBUIÇÃO NORMAL ACUMULADA*

	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
.0	.5000	.5040	.5080	.5120	.5160	.5199	.5239	.5279	.5319	.5359
.1	.5398	.5438	.5478	.5517	.5557	.5596	.5636	.5675	.5714	.5753
.2	.5793	.5832	.5871	.5910	.5948	.5987	.6026	.6064	.6103	.6141
.3	.6179	.6217	.6255	.6293	.6331	.6368	.6406	.6443	.6480	.6517
.4	.6554	.6591	.6628	.6664	.6700	.6736	.6772	.6808	.6844	.6879
.5	.6915	.6950	.6985	.7019	.7054	.7088	.7123	.7157	.7190	.7224
.6	.7257	.7291	.7324	.7357	.7389	.7422	.7454	.7486	.7517	.7549
.7	.7580	.7611	.7642	.7673	.7704	.7734	.7764	.7794	.7823	.7852
.8	.7881	.7910	.7939	.7967	.7995	.8023	.8051	.8078	.8106	.8133
.9	.8159	.8186	.8212	.8238	.8264	.8289	.8315	.8340	.8365	.8389
1,0	.8413	.8438	.8461	.8485	.8508	.8531	.8554	.8577	.8599	.8621
1,1	.8643	.8665	.8686	.8708	.8729	.8749	.8770	.8790	.8810	.8830
1,2	.8849	.8869	.8888	.8907	.8925	.8944	.8962	.8980	.8997	.9015
1,3	.9032	.9049	.9066	.9082	.9099	.9115	.9131	.9147	.9162	.9177
1,4	.9192	.9207	.9222	.9236	.9251	.9265	.9279	.9292	.9306	.9319
1,5	.9332	.9345	.9357	.9370	.9382	.9394	.9406	.9418	.9429	.9441
1,6	.9452	.9463	.9474	.9484	.9495	.9505	.9515	.9525	.9535	.9545
1,7	.9554	.9564	.9573	.9582	.9591	.9599	.9608	.9616	.9625	.9633
1,8	.9641	.9649	.9656	.9664	.9671	.9678	.9686	.9693	.9699	.9706
1,9	.9713	.9719	.9726	.9732	.9738	.9744	.9750	.9756	.9761	.9767
2,0	.9772	.9778	.9783	.9788	.9793	.9798	.9803	.9808	.9812	.9817
2,1	.9821	.9826	.9830	.9834	.9838	.9842	.9846	.9850	.9854	.9857
2,2	.9861	.9864	.9868	.9871	.9875	.9878	.9881	.9884	.9887	.9890
2,3	.9893	.9896	.9898	.9901	.9904	.9906	.9909	.9911	.9913	.9916
2,4	.9918	.9920	.9922	.9925	.9927	.9929	.9931	.9932	.9934	.9936
2,5	.9938	.9940	.9941	.9943	.9945	.9946	.9948	.9949	.9951	.9952
2,6	.9953	.9955	.9956	.9957	.9959	.9960	.9961	.9962	.9963	.9964
2,7	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972	.9973	.9974
2,8	.9974	.9975	.9976	.9977	.9977	.9978	.9979	.9979	.9980	.9981
2,9	.9981	.9982	.9982	.9983	.9984	.9984	.9985	.9985	.9986	.9986
3,0	.9987	.9987	.9987	.9988	.9988	.9989	.9989	.9989	.9990	.9990
3,1	.9990	.9991	.9991	.9991	.9992	.9992	.9992	.9992	.9993	.9993
3,2	.9993	.9993	.9994	.9994	.9994	.9994	.9994	.9995	.9995	.9995
3,3	.9995	.9995	.9995	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9996	.9997
3,4	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9997	.9998

*Reproduzida a partir da Tabela A-1 de Natrella (4.4).

Sendo que controles de engenharia envolvem potencialmente grandes investimentos de capital, o empregador gostaria de ter certeza que a atual proteção do empregado é realmente inadequada. Isto é, a medida de exposição de um dia realmente reflete a exposição a longo prazo? Ou a média de exposição desse dia foi elevada devido a um problema incomum que ocorreu naquele dia? O empregado pode estar protegido de outra forma (por exemplo, por meio de orientações de operação ou supervisão mais rigorosa de procedimentos industriais)?

O empregador deve tentar limitar a probabilidade de superexposição do empregado (exposições diárias que excedem o limite permitido) em 5%. Ou seja, não mais que 5% das médias diárias reais de exposição de um empregado devem exceder o padrão. Os procedimentos desta seção irão calcular a probabilidade de longo prazo da não-conformidade (P_n) para um empregado, como base em qualquer número de médias diárias de exposição adequada. O P_n pode ser interpretado como uma estimativa da proporção de dias que um empregado pode sofrer superexposição se a situação no momento das medidas diárias for constante. Tal condição é chamada de média de exposição estacionária de longo prazo.

Outras premissas desta seção incluem um modelo em que as médias diárias de exposição real são geralmente distribuídas em logaritmo. A média geométrica de longo prazo (MG) dessa distribuição é estimada a partir das médias de exposição diária

medidas. A variação dia a dia das médias diárias de exposição real é estimada a partir do desvio padrão geométrico (DPG). O modelo é discutido em Leidel, Busch e Crouse (4-5). A amostragem aleatória e os erros de análise que contribuem para a incerteza do cálculo de qualquer média diária de exposição colabora relativamente pouco com a incerteza da média de exposição de longo prazo. Isto é, a dispersão da distribuição das médias diárias de exposição são dominadas por flutuações ambientais dia a dia. Portanto, uma estimativa muito boa da variação das médias reais de exposição diária é fornecida pela DPG das médias diárias medidas de exposição. (A DPG inclui contribuições insignificantes de erros de amostragem/análise que se acredita estarem normalmente distribuídos.)

Observe também que os níveis de confiança não estão relacionados nesta seção pois não estamos identificando intervalos de confiança na probabilidade calculada P_n . Tampouco estamos testando a hipótese de que os 5% de probabilidade de superexposição foram excedidos pelas médias diárias medidas. Esta seção é destinada apenas como um guia recomendado para auxiliar na tomada de decisão sobre a instalação de controles de engenharia; simplicidade é a meta principal. Dadas as hipóteses anteriores, há aproximadamente 50 por cento de chances de a probabilidade real de não-conformidade a longo prazo ser maior ou menos que o P_n calculado.

PROCEDIMENTO

- (1) Selecionar todas as médias diárias adequadas de exposição a ser utilizadas no cálculo de P_n . Aqui se deve contar com grande julgamento profissional e conhecimento da situação de exposição do empregado. Apenas os dados representativos da situação de exposição "estável" atual devem ser utilizados. Uma forma é traçar as médias de exposição do empregado diariamente medidas e o tempo (escala de dias ou meses). Se as médias tendem para cima (ou para baixo), esta seção não deve ser utilizada pois um P_n erro seria calculado. Deve-se prosseguir apenas se a média de exposição de longo prazo aparecer como "nível".

EXEMPLO

- (1) Todo empregado está exposto a dioxano no ambiente de trabalho. O TWA STD de 8 horas é 100 ppm. Tubos de carvão foram utilizados para medir a exposição do empregado em 10 dias diferentes durante um período de 6 meses. As dez exposições de TWA por 8 horas foram obtidas:

67, 51, 33, 72, 122,
75, 110, 93, 61, 190.

Todas as médias de exposição diárias devem então ser padronizadas, isto é, divididas pelo padrão de saúde adequado. Isso foi abordado na seção 4.2 e abaixo temos uma referência da nomenclatura utilizada para cada estratégia de amostragem.

<i>Estratégia de amostragem</i>	<i>Seção</i>	<i>Média de exposição diária (concentração)</i>	<i>Média de exposição diária padronizada</i>
Período completo amostra única	4.2.1	X	x
Período completo amostra consecutiva	4.2.2	TWA	TWA/STD
Amostras aleatórias	4.2.3	\bar{X}^*	\bar{X}^*/STD

(2) Calcular o logaritmo comum (base 10) para cada média de exposição padronizada. Os logaritmos das médias de exposição padronizadas estão indicados por Y_1, Y_2, \dots, Y_n . Os caracteres subscritos indicam um determinado dia na série de dados.

$$Y_i = \log_{10} [x_i \text{ ou } (TWA/STD)_i \text{ ou } (\bar{X}^*/STD)_i]$$

Médias de exposição padronizadas de diferentes estratégias de amostragem podem estar misturadas.

Esse procedimento não comporta dados com valor zero. Para uma discussão desse problema, consulte o Apêndice Técnico I, "Pontos de Probabilidade Log-normal de Dados de Medição de Exposição e Médias de Exposição".

(3) Calcule a média aritmética dos valores de logaritmo (\bar{Y}_i), indicados por \bar{Y} e o desvio padrão dos logaritmos, indicados por S . Eles são melhor calculados em uma calculadora, mas as equações da seção 4.2.3 (etapa 3) podem ser utilizadas.

(4) A MG da exposição de longo prazo é obtida por:

$$GM = [\text{antilog}_{10}(\bar{Y})] (STD)$$

a variação dia a dia da média de exposição é dada pela DPG:

$$GSD = \text{antilog}_{10}(S)$$

(2)

<i>Dados de TWA</i>	<i>TWA/STD</i>	<i>valores de log Y_i</i>
67	0,67	-0,1739
51	0,51	-0,2924
33	0,33	-0,4815
72	0,72	-0,1427
122	1,22	0,0864
75	0,75	-0,1249
110	1,10	0,0414
93	0,93	-0,0315
61	0,61	-0,2147
190	1,90	0,2788

(3) $\bar{Y} = -0,1055$

$$S = 0,212$$

$$n = 10$$

(4) $GM = (0,7843)(100) = 78,4 \text{ ppm}$

$$\text{GSD} = 1,63$$

- (5) A probabilidade de não-conformidade (P_n) é calculada a partir de \bar{Y} e S , como o seguinte:

Calcular $z = \frac{|\bar{Y}|}{S}$ onde $|\bar{Y}|$ é o valor absoluto de \bar{Y} .

Utilize a Tabela 4.2 para avaliar P, sendo que:

se $\bar{Y} < 0$, calcule $P_n = 1 - (\text{valor na Tabela 4.2})$,

se $\bar{Y} \geq 0$, $P_n = \text{valor na Tabela 4.2}$. É o mesmo procedimento da etapa 2 na seção 4.3.2.

$$(5) z = \frac{|-0,1055|}{0,0212} = 0,498$$

sendo $\bar{Y} < 0$, $P_n = 1 - (0,691) = 0,309$.

Pode-se interpretar que há uma probabilidade de 30,9% de não-conformidade para o empregado, dentro de um período de 6 meses. Também podemos dizer que esperaríamos que cerca de 31% das TWAs diárias estejam em não-conformidade durante o período.

- (6) Se P_n exceder 0,05, existe uma forte indicação de que os controles de engenharia devem ser instalados.

REFERÊNCIAS

- 4-1. Leidel, N. A. e K. A. Busch: *Statistical Methods for the Determination of Noncompliance with Occupational Health Standards*. Informações Técnicas da NIOSH, HEW. No. (NIOSH) 75-159, Cincinnati, Ohio 45226, Abril de 1975.
- 4-2. Natrella, M. G.: *Experimental Statistics*. National Bureau of Standards Handbook 91. [Agência Nacional de Padronização, Manual 91]. Superintendência de Documentação, Escritório de Imprensa do Governo dos Estados Unidos, Washington, D.C. 20402, 1963.
- 4-3. Bar-Shalom, Y., D. Budenaers, R. Schainker e A. Segall: *Handbook of Statistical Tests for Evaluating Employee Exposure to Air Contaminants*. Editora NIOSH Technical Information. No. (NIOSH) 75-147, Cincinnati, Ohio 45226, Abril de 1975.
- 4-4. Leidel, N. A., K. A. Busch e W. E. Crouse: *Exposure Measurement Action Level and Occupational Environmental Variability*. Editora NIOSH Technical Information. Nº (NIOSH) 76-131, Cincinnati, Ohio 45226, Abril de 1975.
- 4-5. Brief, R. S. e R. A. Scala: *Occupational Exposure Limits for Novel Work Schedules*. American Industrial Hygiene Association Journal, 36: 467-469, 1975.

APÊNDICE TÉCNICO A*

CÁLCULO DE TAMANHO AMOSTRAL PARA UM SUBGRUPO DE RISCO MÁXIMO A PARTIR DE UM GRUPO HOMOGENEO DE ALTO RISCO

Em alguns casos, pode não ser possível selecionar, a partir de um grupo com mesma exposição ao risco, o *trabalhador com risco máximo*. Ou seja, as considerações de higiene industrial que fizemos no Capítulo 2 não conseguem produzir um indivíduo cuja exposição é provavelmente mais elevada do que a de outros empregados. Isto pode ocorrer onde muitos empregados estão envolvidos nas operações de trabalho com potencial de exposição idênticos ou o ar na sala de trabalho é bem misturado, ou ambos. O material deste Apêndice foi desenvolvido para fornecer orientações para se obter um tamanho adequado de amostragem para esse grupo homogêneo de alto risco. Este Apêndice descreve um procedimento de amostragem que pode ser utilizado por um empregador a fim de minimizar o volume amostral enquanto se obtém alta probabilidade de coletar amostras de um empregado com alto risco. O número de trabalhadores desse grupo homogêneo de risco está indicado por N , e $n < N$ representa uma amostra aleatória de um subgrupo.

O critério será a alta probabilidade de que deve existir na amostra, pelo menos, um trabalhador de um subgrupo com as exposições mais elevadas. Se *exposições mais elevadas* são definidas pelos 10% *mais altos* da exposição total do grupo principal, então a amostra terá que incluir (com probabilidade elevada [$1 - \alpha$]) um trabalhador a partir de um dado subgrupo da ordem de $N_0 = \tau N$ onde τ é a proporção do grupo determinada como exposições elevadas, $0 < \tau < 1$. No caso dos 10% *mais altos*, $\tau = 0.1$. A probabilidade permitida de perder todos os N_0 trabalhadores com a exposição mais elevada na amostra de n em N é α .

A expressão da probabilidade de perder todos os trabalhadores de um subgrupo de tamanho N_0 a partir de um grupo de N quando da amostragem n é

$$P_0 = \frac{(N - N_0)!}{(N - N_0 - n)!} \frac{(N - n)!}{N!} \quad (\text{A-1})$$

Essa expressão segue os cálculos encontrados na teoria da amostragem sem substituição, tratada na referência A-1. Observe que

$$P_0 = P_0(N, \tau, n) \quad (\text{A-2})$$

e, para obter o tamanho amostral, a seguinte equação deve ser resolvida

$$P_0(N, \tau, n) = \alpha \quad (\text{A-3})$$

para o tamanho n de amostra, dado N (tamanho do grupo principal em consideração), τ (porcentagem do subgrupo em exposição elevada), e α (probabilidade permitida de perder todos os trabalhadores do grupo de mais alta exposição).

A solução, arredondando-se para o número inteiro mais próximo, é apresentada nas Tabelas A-1 – A-4, para as seguintes faixas de valores:

- Grupo de tamanho $N = 1, \dots, 50$
- Maiores 10% e frações de 20%, i.e., $T=0,1; 0,2$
- Níveis de confiança 90% e 95%, i.e., $\alpha = 0,1$ e 0,05.

(Quando $n < N$, a solução exata acima foi aproximada para a solução para amostragem com substituição.) Nesse caso, o procedimento é garantir com confiança $1 - \alpha$ que, em n testes, o evento cuja probabilidade de ocorrência em um teste é τ não ocorrerá. A probabilidade desse evento não ocorrer em n testes é

$$(1 - \tau)^n = \alpha \quad (\text{A-4})$$

*O material deste Apêndice foi desenvolvido por Systems Control, Inc., e foi publicado originalmente pelo Relatório SCI nº 5119-1, pp. 7-12 (Maio de 1975), produzido sob o Contrato NIOSH nº CDC-99-74-75.

e

$$n = \frac{\log \alpha}{\log (1 - r)} \quad (\text{A-5})$$

REFERÊNCIAS

- A-1. Parzen, E. *Modern Probability Theory and Its Application*. John Wiley e Filhos, Inc., Nova Iorque, 1960.

Por exemplo,

$$n \ (\tau = 0,1, \alpha = 0,1) = \frac{\log 0,1}{\log 0,9} = \frac{-1,0}{-0,0458} = 21,9 \text{ ou } 22$$

e esse é o limite para o qual n tende na Tabela A-1 com $N \rightarrow \infty$.

Nota-se que, mesmo para $N = 50$, o valor de n na Tabela A-1 ainda está muito longe do limite acima referido, portanto, é vantajoso utilizar a abordagem de amostragem sem reposição, como na equação (A-3).

TABELA A-1. TAMANHO AMOSTRAL PARA OS 10% MAIS ALTOS ($\tau = 0,1$) E CONFIANÇA DE 0,90 ($\alpha = 0,1$) (UTILIZE $n = N$ if $N \leq 7$)

Tamanho do grupo (N)	8	9	10	11-12	13-14	15-17	18-20	21-24	25-29	30-37	38-49	50	∞
Número necessário de empregados amostrados (n)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	22

TABELA A-2. TAMANHO AMOSTRAL PARA OS 10% MAIS ALTOS ($\tau = 0,1$) E CONFIANÇA DE 0,95 ($\alpha = 0,05$) (UTILIZE $n = N$ if $N \leq 11$)

Tamanho do grupo (N)	12	13-14	15-16	17-18	19-21	22-24	25-27	28-31	32-35	36-41	42-50	∞
Número necessário de empregados amostrados (n)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	29

TABELA A-3. TAMANHO AMOSTRAL PARA OS 20% MAIS ALTOS ($\tau = 0,2$) E CONFIANÇA DE 0,90 ($\alpha = 0,1$) (UTILIZE $n = N$ if $N \leq 5$)

Tamanho do grupo (N)	6	7-9	10-14	15-26	27-50	51- ∞
Número necessário de empregados amostrados (n)	5	6	7	8	9	11

TABELA A-4. TAMANHO AMOSTRAL PARA OS 20% MAIS ALTOS ($\tau = 0,2$) E CONFIANÇA DE 0,95 ($\alpha = 0,05$) (UTILIZE $n = N$ if $N \leq 6$)

Tamanho do grupo (N)	7-8	9-11	12-14	15-18	19-26	27-43	44-50	51- ∞
Número necessário de empregados amostrados (n)	6	7	8	9	10	11	12	14

APÊNDICE TÉCNICO B*

VARIAÇÃO DE EXPOSIÇÃO EM GRUPOS DE TRABALHADORES COM RISCO SEMELHANTE DE EXPOSIÇÃO ESPERADA

No passado, foram assumidas práticas de higiene industrial para estimar as exposições de um grupo de trabalhadores com risco de exposição semelhante, amostrando apenas alguns trabalhadores do grupo. Uma média seria calculada a partir das exposições aferidas, e tal exposição média do grupo era adotada para todos os empregados do grupo de exposição de risco. No entanto, esse procedimento era uma obrigação inconveniente, pois havia um número limitado de higienistas e poucos recursos disponíveis para medir a exposição de cada empregado. Além disso, pressupunha-se que a variação das médias de exposição dentro de um grupo com risco semelhante de exposição esperada seria pequeno, com pequenas diferenças apenas entre a média do grupo e as baixas e altas exposições deste.

Ayer e Burg (B-1) fizeram uma contribuição valiosa para a higiene industrial, demonstrando as imprecisões introduzidas pelo procedimento acima. Discutiram a diferença entre a amostra de pessoal por no máximo de 8 horas que pode ser obtida em um trabalhador individual e a exposição média ponderada no tempo para um grupo de trabalhadores. Infelizmente, esse artigo passou despercebido. O trabalho deles foi importante por causa de uma exigência estabelecida pela Occupational Safety and Health Act [Lei de Segurança e Saúde Ocupacional], de 1970 (B-2). A seção 6 (b) 7 da Lei afirma que o Departamento do Trabalho deve promulgar normas que "... ofereçam o monitoramento ou a medição da exposição do empregado nesses locais e intervalos, tanto quanto forem necessárias para a proteção dos empregados."

Ayer e Burg (B-1) reconheceram que a distribuição dos resultados da amostra a partir de uma determinada operação é geralmente log-normal. Tal distribuição e sua aplicação à medições de exposição profissional também tem sido discutida por Leidel e Busch (B-3) e Leidel, Busch, e Crouse (B-4). Reconhecer a distribuição log-normal de médias de exposição

individual em um grupo tem implicações importantes. As médias de exposição (para grupos com típicos desvios padrão geométricos (DPG)) abrangem uma vasta gama de valores, muitas vezes, uma ordem de magnitude. A proporção da alta exposição, como a do empregado com 95 por cento (empregado cuja média de exposição ultrapassa em 95% todos os outros do grupo) para a exposição média aritmética do grupo pode geralmente ser 2 ou 3 a 1. Isto é, o empregado com 95% de exposição pode facilmente estar entre 200% e 300% da média do grupo.

Na Figura B-1, a distribuição das exposições do empregado dentro de um grupo para diferentes quantidades de variação de exposição é mostrada graficamente. A relação entre a média aritmética real de exposição μ e o DPG é dada pela expressão

$$\mu = MG \exp [\frac{1}{2} (\ln DPG)^2]$$

onde

μ = média aritmética real de exposição do grupo

MG = média geométrica real de exposição do grupo (= empregado com 50 por cento de exposição)

DPG = desvio padrão geométrico real da distribuição de exposição do grupo

Essa relação foi utilizada para preparar a Figura B-1 e a Tabela B-1. Em todos os casos, a média aritmética real de exposição do grupo é fixada em 100 ppm.

Ayer e Burg (B-1) e Leidel *et al.* (B-4) apresenta tabela mostrando que os DPG do grupo ocorrem comumente na faixa entre 1,5 e 2,5. A Tabela B-1 mostra que, se a média de exposição do grupo foi indicada para todos os empregados do grupo, a exposição de pelo menos 5% dos empregados poderia ser registrada entre 56% e 31% (ou menos) dos valores reais (para DPGs entre 1,5 e 2,5).

TABELA B-1. NÍVEIS SUPERIORES DE EXPOSIÇÃO EM UMA DISTRIBUIÇÃO DO TIPO LOG-NORMAL

DPG	MG ppm	Exposição de 90 porcento, ppm	Exposição de 95 porcento, ppm	Razão entre o 95%média do grupo	Média do grupo para o 95º percentil
1,1	99,5	112	116	1,16	86%
1,3	97	135	149	1,49	67%
1,5	92	155	179	1,79	56%
1,75	86	175	215	2,15	47%
2,0	79	191	246	2,46	41%
2,5	66	213	297	2,97	34%

Na maioria das situações, é incorreto atribuir, a todos os empregados, a exposição média do grupo, porque a média do grupo pode subestimar significativamente as exposições elevadas. Apenas se a DPG do grupo for muito baixa (cerca de 1,15 ou menos) a média do grupo poderia ser atribuída a todos os empregados como menos que 50% de erro introduzido. Entretanto, para determinar o DPG do grupo, são necessárias amostras grandes, e, em grande parte dos grupos de trabalhadores, o DPG ultrapassaria 1,15 de qualquer forma.

REFERÊNCIAS

- B-1. Ayer, H. E., e J. Burg. Time-Weighted Average vs. Maximum Personal Sample. Artigo apresentado na Conferência Americana de Higiene Industrial, Boston, 1973.
- B-2. Lei do Direito Públco 91-596, 91º Congresso, 29 de dezembro de 1970.
- B-3. Leidel, N. A. e K. A. Busch. *Statistical Methods for the Determination of Noncompliance with Occupational Health Standards*. Editora NIOSH Technical Information, HEW. No. (NIOSH) 75-159, Cincinnati, Ohio 45226, Abril de 1975.
- B-4. Leidel, N. A., K. A. Busch e W. E. Crouse. *Exposure Measurement Action Level and Occupational Environmental Variability*. Editora NIOSH Technical Information, HEW. Nº (NIOSH) 76-131, Cincinnati, Ohio 45226, Abril de 1975.

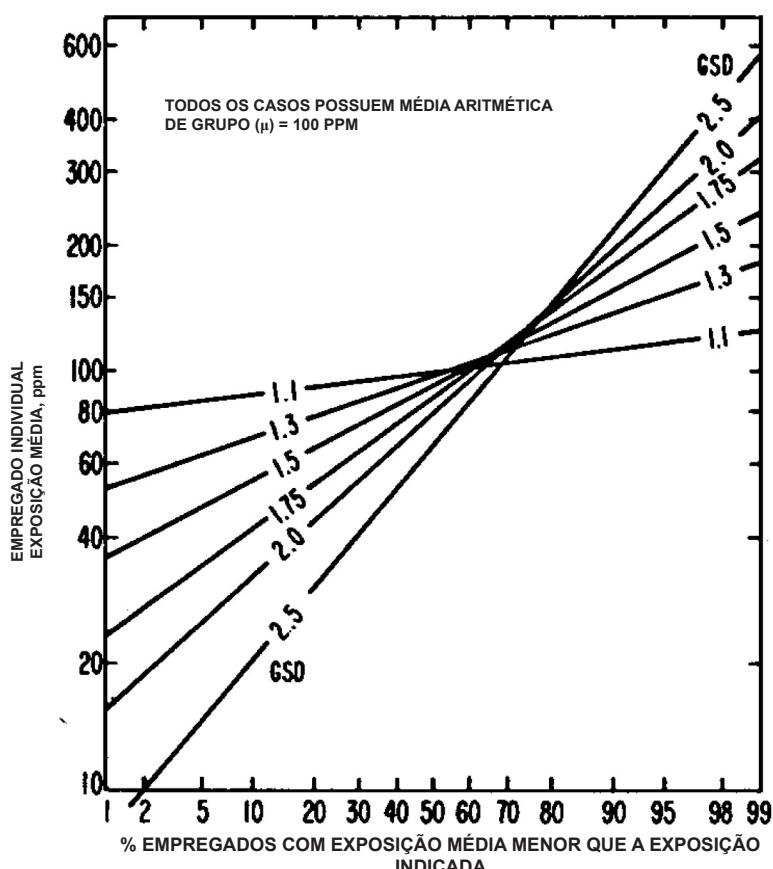


Figura B-1. Distribuição log-normal de exposição para um grupo de trabalhadores com exposição esperada semelhante. As linhas servem para diferenciar desvios padrão geométricos.

APÊNDICE TÉCNICO C

A INADEQUAÇÃO DO MONITORAMENTO GERAL DO AR (ÁREA) PARA A MEDIÇÃO DE EXPOSIÇÕES DE EMPREGADOS

Existem três tipos de técnicas de coleta de amostras de ambiente ocupacional:

- Pessoal – O dispositivo de amostragem é acoplado diretamente ao empregado, que o usa continuamente durante as operações de trabalho e descanso.
- Zona Respiratória – O dispositivo de amostragem é segurado por um segundo indivíduo, que tenta coletar o ar da "zona de respiração" do empregado. A "zona respiratória" é o ar que representaria com mais proximidade o ar inalado pelo empregado.
- Ar Ambiente – O amostrador é colocado em um local fixo da área de trabalho (também referido como monitoramento ambiental, monitoramento de área, amostragem estática, amostragem fixa e monitoramento com estação fixa).

Breslin *et al.* (C-1) é frequentemente citado como "prova" de que as amostras de ar ambiente produzem medidas precisas da exposição diária média do empregado. Breslin, entretanto, mostra que as exposições diárias médias foram calculadas com uma combinação de amostras provenientes da zona respiratória e do ar ambiente, com estudos de tempo e movimento. Além disso, ele afirma: "As medições anteriores de exposição média representam o melhor de acurácia que a equipe de estudo poderia alcançar e foram baseadas em muito mais amostras do que as coletadas em uma pesquisa de rotina." Finalmente, os autores mostraram (Figura 4 do artigo) que a faixa de aproximadamente 40 vezes envolvem os valores de exposição calculados.

Outros autores têm discutido os problemas do ar ambiente ou amostras estáticas. Sherwood (C-2) concluiu que "os amostradores estáticos podem deturpar grosseiramente a exposição dos trabalhadores individuais que provavelmente estão expostos a atividade do próprio ar." Sherwood (C-3), também demonstrou que uma variação muito grande (normalmente de 100 vezes) de concentrações de ar de empregados estão expostas a determinadas operações de trabalho. Estes dados contradizem a suposição de se esperar que as concentrações de ar sejam as mesmas em toda a operação de trabalho. Ayer e Burge (C-4) também apresentam dados mostrando a variação extrema nos dados amostrais.

Shulte (C-5) observou uma proporção mediana de quatro por um (C-4) entre amostradores pessoais e amostradores fixos (ar ambiente) em uma operação de processamento de grafite e urânio.

Tebbens (C-6) assinalou que a Lei declara como política do Congresso o objetivo de "assegurar, tanto quanto possível, a cada trabalhador e trabalhadora da nação, condições de trabalho seguras e saudáveis", assim, a atenção na amostragem de exposição foi deslocada dos grupos para os trabalhadores individuais. A preocupação com indivíduos aparece na Federal Coal Mine Health and Safety Act [Lei Federal de Saúde e Segurança em Minas de Carvão], de 1969 (C-7), e nos MESA Dust Sampling Requirements [Requisitos para Amostragem de Poeira do MESA] (C-8). O cumprimento dos padrões de poeira é determinado quase que exclusivamente pelo monitoramento pessoal. Tebbens (C-6) também afirma: "É o reconhecimento da probabilidade de grandes erros de medição temporal e espacial que lentamente conduziram para o conceito de amostragem pessoal ou dosimetria, ao acoplar o elemento sensor de um amostrador no próprio trabalhador - ele o porta continuamente, muitas vezes durante um dia inteiro de trabalho."

Linch e seus colaboradores compararam os monitores de estação fixa (área) com amostradores pessoais em uma amostragem com chumbo tetra-alquil (C-9) e monóxido de carbono (C-10). Em nenhum dos casos encontraram correlação entre os monitores pessoais e os de área. Quanto às exposições a chumbo tetra-alquil, Linch *et al.* (C-9) escreveu:

"... [a conclusão] de que os monitores de estação fixa não podem divulgar as verdadeiras concentrações de chumbo no ar inalado em uma atmosfera de ambiente de trabalho altamente variável parece ser suficientemente válida para justificar o estabelecimento de uma pesquisa extensiva de monitoramento pessoal."

"... o monitoramento de ar com estação fixa não fornece resultados válidos necessários para o controle de exposição orgânica ao chumbo, com base na análise do ar."

"... nos casos onde a análise do ar é necessária para controle de exposição, o monitoramento pessoal é o procedimento preferido para a coleta da amostra."

Para o estudo de exposição a monóxido de carbono, realizado em um grande armazém onde caminhões movidos a gasolina funcionavam, Linch e Pfaff (C-10) concluíram que "uma exposição real só poderá ser determinada pelo monitoramento pessoal."

Um estudo realizado por Baretta *et al.* (C-11) concluiu que a amostragem contínua de ar em locais fixos é válida para estimar a exposição diária de um único empregado a cloreto de vinila. O estudo contou com amostragem de ar multiponto, análise utilizando um espectrofotômetro infravermelho e os dados posteriormente analisados por computador. Como foi afirmado no artigo de Breslin *et al.* (C-1), este estudo demonstrou que os amostradores de área fornecem uma estimativa inadequada da exposição de um empregado. Em primeiro lugar, um estudo abrangente de trabalho foi necessário para cada uma das quatro classificações de trabalho, para determinar as áreas de trabalho frequentadas pelos trabalhadores e o tempo em que ficaram em cada área. Não foram fornecidos dados sobre a variação de trabalhadores individuais nos estudos de tempo e movimento, nem sobre intervalos de confiança para o percentual de tempo gasto em cada local de trabalho. Em segundo lugar, era necessário um computador para a análise da vasta quantidade de dados e cálculo das estimativas de exposição. Em terceiro lugar, não foram fornecidas estimativas de confiança para as exposições TWA calculadas a partir do monitoramento contínuo combinado com o estudo abrangente da ocupação. Em quarto lugar, os autores afirmam:

"O monitoramento contínuo, no entanto, é extremamente dispendioso em termos de tempo e de equipamentos necessários. O escopo dos dados adquiridos é limitado pelo número de sondas de amostragem, e pode ser que nem sempre essas sondas medissem com acurácia as experiências de exposição diária dos indivíduos, especialmente quando envolviam incidências incomuns, como vazamentos de produtos químicos ou exposições fora da área monitorada."

Finalmente, um relatório NIOSH recente (C-12) apresenta os resultados de uma análise estatística de um estudo de 1973 na indústria de berílio. O estudo comparou as estimativas de exposição de berílio transportado pelo ar, obtido com três diferentes técnicas de amostragem: o método de amostragem da Comissão de Energia Atômica (AEC), poeira total de um indivíduo e poeira respirável de um indivíduo. O método AEC utiliza os resultados de amostras de área geral (15 a 60 minutos de duração) e amostras de zona respiratória (duração entre 2 e 10 minutos), juntamente com um estudo de tempo e movimento de trabalho do empregado, para calcular sua média

ponderada diária dentro de um período de 3 meses. Os métodos de amostragem pessoal diferem do método do AEC, já que o amostrador foi usado pelos trabalhadores durante a jornada de trabalho. O relatório NIOSH (C-12) afirma que não se encontrou qualquer conversão confiável existente entre os resultados obtidos em uma única base de amostragem com os três métodos. No entanto, verificou-se que, para um grande número de amostras obtidas sob as mesmas condições, quando a concentração é de 2 $\mu\text{Be}/\text{m}^3$, pelo método do AEC, o valor da amostra total de um indivíduo será de cerca de 3 $\mu\text{g Be}/\text{m}^3$. Dessa forma, a amostra do indivíduo produziu um valor, em média, cerca de 50% mais elevado do que o método do ar geral elaborado pelo AEC.

Portanto, o objetivo das recomendações do NIOSH a respeito dos regulamentos de saúde propostos pelo OSHA é que as medições de exposição do empregado devem ser normalmente baseadas somente em amostragens pelos métodos de aferição do ar individual de zona respiratória. Deveria ser necessário demonstrar que amostras colhidas pela medida método de exposição do empregado ao ar ambiente são tão precisas quanto as obtidas pelos métodos de coleta de poeira pessoal e da zona respiratória.

REFERÊNCIAS

- C-1. Breslin, A. J., L. Ong, H. Glauberman, A. C. George e P. LeClare. The Accuracy of Dust Exposure Estimates Obtained from Conventional Air Sampling. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 28: 56-61, 1967.
- C-2. Sherwood, R. J.. On the Interpretation of Air Sampling for Radioactive Particles. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 27: 98-109, 1966.
- C-3. Sherwood, R. J.. The Monitoring of Benzene Exposure by Air Sampling. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 32: 840-846, 1971.
- C-4. Ayer, H. E., e J. Burg. Time-Weighted Average vs. Maximum Personal Sample. Artigo apresentado na Conferência Americana de Higiene Industrial, Boston, 1973.
- C-5. Shulte, H. F.. Personal Sampling and Multiple Stage Sampling. Artigo apresentado no Simpósio sobre Medições de Dose de Radiação, do ENEA, Estocolmo, 12 a 16 de junho de 1967.
- C-6. Tebbins, B. D.. Personal Dosimetry Versus Environmental Monitoring. *Journal of Occupational Medicine*, 15: 639-641, 1973.

- C-7. Federal Coal Mine Health and Safety Act [Lei Federal de Saúde e Segurança em Minas de Carvão]. Seção de Minas, Departamento Americano do Interior, PL 91-173, 30 de dezembro de 1969.
- C-8. Schlick, D. P.e R. G. Peluso. Respirable Dust Sampling Requirements Under the Federal Coal Mine Health and Safety Act of 1969. [Requisitos de Amostragem de Poeira Inalável]. Seção de Minas, Departamento Americano do Interior, publicação I. C. 8484, julho de 1970.
- C-9. Linch, A. L., E. G. Wiest e M. D. Carter. Evaluation of Tetraalkyl Lead Exposure by Personnel Monitor Surveys. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 31: 170-179, 1970.
- C-10. Linch, A. L. e H. V. Pfaff. Carbon Monoxide Evaluation of Exposure Potential by Personnel Monitor Surveys. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 32: 745-752, 1971.
- C-11. Baretta, B. D., R. D. Stewart e J. E. Mutchler. Monitoring Exposure to Vinyl Chloride Vapor: Breath Analysis and Continuous Air Sampling. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 30: 537-544, 1969.
- C-12. Donaldson, H. M. e W. T. Stringer. Beryllium Sampling Methods. Editora NIOSH Technical Information, HEW. No. (NIOSH) 76-201, Cincinnati, Ohio 45226, Julho de 1976.

APÊNDICE TÉCNICO D

COEFICIENTES DE VARIAÇÃO E REQUISITOS DE ACURÁCIA PARA AMOSTRAGEM DE HIGIENE INDUSTRIAL E MÉTODOS ANALÍTICOS

A variação relativa de uma distribuição normal (como os erros aleatoriamente distribuídos, que ocorrem em amostragem de higiene industrial e procedimentos analíticos) é frequentemente descrita pelo *coeficiente de variação (CV)*. O CV também é conhecido como *desvio padrão relativo (DPR)*. O CV é um índice útil de dispersão em que os limites calculados a partir da média real de um conjunto de dados com mais ou menos o dobro do CV irão conter cerca de 95% das medições de dados. Então, se um procedimento de análise com CV de 10% for usado para medir repetidamente alguma propriedade física constante (como a concentração de um produto químico em uma proveta de solução), cerca de 95% das medições penderá para mais ou menos 20% (2 vezes o CV) da concentração real.

A acurácia necessária das medições de concentração no ar transportado, segundo os padrões de saúde do OSHA, leva em consideração (1) variações aleatórias que ocorrem no dispositivo de amostragem (repetibilidade do dispositivo de amostragem), (2) variações aleatórias no procedimento de análise (repetibilidade de replicar análises de uma dada amostra), (3) erros sistemáticos no método de amostragem (determinar erros ou polarizações na técnica de coleta) e (4) erros sistemáticos no procedimento de análise (determinar erros ou viés na análise).

O termo *acurácia* presente nos padrões de saúde propostos pelo OSHA e neste Manual refere-se à diferença entre uma concentração aferida e a concentração real da amostra. Dessa forma, ele inclui tanto a variação aleatória do método sobre sua própria média (geralmente indicada como "precisão")

e a diferença entre o resultado médio a partir de um método e o valor real (geralmente indicado como "viés do método"). O termo "acurácia" não se refere à diferença entre a concentração aferida e a exposição real do empregado.

Há considerações adicionais que afetam a diferença entre a concentração aferida do ar transportado e a exposição real do empregado. Dentre elas, a localização do amostrador em relação à zona respiratória do empregado e a estratégia de amostragem da medição da exposição - tanto número de amostras quanto duração. (Consulte o Capítulo 3.)

Os padrões de saúde propostos pela OSHA afirmam que a acurácia de um método deve ter 95% de nível de confiança. Isso significa que 95% das medições devem ser tão precisas quanto o padrão requer. Assumindo que o método não tem enviesamento e os erros estão distribuídos de maneira normal, o CV (ou desvio padrão relativo) pode ser utilizado para julgar se o método possui a acurácia requerida. O CV em unidades percentuais é definido pelo desvio padrão do método, vezes 100, dividido pelo valor real. O coeficiente total de variação necessário (CV_T), da amostragem, e o método de análise, são obtidos pela divisão da acurácia requerida por 1,96 (o padrão estatístico normal desvia em 95% dos intervalos de confiança dos dois lados, também denominado "valor z"). Os CV_T 's típicos requeridos seriam:

Concentração	Acurácia requerida (mais ou menos)	CV_T Requerido
Acima da exposição permitida	25%	< 12,8%
Na ou abaixo da exposição permitida e acima do nível de ação	35%	< 17,9%
No ou abaixo do nível de ação	50%	< 25,5%

TABELA D-1. COEFICIENTES TOTAIS DE VARIAÇÃO PARA ALGUNS PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS DE AMOSTRAGEM / ANÁLISE DO NIOSH

Contaminante de ar	CV _T	Número do método do NIOSH	Contaminante de ar	CV _T	Número do método do NIOSH
Anidrido acético	0,06	S170	Dioxano	0,05	S360
Acetona	0,08	S1	Éter metílico do dipropilenoglicol	0,06	S69
Acetonitrila	0,07	S165	di-sec-Otilftalato		
Tetrabrometo de acetileno	0,10	S117	(ver Di(2-etilexil)ftalato)		
Acrilonitrila	0,07	S156	Epicloridrina	0,06	S118
Álcool alílico	0,11	S52	Acetato de 2-etoxietil	0,06	S41
Cloreto alílico	0,07	S116	Acetato de etila	0,06	S49
Alfa-metil-estireno	0,05	S26	Acrilato de etila	0,05	S35
n-acetato de amila	0,05	S51	Álcool etílico	0,06	S56
sec-acetato de amila	0,07	S31	Etilbenzeno	0,04	S29
Antimônio e compostos (Sb)	0,09	S2	Bromoetano	0,05	S106
Arsênio (As)	0,06	S309	Etil-butil-cetona	0,09	S16
Arsina	0,06	S229	Éter etílico	0,05	S80
Amianto	0,24 - 0,38 P&CAM239		Formiato de etila	0,08	S36
Bárho, compostos solúveis	0,05	S198	Etil-sec-amilcetona		
Cloreto de benzila	0,10	S115	(ver 5-metil-3-heptanona)		
Berílio e compostos de berílio (Be)	0,06	S339	Etil silicato	0,06	S264
Butadieno	0,06	S91	Etilamina	0,11	S144
2-Butanona	0,07	S3	2-Cloroetanol	0,08	S103
2-Butoxiethanol	0,06	S76	Dicloreto de etileno		
Acetato de butila	0,07	S47	(1,2-dicloroetano)	0,08	S122
sec-Aacetato de butila	0,05	S46	Dinitrato glicol etileno e/ou nitroglicerina		
tert-Aacetato de butila	0,09	S32	Oxido de etileno	0,10	S286
Butanol	0,07	S66	N-etyl morfolina	0,10	S146
sec-Butanol	0,07	S53	Glicidol	0,08	S70
tert-Butanol	0,08	S63	Heptano	0,06	S89
Éter n-butil glicidílico	0,07	S81	Hexa cloro naftaleno	0,06	S100
P-tert-butil-tolueno	0,07	S22	Hexano	0,06	S90
Óxido de cálcio	0,06	S205	Hexan-2-ona	0,05	S178
Cânfora	0,07	S10	Hexona	0,06	S18
Carbaryl (Sevin)	0,06	S273	Hidrazina	0,09	S237
Tetracloreto de carbono	0,09	S314	Ácido bromídrico	0,07	S175.
Canfeno clorado	0,08	S67	Ácido clorídrico	0,06	S246
Clorobenzeno	0,06	S133	Ácido fluorídrico (HF)	0,06	S176
Cloro-bromo-metano	0,06	S113	Sulteto de hidrogênio (aquoso)	0,12	S4
Clorodifenil (cloro a 54%)	0,06	S121	Acetato de isoamilo	0,06	S45
Clorofórmio	0,06	8351	Álcool isoamílico	0,08	S58
Ácido crômico e cromatos	0,08	S317	Acetato de isobutila	0,07	S44
Crômio, metal e compostos insolúveis	0,08	S352	Isobutanol	0,07	S64
Crômio, ácido crômico solúvel e sais de cromo (Cr)	0,08	S323	Isoforona	0,06	S367
Poeiras e névoas de cobre	0,05	S186	Acetato de isopropila	0,07	S50
Crésois (todos os isômeros)	0,07	S167	Álcool isopropílico	0,06	S65
Cumeno	0,06	S23	Isopropilamina	0,07	S147
Cianeto (CN)	0,10	S250	Éter isopropil de glicidilo	0,07	S77
Ciclohexano	0,07	S28	Cetena	0,06	S92
Ciclohexanol	0,08	S54	Chumbo e compostos inorgânicos de chumbo		
Cicloexanona	0,06	S19	LPG (gás liquefeito de petróleo)	0,07	S341
Cicloexeno	0,07	S82	Fumos de óxido de magnésio	0,05	S93
Diacetona álcool	0,10	S55	Manganês e compostos (Mn)	0,06	S369
Diazometano	0,08	S137	Óxido mesitil	0,06	S5
Dibutilftalato	0,05	S33	Acetato de metila	0,07	S12
orto-diclorobenzeno	0,07	S135	Acrilato de metila	0,06	S42
para-diclorobenzeno	0,05	S281	Álcool metílico	0,07	S38
1,1-Dicloroetano	0,06	S123	Metil n-amil cetona	0,06	S59
1,2-Dicloroetileno	0,05	S110	Metil Cel solvente	0,07	S1
1,1-Dicloro-1-nitroetano	0,05	S213	Acetato de Metil Cel solvente	0,07	S79
Dietilamina	0,07	S139	Metil clorofórmio (1,1,1-tricloroetano)	0,05	S328
Di(2-etilexil)ftalato	0,06	S40	Metilcicloexano	0,05	S94
Di-flúor-di-bromo-metano	0,09	S107	5-Metil-3-heptanona	0,10	S13
Diiisobutilcetona	0,07	S358	Iodeto de metila	0,07	S98
Dimetilacetamida	0,07	S254	Metil isoamilacetato	0,06	S37
Dimetilamina	0,06	S142	Metilisobutilcarbinol	0,08	S60
Dimetilanilina	0,05	S164	Metil isobutil cetona (ver Hexano)		
Dimetilformamida	0,06	S255			

TABELA D-1. COEFICIENTES TOTAIS DE VARIAÇÃO PARA ALGUNS PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS DE AMOSTRAGEM / ANÁLISE DO NIOSH (cont.)

Contaminante de ar	CV _T	Número do método do NIOSH	Contaminante de ar	CV _T	Número do método do NIOSH
Metil metacrilato	0,13	S43	Ródio, fumo e poeira de metal	0,08	S188
Metilal	0,06	S71	Ródio, sais solúveis	0,07	S189
Alfa-metil-estireno	0,05	S26	Compostos de selênio	0,09	S190
Molibdênio, compostos solúveis	0,09	S193	Solvante de Stoddard	0,05	S382
Monometil anilina (N-metilanilina)	0,09	S153	Estireno	0,06	S30
Morfolina	0,06	S150	Ácido sulfúrico	0,08	S174
Nafta, alcatrão de carvão	0,05	S86	Telúrio	0,06	S204
Naftaleno	0,05	S292	Hexafluoreto de telúrio	0,05	S187
Níquel, em metal e compostos solúveis (Ni)	0,06	S206	Terfenilos	0,10	S27
Nicotina	0,07	S293	1, 1, 1, 2-Tetracloro-2, 2-difluoroetano	0,07	S131
Nitrobenzeno	0,06	S217	1, 1, 2, 2-Tetracloro-1, 2-difluoroetano	0,05	S132
p-Nitroclorobenzeno	0,10	S218	1, 1,2,2-Tetracloroetano	0,06	S124
Nitrotolueno	0,06	S223	Tetraidrofurano	0,06	S78
Octa-cloronaftaleno	0,07	S97	Tetranitrometano	0,08	S224
Octano	0,06	S378	Tetriolo	0,06	S225
Ozônio (alcalino MI)	0,08	S8	Tálio, compostos solúveis (Tl)	0,06	S306
Paration	0,08	S295	Estanho, compostos inorgânicos, exceto óxidos	0,06	S185
Pentano	0,05	S379	Poeira de óxido de titânio	0,11	S385
2-Pentanona	0,06	S20	Orto-toluidina	0,06	S168
Destilado de petróleo (nafta)	0,05	S380	Fosfato de tributila	0,08	S208
2-Pentil acetato (ver sec-amil acetato)			1, 1, 2-Tricloroetano	0,06	S134
Fenol	0,07	S330	Tricloroetileno	0,08	S336
Éter fenil	0,07	S72	1, 2, 3-Tricloropropano	0,67	S126
Fenil éter / Bifenil (mistura)	0,09	S73	1, 1, 2-Tricloro-1, 2, 2-trifluoroetano	0,07	S129
Éter fenil glicílico	0,06	S74	Tri-fluor-mono-brometano	0,06	S125
Fenilidrazina	0,06	S160	Fosfato de triortocresilo	0,67	S209
Ácido fosfórico	0,06	S333	Fosfato de trifenil	0,07	S210
Anidrido ftálico	0,09	S179	Terebintina	0,05	S88
Platina, sais solúveis	0,06	S191	Cloreto de vinila	0,08	—
Propano	0,05	S87	Vinil tolueno	0,06	S25
Acetato de n-propil	0,06	S48	Xilidina	0,06	S162
Álcool propílico	0,08	S62	Ítrio	0,05	S200
Dicloreto de propileno	0,06	S95	Compostos de Zircônio (Zr)	0,05	S185
Óxido de propileno	0,08	S75			
Nitrato de n-propilo	0,05	S227			
Piridina	0,06	S161			

As técnicas de decisão estatística do Capítulo 4 utilizam CV_T . A Tabela D-1 lista alguns CV_T 's para procedimentos de amostragem e análise da NIOSH. Se um determinado método não está listado para um produto químico, então os coeficientes gerais de variação, da Tabela D-2, devem ser utilizados com cuidado. As Tabelas D-1 e D-2 se aplicam apenas a laboratórios com manutenção adequada e instalações de calibração para o equipamento de amostragem (por exemplo, bombas) e um programa de controle de qualidade para o laboratório de análises.

Os CV_T 's listados na Tabela D-1 foram informados pela Seção de Pesquisas de Medição do NIOSH e obtidos a partir do Contrato NIOSH CDC-99-74-45, Validação Laboratorial de Métodos de Amostragem de Ar Utilizadas para Determinar Concentrações Ambientais nos Locais de Trabalho, de 26 de junho de 1974 a 30 de julho de 1976. O trabalho adicional nessa área foi realizado por Reckner e Sachdev (D-1), sob o Contrato NIOSH HSM 99-72-98.

TABELA D-2. COEFICIENTES GERAIS DE VARIAÇÃO PARA ALGUNS PROCEDIMENTOS DE AMOSTRAGEM / DE ANÁLISE

Procedimento de amostragem/de análise	CV	Origem dos dados*
Tubos detectores colorimétricos	0,14	A
Rotâmetro em bombas individuais (somente amostragem)	0,05	B
Tubos de carvão (amostragem/análise)	0,10	C
Amianto (amostragem/contagem)	0,24-0,38	D
Poeira inalável, exceto poeira de mina de carvão (amostragem/pesagem)	0,09	E
Poeira bruta (amostragem/análise)	0,05	E

* Referências de origens dos dados

- A. Leidel, N. A. e K. A. Busch. *Statistical Methods for the Determination of Noncompliance with Occupational Health Standards*. Editora NIOSH Technical Information, HEW. No. (NIOSH) 75-159, Cincinnati, Ohio 45226, 1975.
- B. Estimativa da Área de Engenharia do NIOSH para bombas comuns calibradas com capacidade para a faixa de 1,5 a 3,0 lpm. C. Estimativa conservadora realizada pelos autores. O trabalho recente sob o Contrato NIOSH CDC-99-74-45 mostrou CV T's típicos (apenas precisão) de 0,05 a 0,09 para tubos de carvão.
- D. Leidel, N. A., S. G. Bayer, R. D. Zumwalde e K. A. Busch. USPHS/NIOSH Membrane Filter Method

for Evaluating Airborne Asbestos Fibers, *NIOSH Technical Information Report*, Cincinnati, Ohio 45226 (no prelo, 1977).

- E. Estimativa da Área de Engenharia do NIOSH baseada no uso de bombas com vazão entre 1,5 e 3,0 lpm e massa coletada de no mínimo 1,0 miligrama.

Se um coeficiente de variação analítica diferente do fornecido nas Tabelas D-1 e D-2 está disponível a partir de um laboratório, é melhor utilizar um coeficiente de variação total calculada. É importante perceber que CV s não são diretamente cumulativos, mas o CV_T aumenta proporcionalmente à raiz quadrada da soma dos quadrados do elemento dos CV s. De maneira geral, há somente dois elementos de CV s: o CV_P para a bomba de amostragem e o CV_A para o método analítico. Assim, o CV_T poderia ser calculado pela fórmula

$$CV_T = \sqrt{(CV_P)^2 + (CV_A)^2}$$

onde

$$CV_P = CV \text{ da bomba, geralmente considerado } 0,05$$

$$CV_A = CV \text{ analítico}$$

Exemplo:

Tubos de carvão foram utilizados como amostra para acetona e utilizados para análise por um laboratório local. O laboratório registrou que seu CV_A para acetona em tubos de carvão era 0,09. O CV_T é calculado assim

$$CV_T = \sqrt{(0.05)^2 + (0.09)^2} = 0.10$$

Outro exemplo que trata amostras de poeira de mina de carvão foi concedido por Leidel e Busch (D-2).

REFERÊNCIAS

- D-1. Reckner, L. R. e J. Sachdev. *Collaborative Testing of Activated Charcoal Sampling Tubes for Seven Organic Solvents*. Editora NIOSH Technical Information, HEW. No. (NIOSH) 75-184, Cincinnati, Ohio 45226, 1975.
- D-2. Leidel, N. A. e K. A. Busch. Comments - Statistical Methods for Determination of Non-compliance. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 36: 839-840, 1975.

APÊNDICE TÉCNICO E

EFEITOS GERAIS DO TAMANHO DA AMOSTRA NOS REQUISITOS PARA DEMONSTRAÇÃO DE CONFORMIDADE E NÃO-CONFORMIDADE

DEMONSTRAÇÃO DE CONFORMIDADE

Medidas de Amostras Consecutivas em Intervalo Completo e Medidas de Amostras Consecutivas em Intervalo Parcial

O efeito do número de amostras sobre os requisitos para demonstração de conformidade podem ser encontrados utilizando a equação para 95% de alto índice de conformidade (LCS) dado na seção 4.2.2. A média de exposição padronizada \bar{x} , necessária para demonstrar conformidade, é representada graficamente em função do tamanho de amostra n , como mostra a Figura E-1.

$$\bar{x} = 1 - \frac{(1,645)(CV_T)}{\sqrt{n}}$$

onde

CV_T = coeficiente de variação de amostragem e método analítico (ver Apêndice Técnico D)

n = número de amostras consecutivas

Observação: para uma concentração real igual a este ponto de decisão do teste, o poder do teste ($1 - \beta$) é igual a 50% (conferir Apêndice Técnico J).

A Figura E-1 também pode ser utilizada para mostrar o efeito do período parcial de amostra consecutivo, ao se assumir que a média de exposição do período não amostrado é igual ao calculado para o período amostrado. Contudo, consulte as seções 3.3.3 e 3.4 antes de usar esse procedimento.

Medida de Amostragem Aleatória

A definição e a aplicação da estratégia de Medida de Amostragens Aleatórias é tratada nas seções 3.3.4 e 3.4. O efeito do tamanho da amostra aleatória, sobre os requisitos para demonstração de conformidade, pode ser encontrado utilizando-se a Figura 4.3 na

seção 4.2.3. A família de curvas inferior (entre as regiões de Possível Superexposição e Conformidade) é utilizada para calcular a média de exposição máxima que produziria uma decisão de exposição em conformidade. Supõe-se vários dados diferentes de desvios-padrão geométricos (DPG) (intra diário), e são convertidos para os desvios-padrão dos logaritmos dos valores de concentração:

$$s = \log_{10}(DPG)$$

Encontra-se \bar{y} a partir da Figura 4.3, seção 4.2.3, para cada amostra escolhida de tamanho n . Então \bar{y} é convertido para a média aritmética de exposição padronizada \bar{x} :

$$\bar{x} = [\text{antilog}_{10}(\bar{y})] [\exp(\frac{1}{2}(\text{Em DPG})^2)]$$

A fórmula acima se sustenta apenas se o DPG real for igual ao DPG da amostra, porém a aproximação é útil para estimar o efeito do tamanho da amostra, mostrado na Figura E-2.

DEMONSTRAÇÃO DE NÃO-CONFORMIDADE

O efeito do tamanho amostral sobre os requisitos para demonstração de não-conformidade foi discutido anteriormente (E-1). (As Figuras E-3, E-4 e E-5 foram retiradas de Leidel e Busch (E-1). Equações semelhantes às anteriormente fornecidas neste Apêndice foram utilizadas para calcular e projetar as Figuras E-3 e E-4.)

Medição de Amostras Consecutivas em Intervalo Total

Para amostras consecutivas em intervalo total, a Figura E-3 mostra que, com base somente na consideração estatística, um número adequado de amostras é de quatro a sete. Entretanto, o aspecto prático e o custo da amostragem e da análise devem ser considerados. Métodos de amostragem que ocupam as maiores durações não podem ser executados em mais tempo que 4 horas por amostra. Assim, a maioria das

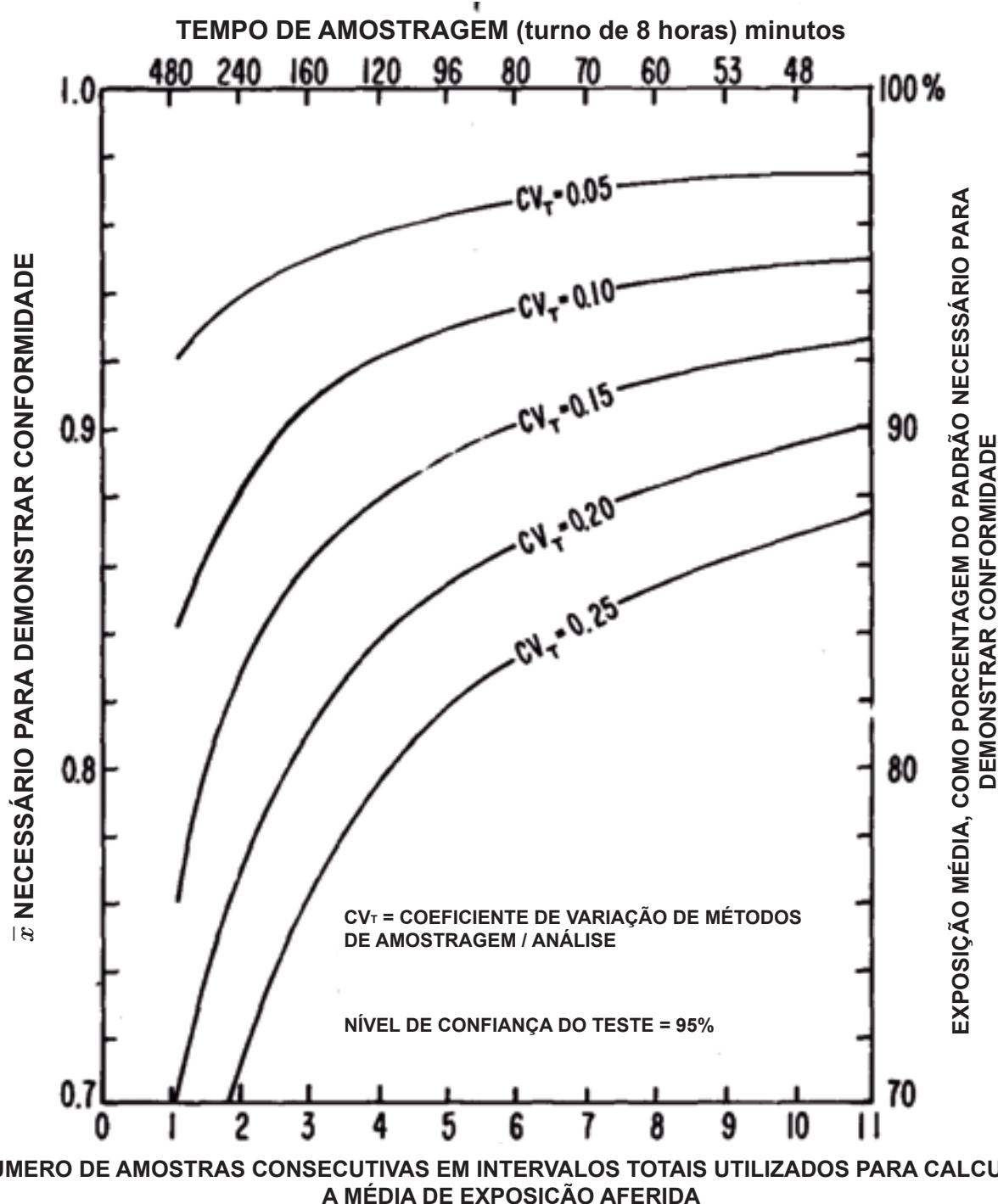


Figura E-1. Efeito do tamanho de amostra consecutiva de período total sobre a demonstração de conformidade quando o poder de teste é 50%.

estratégias de amostragem consecutivas de intervalo total obteriam pelo menos duas amostras quando uma amostra é realizada em um padrão médio de 8 horas.

Tomando-se uma técnica de amostragem/análise com um CV_T de 10%, a Figura E-3 mostra que a média de exposição padronizada \bar{x} é necessária para demonstrar a redução de não-conformidade de cerca de 1,12 para duas amostras a cerca de 1,06 para sete.

Ou, para duas amostras, podemos demonstrar não-conformidade quando a média das duas está 12% acima do padrão. Mas, com sete amostras, podemos demonstrar não-conformidade quando a média das sete está 6% acima do padrão. A incerteza da medida de TWA pode ser ainda mais reduzida recolhendo-se mais que sete amostras; contudo, o esforço adicional de amostragem geralmente não se fundamenta.

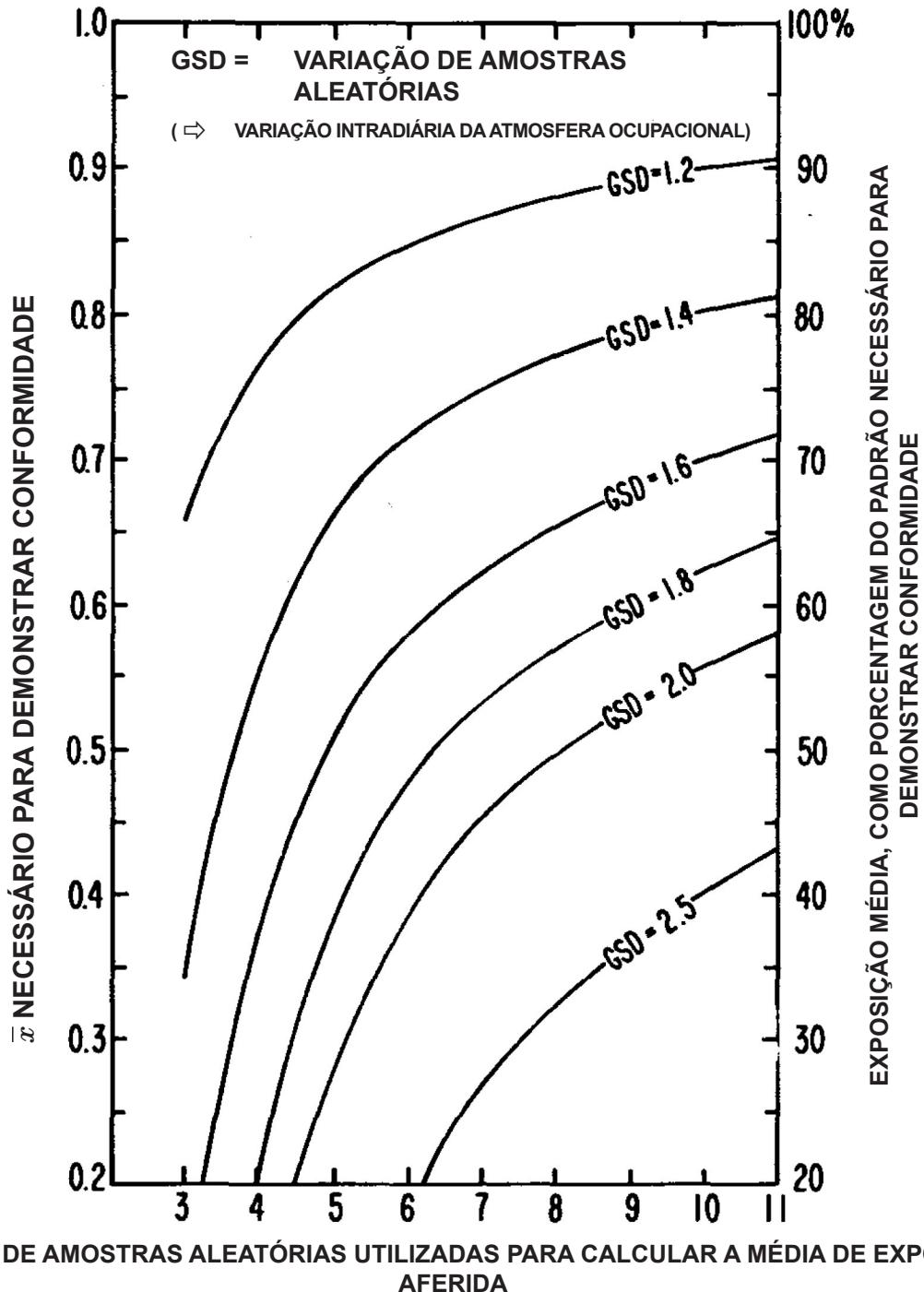


Figura E-2. Efeito do tamanho da amostra aleatória sobre a demonstração de conformidade.

Há benefícios teóricos adquiridos com amostras maiores, mas, em relação aos grandes custos adicionais envolvidos (especialmente com análises suplementares), os benefícios são insignificantes. Desta maneira, podemos concluir que duas amostras consecutivas de intervalo total (cerca de 4 horas cada, para um padrão de TWA de 8 horas) é a "melhor" quantidade a se utilizar, como discutido na seção 3.4.

Medida de Amostragem Aleatória

Para amostragem aleatória, menos que quatro amostras exigem injustificadamente maiores valores de \bar{x} para demonstrar não-conformidade. Tal como ocorre com amostras de período total, a Figura E-4 mostra que há um ponto de atenuação de retornos na tentativa de reduzir a incerteza da média aferida ao se utilizar mais que aproximadamente sete amostras aleatórias. No entanto, uma vez que a variação aleatória na média de amostras aleatórias é geralmente

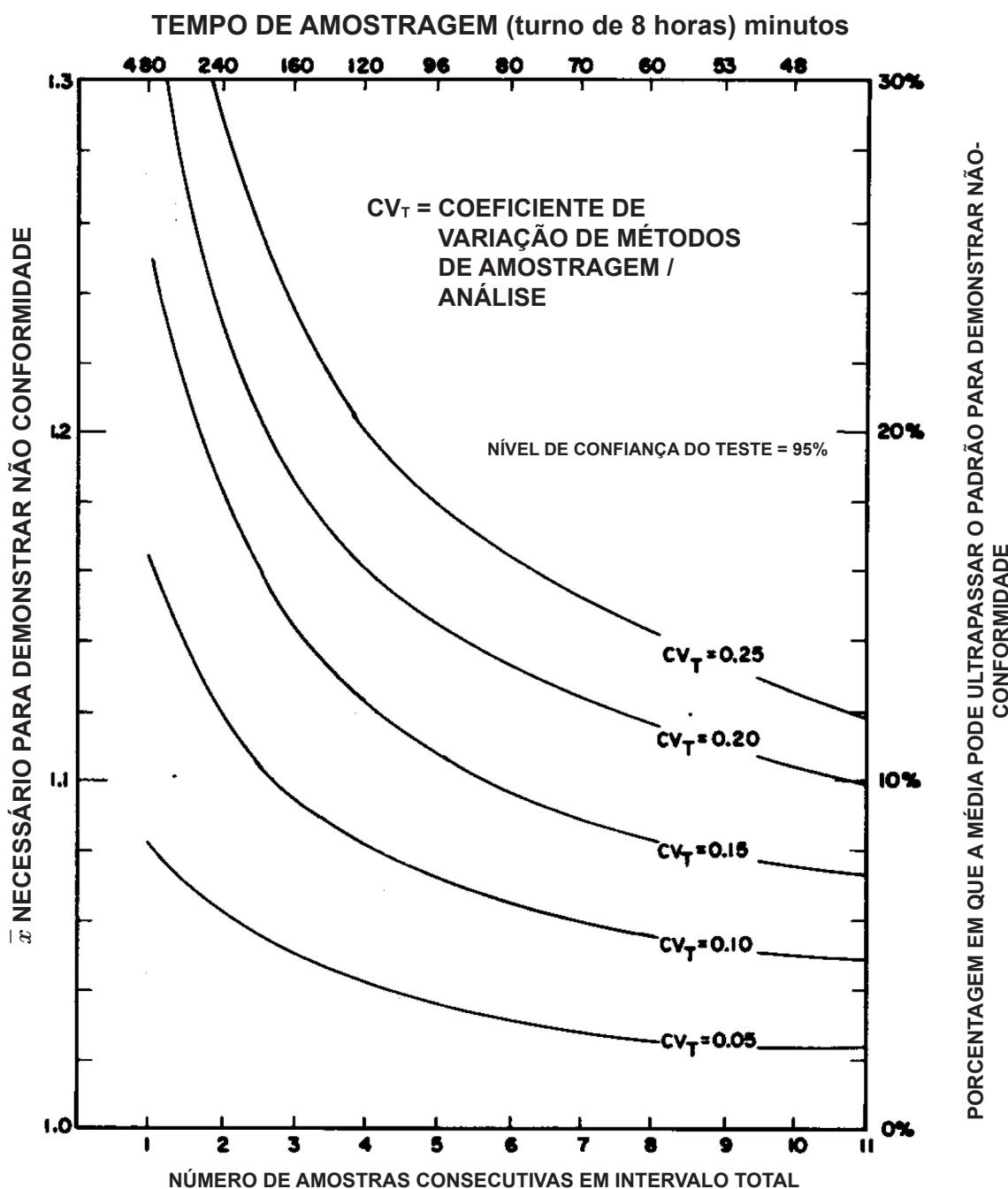


Figura E-3. Efeito do tamanho de amostra consecutiva de período total sobre a demonstração de não-conformidade quando o poder de teste é 50%.

muito maior que para o mesmo número de amostras de intervalo total, pode ser necessário coletar muito mais que sete amostras para conseguir se aproximar da baixa variação que se observa nas quatro ou menos amostragens consecutivas em intervalo total. Há, então, um critério estatístico que pode levar à redução do esforço de amostragem com um nível previsível de confiança. Em caso de não-conformidade, o melhor número de amostras aleatórias a se obter durante o

período determinado é entre quatro e sete. Observe que pouco se recomenda realizar entre 8 e 11 amostras aleatórias para a demonstração de conformidade.

Medidas de Amostras Consecutivas em Intervalo Parcial

A Figura E-5 demonstra o efeito do tamanho amostral sobre Procedimentos de Amostras Consecutivas em Intervalo Parcial, ao se demonstrar conformidade.

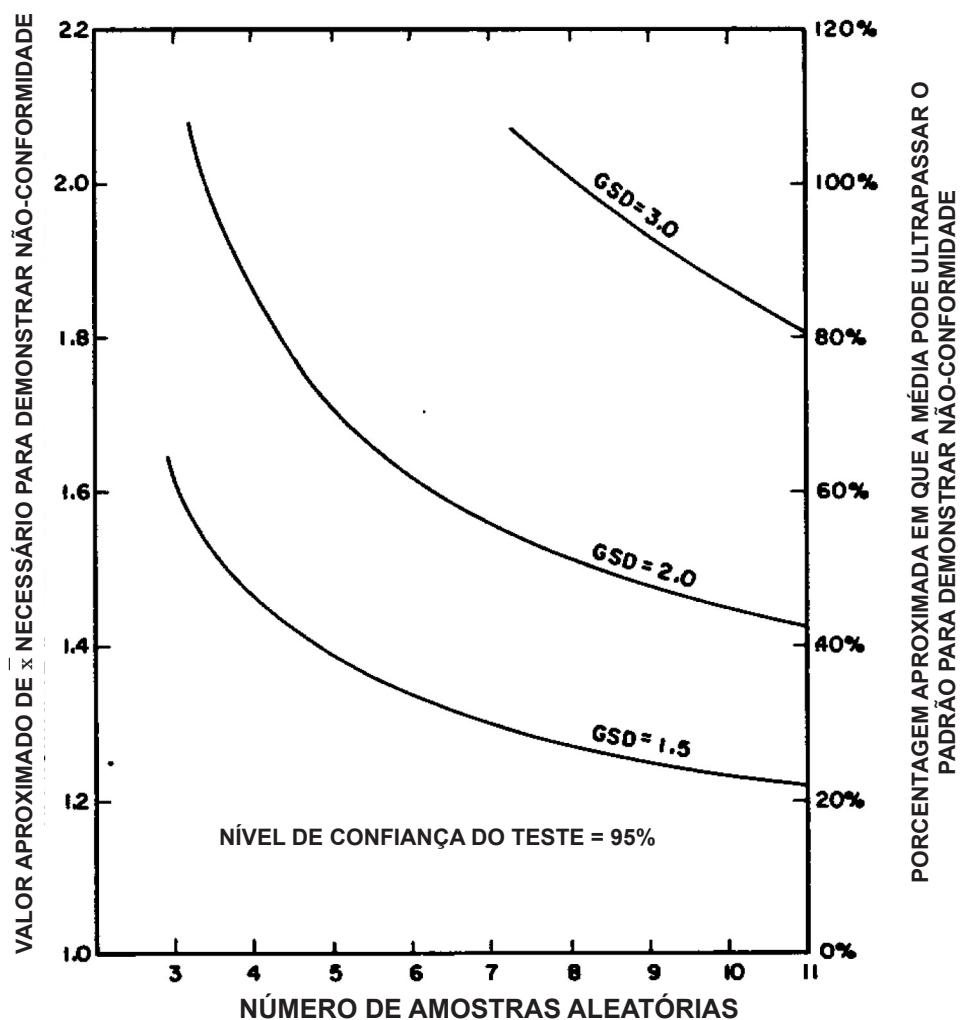


Figura E-4. Efeito do tamanho da amostra aleatória sobre a demonstração de não-conformidade. Três diferentes desvios padrão geométricos (DPG) de dados refletem a quantidade de variação intradiária no ambiente.

(Obs.: Esse procedimento não é aplicável quando se demonstra conformidade, conforme discutido na seção 3.4 (3).) Um CV_T amostral/analítico típico de 0,10 é utilizado para todas as curvas. A curva inferior (para um tempo total de amostra de 8 horas) é a mesma curva de $CV_T=0,10$, exibida na Figura E-3. Amostras consecutivas de intervalo parcial são um consenso entre a amostra(s) de intervalo completo e amostras aleatórias, que são menos desejáveis. Observe que a curva de DPG 2,5, da Figura E-4, é grosseiramente equivalente a uma curva de 5,5 horas, da Figura E-5. Consequentemente, se não se pode amostrar para no mínimo 70% do período exigido pelo padrão (por exemplo, 5,5 horas para um padrão de 8 horas), é melhor utilizar a amostragem aleatória para demonstrar não-conformidade.

REFERÊNCIAS

- E-1. Leidel, N. A. e K. A. Busch. *Statistical Methods for the Determination of Noncompliance with Occupational Health Standards*. Editora NIOSH Technical Information, HEW. No. (NIOSH) 75-159, Cincinnati, Ohio 45226, Abril de 1975.

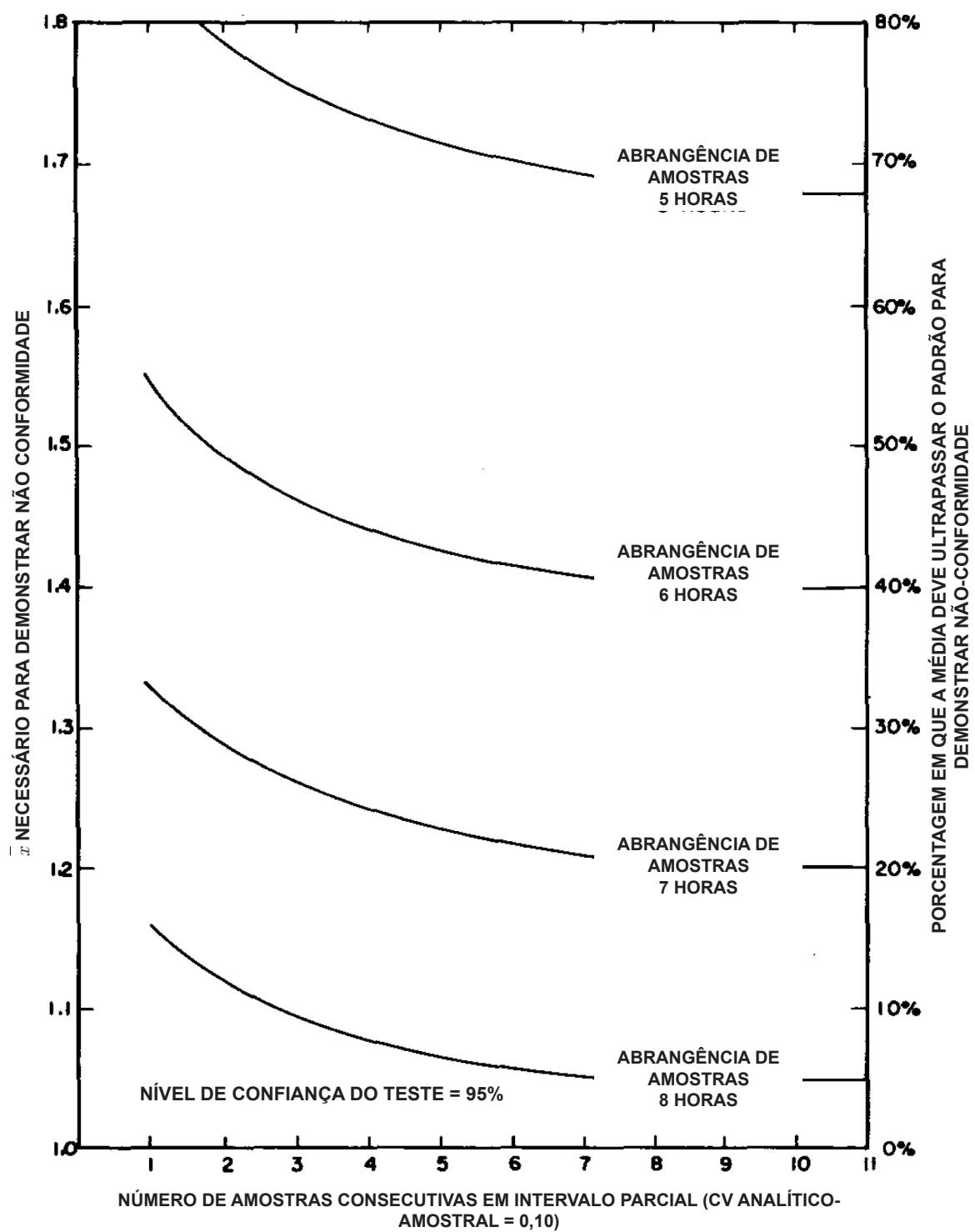


Figura E-5. Efeito de amostras consecutivas em intervalo parcial e tempo total envolvido por todas as amostras, sobre a demonstração de não-conformidade, quando o poder de teste é 50%.

APÊNDICE TÉCNICO F*

SELEÇÃO DE PERÍODOS DE AMOSTRAGEM ALEATÓRIA DURANTE UM TURNO DE 8 HORAS DE TRABALHO

Para selecionar uma amostra aleatória, prossiga da seguinte maneira:

1. Divida o período total em o padrão é definido, por n intervalos mutuamente exclusivos (não se sobrepondo) cujas extensões reunidas são igual ao período para o padrão. O número n é igual a P/s , onde P é o período do padrão e s é a extensão dos intervalos de amostragem.
Por exemplo, se amostras de 15 minutos forem coletadas e o padrão é uma média ponderada por tempo (TWA) de um período de 8 horas, haveria $n = 32$ intervalos possíveis de amostragem a partir dos quais uma amostra aleatória poderia ser selecionada.
2. Número de intervalos possíveis de amostragem, consecutivamente: 1, 2, 3, ..., n . Por exemplo, para um padrão de 8 horas, em um dia de trabalho que vai das 8h às 16h30, sendo que o trabalhador permanece fora da área de trabalho das 12h às 12h30, para almoço, poderíamos atribuir os seguintes códigos para os intervalos amostrais de 15 minutos.

<i>Código</i>	<i>Intervalo</i>
1	8h às 8h15
2	8h15 às 8h30
3	8h30 às 8h45
•	
•	
15	11h30 às 11h45
16	11h45 às 12h
17	12h30 às 12h45
18	12h45 às 13h
•	
•	
•	
31	16h às 16h15
32	15h às 16h30

3. Caso queira coletar n amostras aleatórias, utilize uma tabela de números aleatórios como a Tabela F-1. Selecione um ponto de partida arbitrário, e, a partir daí, liste os primeiros números inteiros de n , diferentes, entre 1 e n .

Por exemplo, suponha que cinco períodos aleatórios de amostragem de 15 minutos serão selecionados a partir de 32 períodos possíveis. Escolha arbitrariamente a primeira coluna e a décima-primeira linha (onde o número inteiro 67 aparece), a partir da primeira página da Tabela A-32 de Natrella, como ponto de partida (Tabela F-1, Referência F-2). Ao descer na direção vertical, na tabela, os cinco períodos seriam 24, 6, 29, 16 e 4, já que os inteiros maiores que 32 são ignorados. Em seguida, amostramos durante os períodos abaixo.

<i>Código</i>	<i>Intervalo</i>
4	8h45 às 9h
6	9h15 às 9h30
16	11h45 às 12h
24	14h15 às 14h30
29	15h30 às 15h45

Pequenos desvios nos tempos de partida exibidos, de até 15 minutos (tanto antes quanto depois) provavelmente não afetariam a aleatoriedade. Juda e Budzinski (F-3) mostram um procedimento semelhante.

*Este material apareceu originalmente em Leidel e Busch (F-1).



46	96	85	77	27	92	86	26	45	21	89	91	71	42	64	64	53	22	73	81	74	91	48	46	18	
44	19	15	32	63	55	87	77	33	29	45	00	31	34	84	05	72	90	44	27	73	22	07	62	17	
34	39	80	62	24	33	81	67	28	11	34	79	26	35	34	23	09	94	00	60	55	31	63	27	91	
74	97	80	30	65	07	71	30	01	84	47	45	89	70	74	13	04	90	51	27	61	34	63	57	44	
22	14	61	60	86	38	33	71	13	33	72	08	16	13	50	56	48	51	29	48	30	93	45	66	29	
40	03	96	40	03	47	24	60	09	21	21	18	00	05	86	52	83	40	73	73	57	68	36	33	91	
52	33	76	44	56	15	47	75	78	73	78	19	87	06	98	47	48	02	62	03	42	05	32	55	02	
37	59	20	40	93	17	82	24	19	90	80	87	32	74	59	84	24	49	79	17	23	75	83	42	00	
11	02	55	57	48	84	74	36	22	67	19	20	13	92	53	37	13	75	54	89	56	73	23	39	07	
10	33	79	26	34	54	71	33	89	74	68	48	23	17	49	18	81	05	52	85	70	05	73	11	17	
→	67	59	28	25	47	89	11	65	65	20	42	23	96	41	64	20	30	89	87	64	37	93	36	96	35
93	50	75	20	09	18	54	34	68	02	54	87	23	05	43	36	98	29	97	93	87	08	30	92	98	
(24)	43	23	72	80	64	34	27	23	46	15	36	10	63	21	59	69	76	02	62	31	62	47	60	34	
39	91	63	18	38	27	10	78	88	84	42	32	00	97	92	00	04	94	50	05	75	82	70	80	35	
74	62	19	67	54	18	28	92	33	69	98	96	74	35	72	11	68	25	08	95	31	79	11	79	54	
91	03	35	60	81	16	61	97	25	14	78	21	22	05	25	47	26	37	80	39	19	06	41	02	00	
42	57	66	76	72	91	03	63	48	46	44	01	33	53	62	28	80	59	55	05	02	16	13	17	54	
(06)	36	63	06	15	03	72	38	01	58	25	37	66	48	56	19	56	41	29	28	76	49	74	39	50	
92	70	96	70	89	80	87	14	25	49	25	94	62	78	26	15	41	39	43	75	64	69	61	06	38	
91	08	88	53	52	13	04	82	23	00	26	36	47	44	04	08	84	80	07	44	76	51	52	41	59	
68	85	97	74	47	53	90	05	90	84	87	48	25	01	11	05	45	11	43	15	60	40	31	84	59	
59	54	13	09	13	80	42	29	63	03	24	64	12	43	28	10	61	65	62	07	79	83	05	59	61	
39	18	32	69	33	46	58	19	34	03	59	28	97	31	02	65	47	47	70	39	74	17	30	22	65	
67	43	31	09	12	60	19	57	63	73	11	80	10	97	15	70	04	89	81	78	54	84	87	83	42	
61	75	37	19	56	90	75	39	03	56	49	92	72	95	27	52	87	47	12	52	54	62	43	23	13	
78	10	91	11	00	63	19	63	74	58	69	03	51	38	60	36	53	56	77	06	69	08	89	91	24	
93	23	71	58	09	78	08	03	07	71	79	32	25	19	61	04	40	33	12	06	78	91	97	88	95	
37	55	48	82	63	89	92	59	14	72	19	17	22	51	90	20	03	64	66	60	48	01	95	44	84	
62	13	11	71	17	23	29	25	13	85	33	35	07	69	25	68	57	92	57	11	84	44	01	33	66	
(29)	89	97	47	03	13	20	86	22	45	59	98	64	53	89	64	94	81	55	87	73	81	58	46	42	
(16)	94	85	82	89	07	17	30	29	89	89	80	98	36	25	36	53	02	49	14	34	03	52	09	20	
(04)	93	10	59	75	12	98	84	60	93	68	16	87	60	11	50	46	56	58	45	88	72	50	46	11	
95	71	43	68	97	18	85	17	13	08	00	50	77	50	46	92	45	26	97	21	48	22	23	08	32	
86	05	39	14	35	48	68	18	36	57	09	62	40	28	87	06	74	79	91	08	27	12	43	32	03	
59	30	60	10	41	31	00	69	63	77	01	89	94	60	19	02	70	88	72	33	38	88	20	60	86	
05	45	35	40	54	03	98	96	76	27	77	84	80	08	64	60	44	34	54	24	85	20	85	77	32	
71	85	17	74	66	27	85	19	55	56	51	36	48	92	32	44	40	47	10	33	22	52	42	29	96	
80	20	32	80	98	00	40	92	57	51	52	83	14	55	31	99	73	23	40	07	64	54	44	99	21	
13	50	78	02	73	39	66	82	01	28	67	51	75	66	33	97	47	58	42	44	88	09	28	58	06	
67	92	65	41	45	36	77	96	46	21	14	39	56	36	70	15	74	43	62	69	82	30	77	28	77	
72	56	73	44	26	04	62	81	15	35	79	26	99	57	28	22	25	94	80	62	95	48	98	23	86	
28	86	85	64	94	11	58	78	45	36	34	45	91	38	51	10	68	36	87	81	16	77	30	19	36	
69	57	40	80	44	94	60	82	94	93	98	01	48	50	57	69	60	77	69	60	74	32	05	77	17	
71	20	03	30	79	25	74	17	78	34	54	45	04	77	42	54	75	75	64	99	37	03	18	03	36	
89	98	55	98	22	45	12	49	82	71	57	33	28	69	50	54	15	69	25	79	39	42	84	18	70	
58	74	82	81	14	02	01	05	77	94	65	57	70	39	42	48	56	84	31	59	13	70	41	74	60	
50	54	73	81	91	07	81	26	23	45	49	61	22	88	41	20	00	15	59	93	51	60	65	65	63	
49	33	72	90	10	20	65	28	44	63	95	86	75	74	69	23	41	65	86	10	34	10	32	00	93	
11	85	01	43	65	02	85	69	56	88	34	29	64	35	45	15	70	11	77	83	01	34	82	91	04	
34	22	46	41	84	74	27	02	57	77	47	93	72	02	95	63	75	74	69	69	61	34	31	92	13	

TABELA F-1. USO DE UMA TABELA DE NÚMEROS ALEATÓRIOS PARA A SELEÇÃO DE PERÍODOS DE AMOSTRA-GEM ALEATÓRIA*

*Reproduzida a partir da Tabela A-36 de Natrella (F-2), com permissão de Rand Corporation, "A Million Random Digits," The Free Press, 1955.

REFERÊNCIAS

- F-1. Leidel, N. A. e K. A. Busch. *Statistical Methods for the Determination of Noncompliance with Occupational Health Standards*. Informações Técnicas da NIOSH, HEW. No. (NIOSH) 75-159, Cincinnati, Ohio 45226, 1975.
- F-2. Natrella, M. G. *Experimental Statistics*. National Bureau of Standards Handbook 91. [Agência Nacional de Padronização, Manual 91]. Su-
- perintendência de Documentação, Escritório de Imprensa do Governo dos Estados Unidos, Washington, D.C. 20402, 1963.
- F-3. Juda, J., e K. Budzinski. Determining the Tolerance Range of the Mean Value of Dust Concentration, *Staub*, 27: 12-16, (Tradução para o inglês), abril de 1967.

APÊNDICE TÉCNICO G*

CORREÇÕES DE TEMPERATURA E PRESSÃO DE VOLUMES DE AMOSTRAS DA HIGIENE INDUSTRIAL E CÁLCULO DE CONCENTRAÇÕES (PPM)

O objetivo da amostragem de higiene industrial é obter a melhor estimativa da concentração real a que o empregado está exposto no local de amostragem. Isso se dá porque padrões federais de saúde como a 29 CFR 1910, Subparte Z, são padrões de exposição. Laboratórios de análise geralmente registram a massa de contaminantes encontrados em um filtro, tubo de carvão ou amostra de impínger.

Para calcular a concentração atmosférica original na hora da amostragem, o volume real de ar que passou pelo dispositivo de amostragem deve ser calculado. Suponha que o rotâmetro de uma bomba está calibrado para uma determinada vazão (como 2,0 lpm) em Cincinnati (575 pés de altitude; 75° F de temperatura) e tal bomba é utilizada em uma altitude mais alta (por exemplo, 5000 pés) ou outra temperatura. Se, na hora da amostragem a bôia do rotâmetro da bomba estiver configurado com a marca de calibração 2,0 lpm (vazão indicada), o fluxo real que passa pela bomba não será 2,0 lpm.

A taxa de fluxo indicada, na hora da amostragem, deve ser corrigida para determinar a vazão real desse momento. A correção é uma função da equação básica de fluxo, para o medidor particular de fluxo utilizado (rotâmetro, orifício de limitação ou orifício crítico) e NÃO É UMA SIMPLES LEI DE CORREÇÃO DE GASES.

CORREÇÕES DE TEMPERATURA E PRESSÃO

Esses procedimentos não são necessários para bombas volumétricas. Para esses dispositivos, consulte "Cálculo de Concentração".

Correções do Medidor de Fluxo para Rotâmetros de Escala Linear e Orifícios de Limitação

$$Q_{\text{real}} = Q_{\text{indicada}} \sqrt{\frac{P_{\text{cal}}}{P_{\text{real}}} \frac{T_{\text{real}}}{T_{\text{cal}}}}$$

com

real	= condições reais de amostra
cal	= condições reais de calibração
indicada	= taxa de fluxo de calibração indicada no rotâmetro

tanto a pressão P quanto a temperatura T estão em unidades absolutas (como psia, polegadas absolutas de Hg, graus Kelvin ou Rankine)
onde

psia	= psig + 14.7 (psig corresponde à pressão do instrumento)
graus Rankine	= graus Fahrenheit + 460
graus Kelvin	= graus Celsius + 273

Note que mudanças barométricas locais decorrentes de condições meteorológicas não têm um efeito significativo sobre a pressão atmosférica absoluta média no local. No geral, conhecemos a altitude das localizações da calibração e da amostragem. A Tabela G-1 pode ser utilizada para obter estimativas adequadas da pressão atmosférica absoluta média no local de calibração (P_{cal}) e no momento de amostragem (P_{real}).

Exemplo:

O rotâmetro de uma bomba operada por bateria foi calibrado e marcado para 2,0 lpm em Cincinnati (575 pés de altitude; 75° F de temperatura). A bomba foi, em seguida, utilizada para obter uma amostra em um local com 6000 pés de altitude e 50° F de temperatura; e a bôia do rotâmetro foi ajustada para a marca de 2,0 lpm.

•Essas correções são baseadas no material preparado por Roper (G-1), e as derivações, por Heitbrink (G-2).

TABELA G-1. PRESSÃO ATMOSFÉRICA ABSOLUTA MÉDIA

Altitude, em pés	Pressão absoluta, em psia	Pressão absoluta, em polegadas de Hg
nível do mar	14,7	29,92
Cincinnati (575 pés)	14,4	29,31
1000	14,2	28,87
2000	13,7	27,82
3000	13,2	26,81
4000	12,7	25,85
5000	12,2	24,90
6000	11,7	23,98
7000	11,3	23,10
8000	10,8	22,22
9000	10,5	21,39
10000	10,1	20,58

Para obter a taxa do fluxo real que corre pela bomba no momento da amostragem, use

$$Q_{\text{real}} = 2,0 \text{ lpm} \quad \sqrt{\frac{(14,4 \text{ psia})}{(11,7 \text{ psia})} \cdot \frac{(460 + 50) \text{ }^{\circ}\text{R}}{(460 + 75) \text{ }^{\circ}\text{R}}} \\ = (2.0 \text{ lpm}) (1,083) = 2,17 \text{ lpm}$$

Um erro de aproximadamente - 8% teria ocorrido se a correção não tivesse sido feita.

Orifícios Críticos

Temos certeza das condições dos orifícios críticos se o orifício é operado com corrente de sução de pelo menos 15 polegadas de Hg. De maneira geral, é melhor trabalhar com uma pressão de sução de aproximadamente 20 polegadas na bomba de corrente a vácuo. A correção para um orifício crítico é

$$Q_{\text{real}} = Q_{\text{indicada}} \sqrt{T_{\text{real}} / T_{\text{cal}}}$$

onde a temperatura T está em unidade absoluta.

Exemplo

Um orifício crítico de 9 lpm (nominal) foi calibrado em 9,1 lpm, em Cincinnati (75° F de temperatura). Ele foi então utilizado em um trem de amostragem para coletar a amostra de sílica de uma área, a 35 °F. Para obter a taxa real de fluxo que corre pelo orifício crítico, use

$$Q_{\text{real}} = 9,1 \text{ lpm} \quad \sqrt{(460+35) / (460+75)} \\ = (9,1 \text{ lpm}) \cdot (0,962) = 8,75 \text{ lpm}$$

Um erro de aproximadamente + 4% teria ocorrido se a correção não tivesse sido feita.

CÁLCULO DE CONCENTRAÇÃO

Ao calcular a concentração de massa (mg/m^3) de um contaminante, deve-se utilizar o volume real do ar amostrado (conforme determinado pelos fatores de correção do medidor de fluxo).

Todas as concentrações de gás ou vapor devem ser convertidas para ppm (partes por milhão), antes de as respectivas não-conformidades serem analisadas. Deve-se utilizar os valores dos padrões federais de saúde (29 CFR 1910 Subparte Z) em ppm porque os valores de concentração de massa dos padrões são apenas aproximados e alguns contêm erros significativos de arredondamento.

A maioria das equações para conversão para ppm utilizam o fator 24,45. Esse é o número de litros que um mol de gás ocupa na temperatura e pressão do padrão OSHA/ACGIH (STP: 25°C e 760 mm Hg), também conhecido como volume gram-molecular STP. O que a equação de conversão na verdade faz é calcular o volume gram-molecular na temperatura e pressão amostradas. Contudo, a equação também pode ser interpretada como o cálculo do volume ocupado na STP, pela quantidade de gás do volume real amostrado. A equação é

$$\text{ppm} = \frac{(C) (24,45) (T+460) (14,7)}{(PM) (537) (P)}$$

onde

C = concentração, em mg/m^3 , nas T e P amostradas

PM = peso molecular do contaminante (g/mol)

T = temperatura real da amostragem (em graus Fahrenheit)

P = pressão real da amostragem (psia)

Ou o nomograma fornecido como Figura G-1 pode ser utilizado para uma rápida conversão aproximada. É importante perceber que, na realidade, é o volume real amostrado que está sendo convertido para um volume STP, na equação acima. Não se corrige o ppm para STP. Uma vez que a concentração em ppm é calculada, ela permanece a mesma, independentemente de temperatura e pressão.

Exemplo: O gás SO_2 foi amostrado em uma altitude de 2000 pés e temperatura
 de 60° F.
 A concentração de massa, nessas condições, era 4,0 mg/m³
 Leia-se: 1,6 ppm

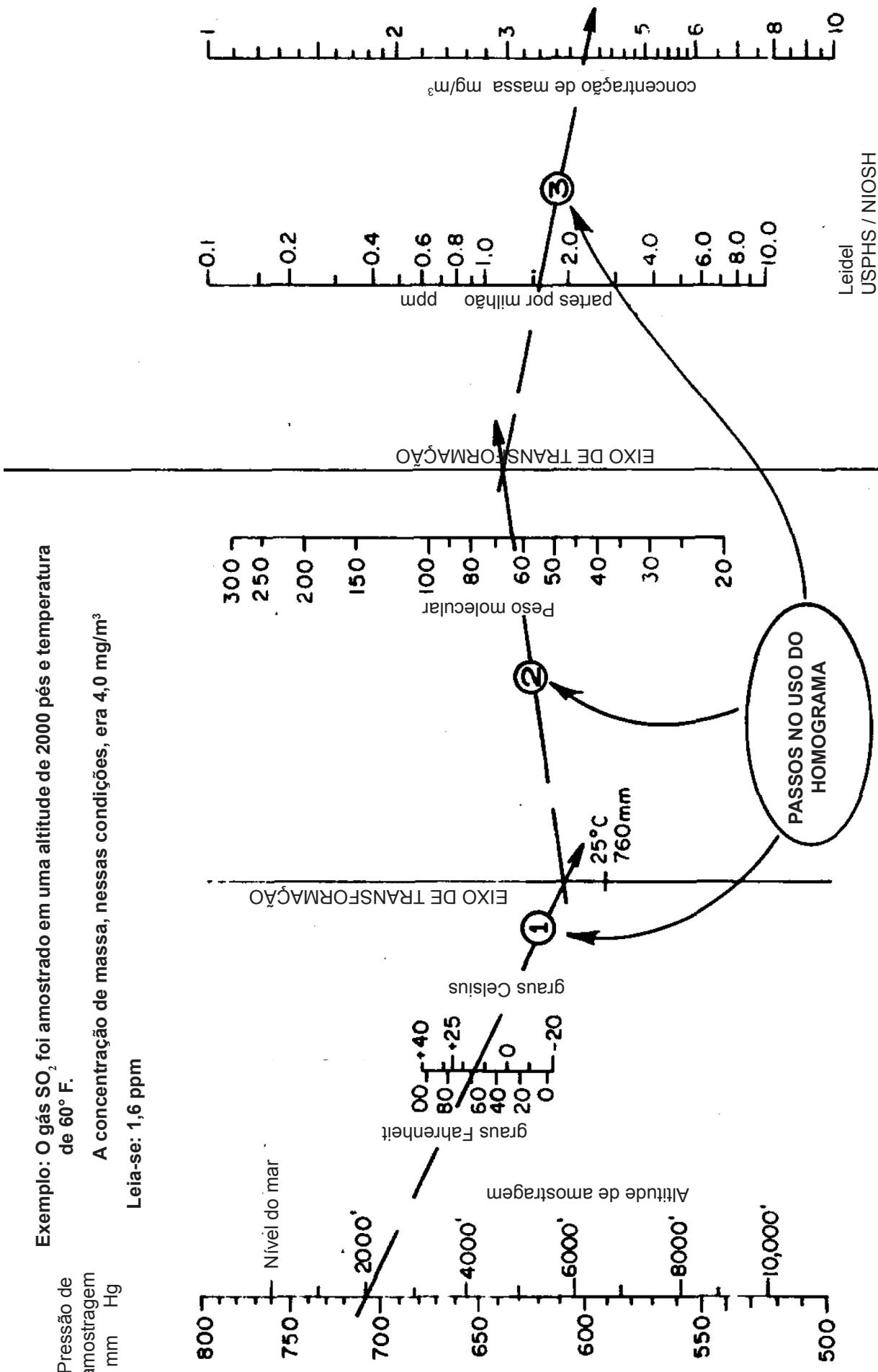


Figura G-1. Homograma relacionando mg/m³ com ppm.

RESUMO DO PROCEDIMENTO

1. Deve-se registrar a altitude, a temperatura, o local de calibração e a taxa de fluxo indicada quando uma amostra é coletada.
2. Utilizando os fatores de correção de altitude/temperatura do medidor de fluxo, calcule o volume real amostrado. Isso é necessário apenas para rotâmetro, orifícios de limitação e orifícios críticos.
3. Ao calcular concentração de massa (mg/m^3), deve-se utilizar o volume real da amostra. A concentração de massa deve ser registrada em condições de temperatura e pressão (ou altitude) reais, no momento da amostragem.
4. A concentração em ppm deve ser calculada antes de se examinar a não-conformidade com os padrões federais em *ppm* (29 CFR 1910, Subparte Z), dos dados de exposição.

DERIVAÇÃO DOS FATORES DE CORREÇÃO

Fonte de Correção para a Taxa de Fluxo Indicada Por Um Rotâmetro Calibrado

No Manual para Engenheiros Químicos de Perry (G-3), a proporção das taxas de fluxo para dois fluidos diferentes do mesmo rotâmetro é fornecida pela equação 5-24 nas páginas 5-13:

$$\frac{W_a}{W_b} = \frac{K_a}{K_b} \sqrt{\frac{(\rho_f - \rho_a) \rho_a}{(\rho_f - \rho_b) \rho_b}} \quad (\text{G-1})$$

onde

- W = taxa de fluxo de massa
- ρ_f = densidade da bóia
- K = parâmetro de fluxo
- ρ = densidade do gás
- a, b = subscrito para diferentes gases ou gás em duas condições

Por estarmos tratando apenas do ar em duas condições diferentes, duas suposições podem ser feitas:

$$K_a = K_b$$

$$\rho_f - \rho_a = \rho_f - \rho_b$$

Como resultado, a equação G-1 pode ser expressa assim

$$\frac{W_a}{W_b} = \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_b}}$$

Mas $W = \rho q$, onde q = taxa de fluxo volumétrico. Aplicando essa relação, temos

$$\frac{q_a}{q_b} = \sqrt{\frac{\rho_a}{\rho_b}}$$

Pela lei dos gases ideais,

onde

- $\rho = MP/RT$
- M = peso molecular
- P = pressão ambiente
- R = constante da lei de gases
- T = temperatura

Agora, a equação G-1 pode ser expressa assim

$$\frac{q_a}{q_b} = \sqrt{\frac{P_b}{T_b} \cdot \frac{T_a}{P_a}}$$

O a subscrito agora se refere às condições ambientes durante a amostragem, e o b , às condições no momento de calibração.

Fonte de Correção Para Taxa de Fluxo de Um Orifício Crítico Calibrado

Nas páginas 5-9 do Manual de Perry (G-3), a equação para a taxa de fluxo do ar que passa pelo orifício crítico é

$$W_x = \frac{0,533 (C) (A) (P)}{\sqrt{T}}$$

onde

- W_x = taxa de fluxo de massa
- C = coeficiente de descarga
- A = área da seção transversal do orifício
- P = pressão da corrente
- T = temperatura da corrente

Quando o mesmo orifício é utilizado em diferentes condições de temperatura e pressão, temos como resultado diferentes taxas de fluxo de massa. A relação dessas taxas de fluxo é

$$\frac{W_a}{W_b} = \sqrt{\frac{P_a / \sqrt{T_a}}{P_b / \sqrt{T_b}}} \quad (\text{G-2})$$

onde a e b se referem a diferentes condições de temperatura e pressão do fluido. A taxa de fluxo de massa pode ser convertida para a taxa de fluxo volumétrico utilizando essa expressão:

$$W = q\rho \quad (\text{G-3})$$

onde

- q = taxa volumétrica (litros/minuto)
- ρ = densidade do gás

A densidade do ar pode ser calculada com

$$\rho = (M) (P) / (R) (T) \quad (\text{G-4})$$

onde

- M = peso molecular
 P = pressão
 R = constante da lei de gases
 T = temperatura

Após aplicar as equações G-3 e G-4 na G-2, obtém-se a equação de correção:

$$q_a / q_b = \sqrt{T_a / T_b}$$

O a subscrito agora se refere às condições ambientes durante a amostragem, e o b , às condições no momento de calibração.

REFERÊNCIAS

- G-1 Roper, P. *Calibration of Orifices*. Relatório interno da NIOSH. Cincinnati, 45226, 1972.
- G-2 Heitbrink, W. A. Circular NIOSH. Seção de Pesquisas de Medição, Divisão de Ciências Físicas e Engenharia, Cincinnati, 45226, 14 de setembro de 1976.
- G-3 Perry, J. H. (ed.). *Chemical Engineers' Handbook*, 4 ed. McGraw-Hill Book Company, Nova Iorque, 1963.

APÊNDICE TÉCNICO H

CÁLCULO DA EXPOSIÇÃO MÉDIA PONDERADA PELO TEMPO (TWA)

Em um ambiente de trabalho típico, o trabalhador pode ser exposto a várias concentrações médias diferentes durante o turno (devido a mudanças na atribuição de trabalho, carga de trabalho, condições de ventilação, processos, etc). A exposição média ponderada pelo tempo (TWA) evoluiu como um método de cálculo da exposição média diária pela ponderação das diferentes concentrações médias pelo tempo de exposição. É o equivalente a integrar os valores de concentração sobre a base total de tempo da TWA. Ela pode ser determinada pela seguinte fórmula:

$$TWA = \frac{T_1 X_1 + T_2 X_2 + T_3 X_3 + \dots + T_n X_n}{T_t}$$

onde $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$ são os tempos de exposição incrementais em concentrações médias $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ e T_t é o tempo total em um dia de trabalho. Esta fórmula aparece em leis Federais, 29 CFR 1910.1000 (d) (1). Por exemplo, suponha que o trabalhador está exposto da seguinte forma:

Tempo de exposição (T_i)	Concentração média de exposição (ppm)
1 hora	250
3 horas	100
4 horas	50
Total $T = 8$ horas	

Então o TWA para a jornada de 8 horas será

$$TWA = \frac{(1)(250) + (3)(100) + (4)(50)}{8} = 94 \text{ ppm}$$

Para a maioria das substâncias listadas na 29 CFR 1910, Sub parte -- Z, a exposição média máxima admissível durante um período de 8 horas está especificada. Mesmo que os padrões sejam referidos como TWA, o cálculo da exposição média ponderada

pelo tempo não é o método preferido para determinar a exposição média de 8 horas por causa de incertezas na determinação das concentrações médias do componente.

O método de amostragem e o tempo disponível para a amostragem vão determinar a forma como uma exposição média de 8 horas é calculada. Quando possível, é mais desejável recolher uma única amostra durante todo o período para o qual é definido o padrão, como o total de 8 horas. A vantagem é que, neste caso, a amostra é uma medida integrada direta da exposição ao longo de todo o período e elimina a necessidade de cálculos TWA. Mesmo que não seja possível coletar uma amostra simples, durante um período total de 8 horas, pode ser possível coletar uma série de amostras consecutivas, que cobrem a totalidade do período parcial, ou período do padrão. Note que uma concentração de exposição calculada a partir de uma amostra é uma concentração ponderada pelo tempo, embora os cálculos da média ponderada pelo tempo nesta seção não possam ser utilizados.

MEDIÇÕES DE AMOSTRAS CONSECUTIVAS DE PERÍODO COMPLETO E PARCIAL

Por estas estratégias de medição da exposição, a duração de cada amostra e a concentração da amostra (ppm) reportada são utilizados na equação acima. Para uma estratégia de período parcial, um exemplo seria:

Amostra	Período de Tempo	Duração	Resultados da Amostra
A	0915 - 1030 hr	75 min	320 ppm
B	1100 - 1210 hr	70 min	250 ppm
C	1320 - 1540 hr	140 min	350 ppm

Então a exposição TWA para o período de 4,75 horas amostrado é

TWA =

$$\frac{(15 \text{ min}) (320 \text{ ppm}) + (70 \text{ min}) (2.50 \text{ ppm}) + (140 \text{ min}) (350 \text{ ppm})}{(285 \text{ min})}$$

= 318 ppm para o período de 4,75-horas.

Consulte a seção 4.2.1 para análise desses dados. Note que este exemplo não cumpre as recomendações da seção 3.4 (3) que a porção de amostragem do período cobre, pelo menos 70% a 80% do total no período de 8 horas.

MEDIDA DE AMOSTRAGEM ALEATÓRIA

Se a operação do trabalhador e exposição de trabalho podem ser admitidas relativamente constantes durante o turno de trabalho, então todas as amostras podem ser diretamente medidas. Se a duração de cada amostra é relativamente curta em comparação com o período do padrão (como cada uma das amostras é inferior a 5% do referido período), então os tempos podem ser omitidos no cálculo *TWA*.

<i>Amostra</i>	<i>Período de Tempo</i>	<i>Resultados da amostra</i>
A	0830 - 0835	20 ppm
B	0940 - 0945	45
C	1105 - 1110	10
D	1250 - 1255	15
E	1430 - 1435	30
F	1550 - 1555	25

O *TWA* para a jornada de 8 horas seria

$$TWA = \frac{(20 + 45 + 10 + 15 + 30 + 25)}{6} = 24 \text{ ppm}$$

Consulte a seção 4.2.3 para análise desses dados.

No entanto, se o trabalhador esteve em vários locais de trabalho ou operações durante o turno de 8 horas e várias amostras aleatórias foram recolhidas durante cada uma das operações com diferentes exposições (ver seção 3.4 (4)), então os resultados são analisados da seguinte maneira:

<i>Operação</i>	<i>Duração</i>	<i>Amostra</i>	<i>Resultados (amostra de cada 5-min)</i>
Sala de solvente	0800-1030	A	110 ppm
		B	180
		C	90
		D	120
		E	150
Alimentação da impressora	1030-1630	F	50
		G	35
		H	60
		I	40

A exposição média da sala de solvente é

$$\bar{x}_1 = \frac{(110 + 180 + 90 + 120 + 150)}{5} = 130 \text{ ppm}$$

A exposição média da alimentação da impressora é

$$\bar{x}_1 = \frac{(50 + 35 + 60 + 40)}{4} = 46 \text{ ppm}$$

Então a exposição *TWA* para o turno de 8 horas (excluindo 30 minutos para almoço) é

$$TWA = \frac{(2,5 \text{ hr}) (130 \text{ ppm}) + (5,5 \text{ hr}) (46 \text{ ppm})}{6} = 72 \text{ ppm}$$

Note que a análise de dados e procedimentos de decisão não são apresentados no Capítulo 4 para esta estratégia de amostragem. Eles seriam muito complexas para um manual a este nível. A abordagem preferida seria usar o Procedimento de Amostras Consecutivas de Período Completo.

APÊNDICE TÉCNICO I

GRÁFICOS DE PROBABILIDADE LOG NORMAL DE DADOS DE EXPOSIÇÃO DE MEDAÇÃO E MÉDIAS DE EXPOSIÇÃO

A utilidade e conveniência do folha de probabilidade log normal para plotar os dados de medição da exposição da higiene industrial foram discutidos anteriormente por Hounam (I-1), Gale (I-2, I-3), Coenen (I-4), Jones e Brief (I -5), e Sherwood (I-6). Este apêndice irá abordar os aspectos práticos do uso de folha de probabilidade log normal. Primeiro, o "como" utilizar esta folha será dado. Então, dois exemplos utilizando dados de medição da exposição e as médias de exposição de trabalhadores individuais em um grupo ocupacional serão mostrados.

As figuras I-1 e I-2 mostram exemplos de documentos de probabilidade log normal disponíveis comercialmente (2-ciclo e 3-ciclo, respectivamente). Geralmente, esses documentos cobrirão a faixa usual de medida de exposição. Se forem necessários ciclos adicionais, o método de "cortar e colar" para a criação de folha de 4 - ou 5-ciclos pode ser utilizado.

O primeiro passo para plotar dados é classificar os dados por aumento do valor de medição da exposição. A menor medição se torna o valor ordinal 1, e o maior valor se torna valor ordinal n onde existem n medições ou médias de exposição para serem tabulados. Os valores classificados são colocados em posições do gráfico na escala de probabilidade. Não existe nenhum acordo universal entre os estatísticos quanto à maneira correta de traçar dados da amostra em documento de probabilidade. Santner (I-7) forneceu uma tabela de posições de plotagem que tem uma ampla aceitação. A tabela de Santner é dado como Tabela I-1. A tabela abrange tamanhos de amostra de $n = 2$ a 50 e uma equação é dada para amostras maiores.

Depois que os dados foram plotados e subjetivamente aceitos como lineares, é traçada a linha de regressão de melhor ajuste. É muito importante notar que a técnica analítica comum de minimizar os desvios quadrados a partir da linha de ajuste (linha de regressão de quadrados mínimos) *não pode* ser utilizada com

documento de probabilidade log normal. Kottler (I-8) apontou as razões para isso.

Se a linha é ajustada visualmente aos pontos de dados plotados, deve-se resistir à tendência para se obter o mesmo peso de todos os pontos de dados. Os pontos de dados na região central do gráfico devem ter maior influência sobre a linha montada. Qualquer desvio na ocorrência de probabilidade de percentagem em probabilidades baixas e altas (como inferior a 5% e acima de 95%) parecerá muito exagerado na folha de probabilidade log normal, particularmente quando comparado com um desvio da mesma magnitude absoluta em percentagem na região central da folha (aproximadamente a região de probabilidade de 20% e 80%). Por exemplo, comparado com a posição do gráfico 50%, o desvio é agravado 15 vezes na posição do gráfico 99% e 28 vezes na posição 99,5%. É impossível mesmo aproximar o tamanho dos desvios por mera inspeção porque a folha de probabilidade log normal distorce. Um exemplo de uma distorção semelhante ocorre em cartografia. A projeção de Mercator da Terra em um plano tende a agravar as distâncias ao longo das linhas verticais, especialmente perto dos pólos.

A folha de probabilidade log normal só deve ser utilizado para tabular dados e fazer julgamentos preliminares sobre a adequação de um modelo log normal. Também é útil para fornecer estimativas rápidas da média geométrica (GM) e do desvio padrão geométrico (GSD) de um modelo log normal montado. Mas o documento de probabilidade log normal não pode ser usado para fazer julgamentos definitivos estatisticamente sobre a eficácia de ajuste de uma linha reta que representa o modelo log normal montado. No ajuste de uma linha reta para os pontos de dados observe o seguinte:

- desconsidere todos os dados fora dos limites de 1% e 99% de probabilidade;

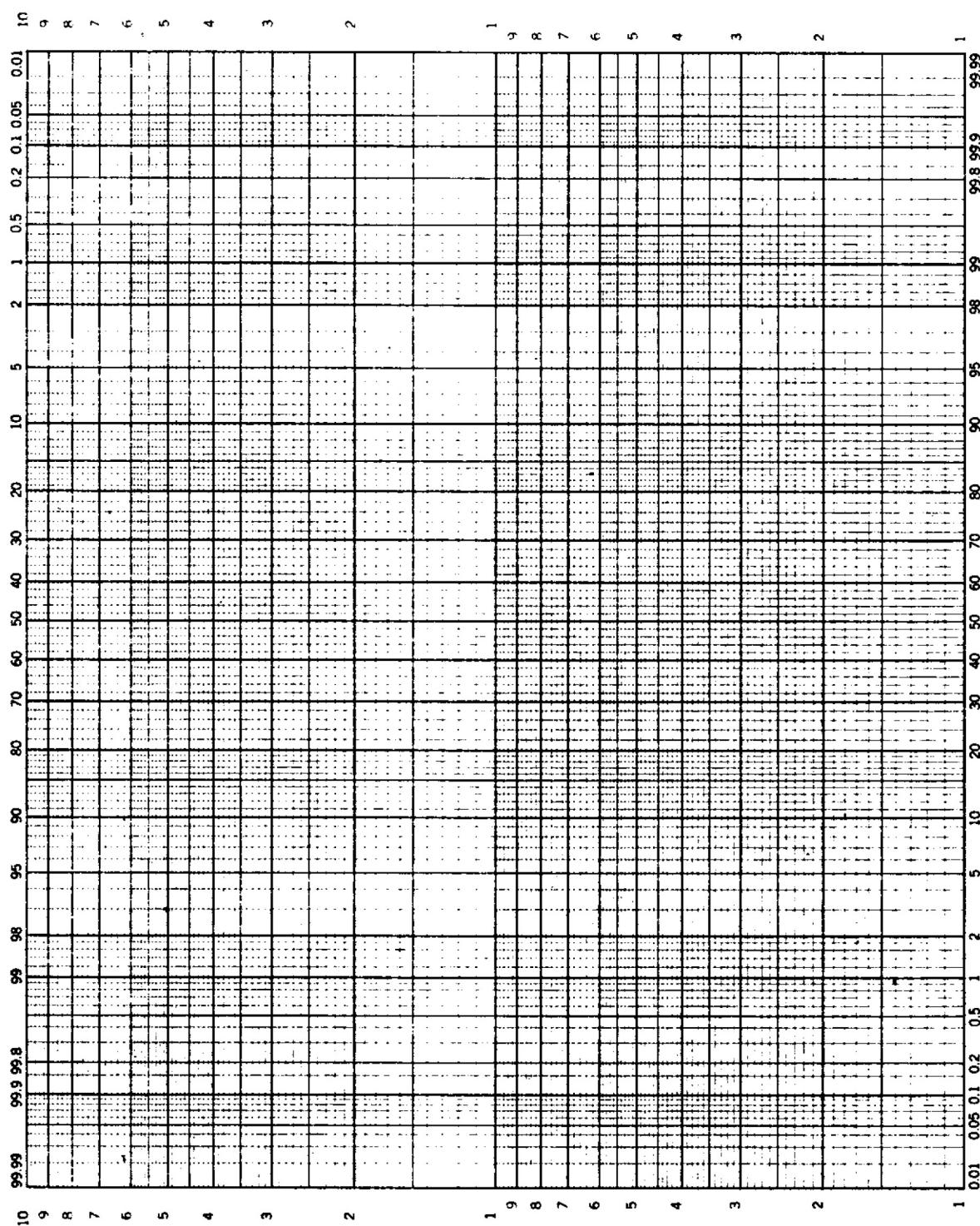


Figura I-1. Folha de probabilidade log normal - 2 ciclos.

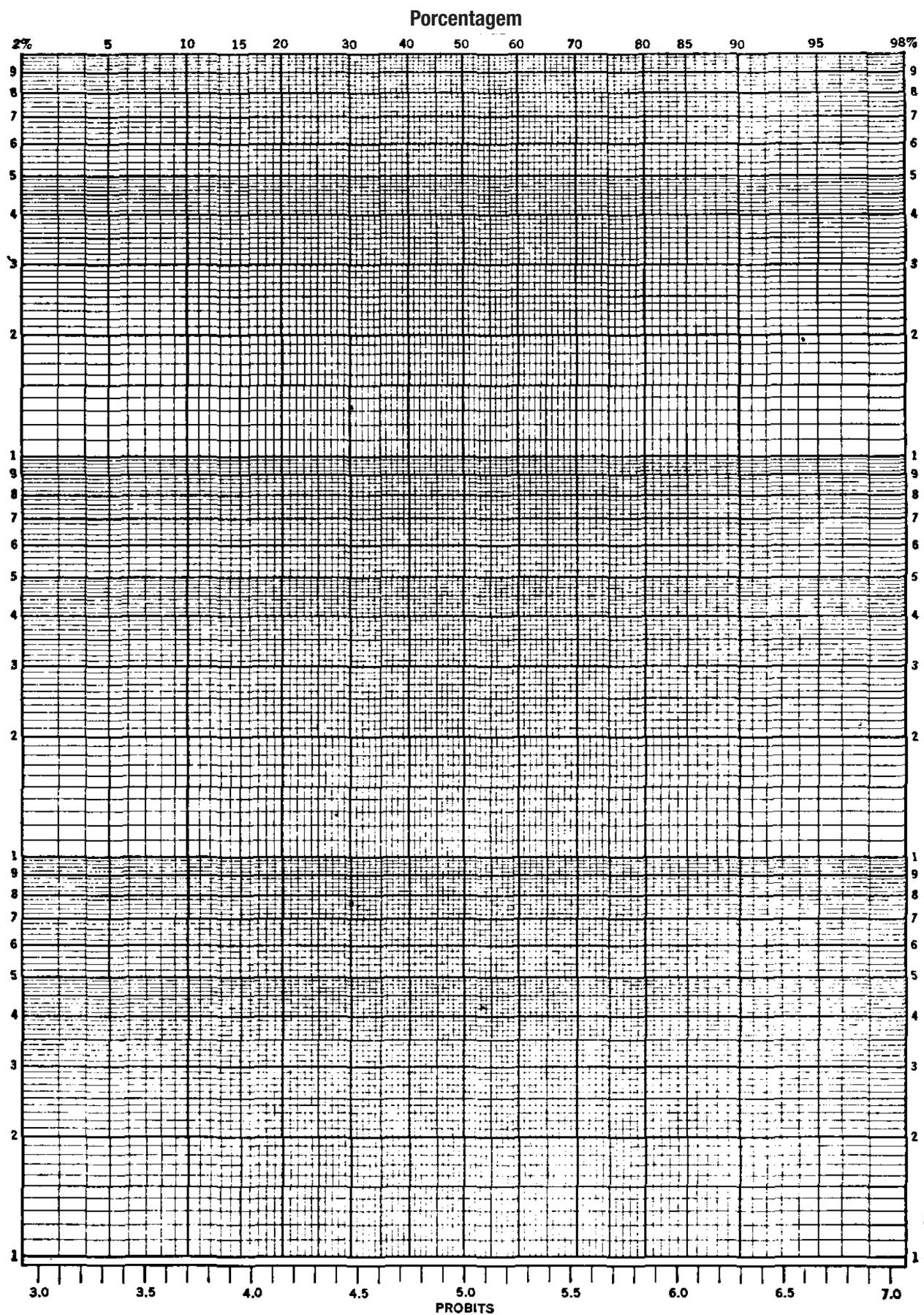


Figura I-2. Folha de probabilidade log normal - 3 ciclos.

TABELA I-1. PLOTAR POSIÇÕES PARA FOLHA DE PROBABILIDADE NORMAL

No. Ordinal	Tamanho da Amostra															No. Ordinal												
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	28.6	19.9	15.2	12.2	10.3	8.8	7.7	6.9	6.2	5.6	5.2	4.8	4.4	4.1	3.9	3.6	3.4	3.1	2.9	2.8	2.7	2.6	2.4	2.4	2.2	2.1	2.1	2.0
2	71.4	50.0	38.3	31.0	26.0	22.5	19.7	17.6	15.8	14.6	13.2	11.4	10.6	9.9	9.4	8.9	8.4	8.0	7.7	7.2	6.8	6.4	6.2	5.9	5.7	5.5	5.3	5.2
3	80.1	67.7	50.0	42.0	36.2	31.8	28.4	25.6	23.3	21.4	19.8	18.4	17.2	16.1	15.2	14.3	13.6	12.9	12.3	11.7	11.3	10.7	10.4	9.9	9.5	9.2	8.9	8.7
4	86.8	69.0	58.0	50.0	43.9	39.2	35.3	32.2	29.6	27.3	25.4	23.7	22.3	21.0	19.8	18.8	17.9	17.1	16.4	15.6	14.9	14.2	13.8	13.3	12.7	12.3	11.9	11.5
5	87.8	74.0	63.8	56.1	50.0	45.1	41.1	37.8	34.9	32.4	30.3	28.4	26.8	25.3	24.0	22.8	21.8	20.6	19.8	18.1	17.6	16.9	16.4	15.9	15.2	14.7	5	
6	89.7	77.5	68.2	60.8	54.9	50.0	45.9	42.5	39.5	36.1	34.6	32.6	30.8	29.2	27.8	26.4	25.1	24.2	23.3	22.4	21.5	20.6	19.8	19.2	18.7	17.9	6	
7	91.2	80.3	71.6	64.7	58.9	54.1	50.0	46.5	43.4	40.7	38.4	36.3	34.4	32.7	31.2	29.8	28.4	27.4	26.1	25.1	24.2	23.3	22.7	21.8	21.2	7		
8	92.3	82.4	74.4	67.8	62.2	57.5	53.3	50.0	46.9	44.2	41.8	39.6	37.6	35.9	34.6	32.6	31.6	30.2	29.1	28.1	27.1	26.1	25.1	24.6	8			
9	93.1	84.2	76.7	70.4	65.1	60.5	56.6	53.1	50.0	47.2	44.8	42.6	40.5	38.6	37.1	35.6	34.1	33.0	31.6	30.5	29.5	28.4	27.4	9				
10	93.8	85.6	78.6	72.7	67.6	63.1	59.3	55.8	52.8	50.0	47.5	45.2	43.3	41.3	39.7	38.2	36.7	35.2	34.1	33.0	31.9	30.9	10					
11	94.4	86.8	80.2	74.6	69.7	65.4	61.6	58.2	55.2	52.5	50.0	47.6	45.6	43.6	42.1	40.5	39.0	37.4	36.1	35.2	34.1	33.0	31.9	30.9	11			
12	94.8	87.8	81.6	76.3	71.6	67.4	63.7	60.4	57.4	54.8	52.4	49.8	47.4	45.0	42.6	40.0	38.6	37.1	36.7	35.7	34.7	33.7	32.7	31.7	12			
13	95.2	88.6	82.8	77.7	73.2	69.2	65.6	62.4	59.5	56.7	54.2	50.0	48.0	46.4	44.8	43.3	41.7	40.5	39.5	38.5	37.5	36.5	35.5	34.5	33.5	13		
14	95.6	89.4	83.9	79.0	74.7	70.8	67.3	64.1	61.4	58.7	56.4	54.0	52.0	50.0	48.4	46.4	45.2	43.6	42.6	41.6	40.6	39.6	38.6	37.6	36.6	14		
15	95.9	90.1	84.8	80.2	76.0	72.2	68.8	65.9	62.9	60.3	57.9	55.6	53.6	51.6	50.0	48.4	46.8	45.8	44.8	43.8	42.8	41.8	40.8	39.8	38.8	15		
16	96.1	90.6	85.7	81.2	77.2	73.6	70.2	67.4	64.4	61.8	59.5	57.5	55.2	53.2	51.6	50.0	48.4	47.4	46.4	45.4	44.4	43.4	42.4	41.4	40.4	16		
17	96.4	91.1	86.4	82.1	78.2	74.9	71.6	68.4	65.9	63.3	61.0	58.7	56.7	54.8	52.7	50.0	48.0	46.4	44.8	43.3	42.3	41.3	40.3	39.3	38.3	17		
18	96.6	91.6	87.1	82.9	79.4	75.8	72.6	69.8	67.0	64.8	62.6	60.3	58.3	56.4	54.8	52.0	50.0	48.4	46.4	44.8	43.8	42.8	41.8	40.8	39.8	18		
19	96.7	92.0	87.7	83.7	79.2	76.7	73.9	70.9	68.4	65.9	63.7	61.4	59.5	57.9	55.6	53.6	51.6	50.0	48.4	46.4	44.4	43.4	42.4	41.4	40.4	19		
20	96.9	92.3	88.3	84.4	81.1	77.6	74.9	71.9	69.5	67.0	64.8	62.9	60.8	58.8	56.8	54.8	52.8	50.8	48.8	46.8	44.8	42.8	41.8	40.8	39.8	38.8	20	
21	97.1	92.8	88.7	85.1	81.9	78.5	75.8	72.9	70.5	68.1	65.9	63.7	61.6	59.5	57.4	55.3	53.2	51.1	49.1	47.1	45.1	43.1	41.1	39.1	37.1	35.1	21	
22	97.2	93.2	89.3	85.8	82.1	78.2	74.9	71.6	68.4	65.9	63.7	61.0	58.7	56.7	54.8	52.7	50.0	48.0	46.4	44.8	43.3	42.3	41.3	40.3	39.3	38.3	22	
23	97.3	93.3	89.6	85.1	82.2	79.4	75.8	72.6	69.8	67.0	64.8	62.6	60.3	58.3	56.4	54.8	52.7	50.0	48.0	46.4	44.8	43.3	42.3	41.3	40.3	23		
24	97.4	93.6	90.1	86.7	83.1	79.7	76.7	73.9	70.9	68.4	65.9	63.7	61.4	59.5	57.9	55.6	53.4	51.1	49.1	47.1	45.1	43.1	41.1	39.1	37.1	35.1	24	
25	97.6	93.8	90.5	87.3	84.1	81.1	77.6	74.9	71.9	69.5	67.0	64.8	62.9	60.8	58.8	56.8	54.8	52.7	50.0	48.0	46.4	44.8	43.3	42.3	41.3	40.3	25	
26	97.6	94.1	90.8	87.7	84.6	81.9	78.5	75.8	72.9	70.5	68.1	65.9	63.7	61.6	59.5	57.4	55.3	53.2	51.1	49.1	47.1	45.1	43.1	41.1	39.1	37.1	26	
27	97.7	94.3	91.1	88.1	84.9	82.1	78.7	76.7	73.9	71.6	69.4	67.2	65.0	62.8	60.6	58.4	56.3	54.2	52.1	50.0	48.0	46.4	44.8	43.3	42.3	41.3	40.3	27
28	97.8	94.5	91.3	88.7	85.5	82.3	79.1	77.3	74.9	72.6	70.4	68.2	66.0	63.8	61.6	59.4	57.3	55.2	53.1	51.0	48.9	47.8	45.7	43.6	41.5	39.4	37.3	28
29	97.9	94.7	91.6	89.6	86.4	83.2	79.9	77.7	75.4	73.1	70.9	68.7	66.5	64.3	62.1	60.0	57.9	55.8	53.7	51.6	49.5	48.4	46.3	44.2	42.1	40.0	37.9	29
30	97.9	94.8	91.8	89.8	86.6	83.4	79.1	77.9	75.6	73.3	71.1	68.9	66.7	64.5	62.3	60.2	58.1	56.0	53.9	51.8	49.7	48.6	46.5	44.4	42.3	40.2	38.1	30
31	98.0	94.0	92.0	89.9	86.8	83.6	79.3	78.1	75.8	73.5	71.3	69.1	66.9	64.7	62.5	60.4	58.3	56.2	54.1	52.0	49.9	48.8	46.7	44.6	42.5	40.4	38.3	31

Referência

- (1) *Statistical Table for Biological Agricultural and Medical Research*, Fisher e Yates, Hafner Pub. Co., '63, Table XX, 94-95
- (2) *Tables of Normal Probability Functions*, Escritório de Impressão do Governo dos EU, '53, Table I, 2-338
- (3) Pearson, E. e Hartley, II., *Biomatrika Tables for Statistician Volume I*, Cambridge University Press, '54, Table 28, 175, table 1, 104-110
- (4) Karter, H. Leon, *Expected Values of Normal Order Statistics*, ARL Technical Report 60-292, Wright-Patterson Air Force Base, Julho 160

TABELA I-1. PLOTAR POSIÇÕES PARA FOLHA DE PROBABILIDADE NORMAL

No. Ordinal	Tamanho de Amostra										No. Ordinal
	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	
1.92	1.88	1.83	1.74	1.70	1.66	1.62	1.58	1.54	1.50	1.46	1.43
2.4.9	4.6	4.6	4.5	4.3	4.2	4.1	4.0	3.9	3.8	3.7	3.6
3.8.1	7.6	7.4	7.2	6.9	6.9	6.7	6.4	6.3	6.2	6.1	5.8
4.11.1	10.6	10.2	10.0	9.7	9.4	9.0	8.7	8.5	8.4	8.1	7.9
5.14.2	13.3	13.1	12.7	12.3	12.1	11.7	11.5	11.0	10.9	10.6	10.4
6.17.4	16.9	15.9	15.4	15.2	14.7	14.2	14.0	13.6	13.3	12.9	12.7
7.20.6	19.8	18.7	18.1	17.9	17.4	16.9	16.4	16.1	15.6	15.4	14.9
8.23.6	22.4	21.5	20.9	20.3	19.8	19.5	18.9	18.4	18.1	17.6	17.1
9.26.8	25.8	25.1	24.5	23.6	23.3	22.7	22.1	21.5	20.9	20.3	19.5
10.29.8	28.8	28.1	27.4	26.4	25.8	25.1	24.5	23.9	23.3	22.7	22.4
11.33.0	31.9	30.9	30.2	29.5	28.4	27.8	27.1	26.4	25.8	25.1	24.5
12.35.9	34.8	34.1	33.0	31.9	31.2	30.5	29.8	29.1	28.4	27.7	27.4
13.39.0	37.8	36.7	35.9	34.8	33.7	33.0	32.3	31.2	30.5	29.8	29.5
14.42.1	40.9	39.7	38.6	37.4	36.7	35.6	34.8	33.7	33.0	32.3	31.6
15.45.2	44.0	42.9	41.3	40.5	39.4	38.2	37.1	36.3	35.6	34.5	33.7
16.48.4	46.8	45.6	44.4	43.3	42.1	40.9	39.7	39.0	37.8	37.1	35.9
17.51.6	50.0	48.4	47.2	46.0	44.4	43.6	42.5	41.3	40.1	39.4	38.6
18.54.8	53.2	51.6	50.0	48.8	47.2	46.0	44.8	43.6	42.6	41.7	40.7
19.57.9	56.0	54.4	52.8	51.2	50.0	48.8	47.6	46.4	45.2	44.4	43.3
20.61.0	59.1	57.1	55.6	54.0	52.8	51.2	50.0	48.8	47.6	46.4	45.2
21.64.1	62.2	60.3	58.7	56.7	55.6	54.0	52.4	51.2	50.0	48.8	47.6
22.67.0	63.2	63.3	61.4	59.5	57.9	56.4	55.2	53.6	52.4	51.2	49.9
23.70.2	68.1	65.9	64.1	62.6	60.6	59.1	57.5	56.4	54.8	53.6	52.4
24.73.2	71.2	69.1	67.0	65.2	63.3	61.8	60.3	58.7	57.1	56.0	54.8
25.76.4	74.2	71.9	69.8	68.1	66.3	64.4	62.9	61.0	59.9	58.3	56.7
26.79.4	77.0	74.9	72.6	70.5	68.8	67.0	65.2	63.7	62.2	60.6	59.1
27.82.6	80.2	77.6	75.5	73.6	71.6	69.5	67.7	66.3	64.4	61.4	59.3
28.85.8	83.1	80.8	78.5	76.4	74.2	72.2	70.5	68.8	66.0	62.6	59.5
29.88.9	86.2	83.6	81.3	79.1	76.7	74.9	72.1	69.5	67.7	66.3	63.3
30.91.9	89.1	86.7	84.1	81.9	79.7	77.3	75.5	73.6	71.9	70.2	68.4
31.95.1	92.2	89.4	86.9	84.6	82.1	80.2	77.9	76.1	74.2	72.6	70.9
32.98.0	95.2	92.4	89.8	87.1	84.9	82.6	79.5	76.7	73.2	70.9	67.0
33.98.12	95.4	92.6	90.0	87.7	85.3	81.1	79.1	74.9	73.5	70.5	67.5
34.98.17	95.4	92.8	90.3	87.9	85.8	83.6	81.6	79.7	77.6	74.2	71.2
35.98.26	95.5	93.1	90.6	88.3	86.0	83.9	81.9	80.0	78.2	76.4	74.9
36.98.30	95.7	93.2	90.8	86.5	84.6	82.1	80.2	77.9	76.1	73.2	70.9
37.98.34	95.8	93.3	91.0	88.9	86.7	84.6	82.9	81.1	79.1	76.3	73.6
38.98.38	95.9	93.6	91.3	89.1	87.1	85.1	83.1	81.3	79.7	77.9	75.9
39.98.42	96.0	93.7	91.5	89.4	87.3	85.3	83.3	81.5	79.7	77.9	75.9
40.98.46	96.4	93.6	91.8	89.6	87.6	85.6	83.6	81.6	79.7	77.9	75.9
41.98.50	96.2	93.9	91.9	89.9	87.4	85.5	83.5	81.5	79.8	77.2	75.3
42.98.54	95.8	93.3	91.0	88.9	86.7	84.6	82.9	81.1	79.1	77.6	75.9
43.98.57	96.4	94.4	94.2	92.1	90.0	88.1	86.1	84.1	82.1	80.5	78.8
44.98.61	96.5	94.4	94.2	92.2	90.3	88.3	86.3	84.3	82.1	80.5	78.8
45.98.64	96.6	94.5	94.5	92.4	90.5	88.7	86.7	84.4	82.1	80.5	78.8

Número ordinal

Número ordinal

Amostra

Amostra

0,98 = $\frac{100(1 - 0,5)}{51}$

2,94 = $\frac{100(2 - 0,5)}{51}$

99,02 = $\frac{100(51 - 0,5)}{51}$

100 (número ordinal - 0,5)

para tamanhos de amostras maiores que 50 a posição no gráfico é estimada como:

100 (número ordinal - 0,5)

EXEMPLO:

Tamanho de

Amostra

1 = $\frac{100}{51}$

2 = $\frac{100}{51}$

99,02 = $\frac{100(51 - 0,5)}{51}$

- dos dados restantes, dê preferência aos mais próximos da posição do centro 50%, isto é, na região de 20% a 80%.

Santner (1-7) forneceu diretrizes (Figura 1-3) para auxiliar na interpretação dos dados plotados em folha de probabilidade log normal. Outros modelos para linearização de plotagem de dados são considerados e folha de plotagem adequada é sugerida.

Uma referência útil que lida com plotagem em folha de probabilidade é Hahn e Shapiro (1-9). Em seu capítulo 8, "Plotagem de Probabilidade e Testes de Hipóteses Distributivas", muitos gráficos de probabilidade são fornecidos. Eles incluem gráficos comparando os desvios típicos da linearidade em folha de probabilidade normal, utilizando $n = 20$ e $n = 50$ amostras de duas distribuições diferentes desvios da normalidade. Para amostras de uma distribuição normal (especialmente $n = 20$ amostras), os gráficos podem mostrar considerável desvio da linearidade devido a variações aleatórias.

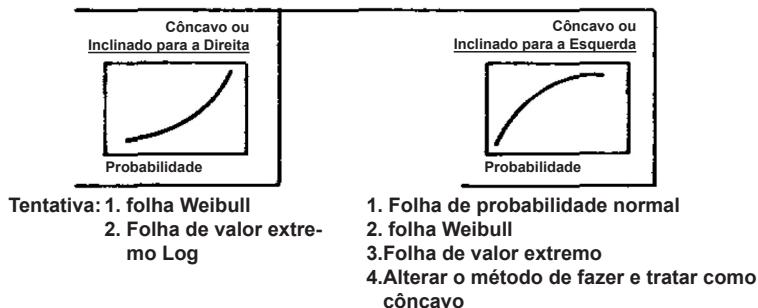
Daniel e Wood (1-10) também mostram desvios comuns da linearidade devido a variações de amostras

aleatórias. Em seu Anexo 3A gráficos de distribuição de probabilidade de desvios normais aleatórias com tamanhos de amostra $n = 8, 16, 32, 64$ e 384 são dados. Eles observam que as amostras de 8 nos dizem quase nada sobre a normalidade. Conjuntos de 16 de uma distribuição normal real ainda podem mostrar grandes desvios da linearidade. Conjuntos de 32 e 64 comportam-se muito melhor, mas podem ainda sair da linha reta correlata nas caudas da distribuição (inferior a 10% e superior a 90% de probabilidade).

Uma vez que a linha de correlação foi elaborada através dos pontos de dados, utilizando as orientações acima, os dois parâmetros da distribuição podem ser estimados. A distribuição log normal real é completamente determinada pelo GM e a DPG. O valor de GM é o valor de probabilidade de 50% e pode ser lido diretamente do gráfico em que a linha correlata cruza a linha de probabilidade de 50%. O DPG é uma medida da variação ou dispersão dos dados. Ela pode ser calculada a partir da razão

$$DPG = \frac{84\% \text{ valor}}{50\% \text{ valor}} = \frac{50\% \text{ valor}}{16\% \text{ valor}}$$

RESULTADOS



ALGUNS RESULTADOS

INTERPRETAÇÕES POSSÍVEIS					
1. Distribuição finita 2. Mistura de duas distribuições 3. Distribuição truncada em ambas as extremidades 4. Datas classificadas erradamente em ambas as extremidades	Valores atípicos presentes em ambas as extremidades	Valores atípicos à direita e na distribuição	Valores atípicos à esquerda e na distribuição Distribuição normal possível	Distribuição truncada à direita Dados classificados erradamente à direita Distribuição normal possível	Distribuição truncada à esquerda Dados classificados erradamente à esquerda

Figura 1-3 Interpretação dos dados plotados em folha de probabilidade log normal. (Adaptado de Santner [1-7].)

Finalmente, existe o problema de como tratar os valores de dados "zero". No trabalho de higiene industrial, os valores "zero" são valores geralmente indetectáveis. Se ocorrer um grande número destes, outro tipo de análise dos dados pode ser necessária. Berry e Day (1-11) têm discutido a utilização de distribuição gama. Antes que os dados sejam manipulados, considerar duas outras possibilidades. Primeiro, se os dados de medição de exposição para um empregado em um turno estiverem sendo analisados, procure um grupo ou série de valores "zero" (indetectáveis) durante uma parte do turno. O empregado pode ter mudado de operação ou saído da área de exposição. Estes valores baixos são então de uma outra distribuição e não devem ser incluídos na análise de medição de exposição dos valores significativos. Esta eliminação dos dados deve ser feita com muito cuidado e conhecimento dos movimentos do empregado. Segundo, os baixos valores podem ocorrer em uma série de médias de exposição para os funcionários em um grupo ocupacional de risco de exposição similar. Muitas vezes, os grupos de risco de exposição semelhantes são criados para fins de pesquisa, utilizando apenas o título do trabalho do empregado. Os funcionários podem ser classificado incorretamente por este procedimento. Deve-se ter o conhecimento real da situação de risco de exposição do empregado antes de incluir o empregado na análise dos dados do grupo.

Níveis indetectáveis ocorrem, no entanto, não há uma única maneira aceitável para lidar com eles. Um método consiste em obter a "quantidade menos detectável" de contaminante para o método analítico de laboratório analítico e usar este valor para determinar a concentração detectável na quantidade de ar da bomba de amostragem. O valor mínimo de concentração detectável é em seguida substituído por todos os valores de "zero". Outro método é o de eliminar os zeros pela adição de uma pequena constante arbitrária para todos os valores de dados, antes de serem plotados. Infelizmente, isso às vezes deve ser feito por tentativa e erro. Hald (1-12) discute adições aos dados que ajudam nesta transformação. Tenha em mente que a constante escolhida deve ser pequena, se o parâmetro de localização da distribuição não deve ser afetado. Comece com uma constante que é de cerca de 5% da média geométrica dos dados.

Exemplo - A exposição de Medição de Dados:

Fluoreto de hidrogênio (HF), as concentrações foram amostradas com um amostrador sequencial num local fixo (perto do painel de controle) em um prédio de produção de HF. Os seguintes resultados foram relatados:

Horário de Início	ppm	Dados coletados		Dados classificados
		Dados classifica-	Posição da marca	dos
1525	0,91			0,11 5,2 %
1625	1,3			0,11 13,2
1725	10,0			0,12 21,4
1825	0,8			0,14 29,6
1925	2,6			0,14 37,8
2025	0,12			0,21 45,9
2125	0,14			0,33 54,1
2225	0,11			0,8 62,2
2325	0,14			0,91 70,4
0025	0,11			1,3 78,6
0125	0,33			2,6 86,8
0225	0,21			10,0 94,8

As posições de plotagem para os valores $n = 12$ foram obtidos a partir da Tabela 1-1. Os resultados representados graficamente são mostrados na Figura 1-4. Os dados parecem demonstrar uma falta de log normalidade na extremidade esquerda. Tal distribuição resultaria se houvesse variações aleatórias log normais aditivas além de um nível de base fixo. Os dados pode ser linearizada, indo para um modelo log normal de 3 parâmetros onde uma constante é subtraída de cada valor de concentração antes de plotagem. Uma constante apropriada pode ser estimada a partir da plotagem inicial, observando a concentração a abordagem de dados assintoticamente. No caso da Figura 1-4, os dados parecem convergir para um valor de cerca de 0,1 ppm. Assim, a 0,1 ppm foi subtraído de cada concentração antes de ser novamente plotado na Figura 1-4. A média geométrica resultante é lida como 0,16, o que corresponde a uma concentração de $(0.16 \times 0 + 0,1)$ ou 0,26 ppm. O DPG da variável transformada (concentração 01,1) é calculada como

$$DPG = \frac{84\% \text{ valor}}{50\% \text{ valor}} = \frac{2,05 \text{ ppm}}{0,16 \text{ ppm}} = 12.8.$$

Por cálculo direto (ver seção 4.2.3), a média de log, 0 (concentração -0,10) é -0,739 e a concentração correspondente é 0,28. O DPG calculado da (concentração -0,10) é 9,8. Assim, as determinações gráficas são próximas dos valores calculados. Embora estes últimos sejam os preferidos por objetividade e precisão, as estimativas gráficas seriam boas o suficiente para a maioria dos propósitos práticos. A distribuição correspondente para o GM e o DPG calculados da (concentração -0,10) é mostrado como uma linha pontilhada na Figura I-4.

Exemplo - Médias de exposição de trabalhadores individuais em um grupo de exposição ocupacional:

As seguintes médias de exposição foram obtidas para 24 empregados na categoria de trabalho "mix men" em uma instalação usando metacrilato de metila (MMA) em ppm:

26, 53, 8.8, 37, 19, 31, 45, 56, 15,
49, 16, 44, 96, 39, 63, 90, 23, 16,
31, 24, 30, 24, 116, 49

Os dados plotados são mostrados na Figura 1-5. Segundo os procedimentos anteriores, o GM é 34 ppm e o DPG é

$$DPG = \frac{65 \text{ ppm}}{34 \text{ ppm}} = 1.9.$$

Para este conjunto de dados, os valores calculados eram quase iguais aos valores dos gráficos: $GM=34.5$ ppm e $DPG = 1.89$.

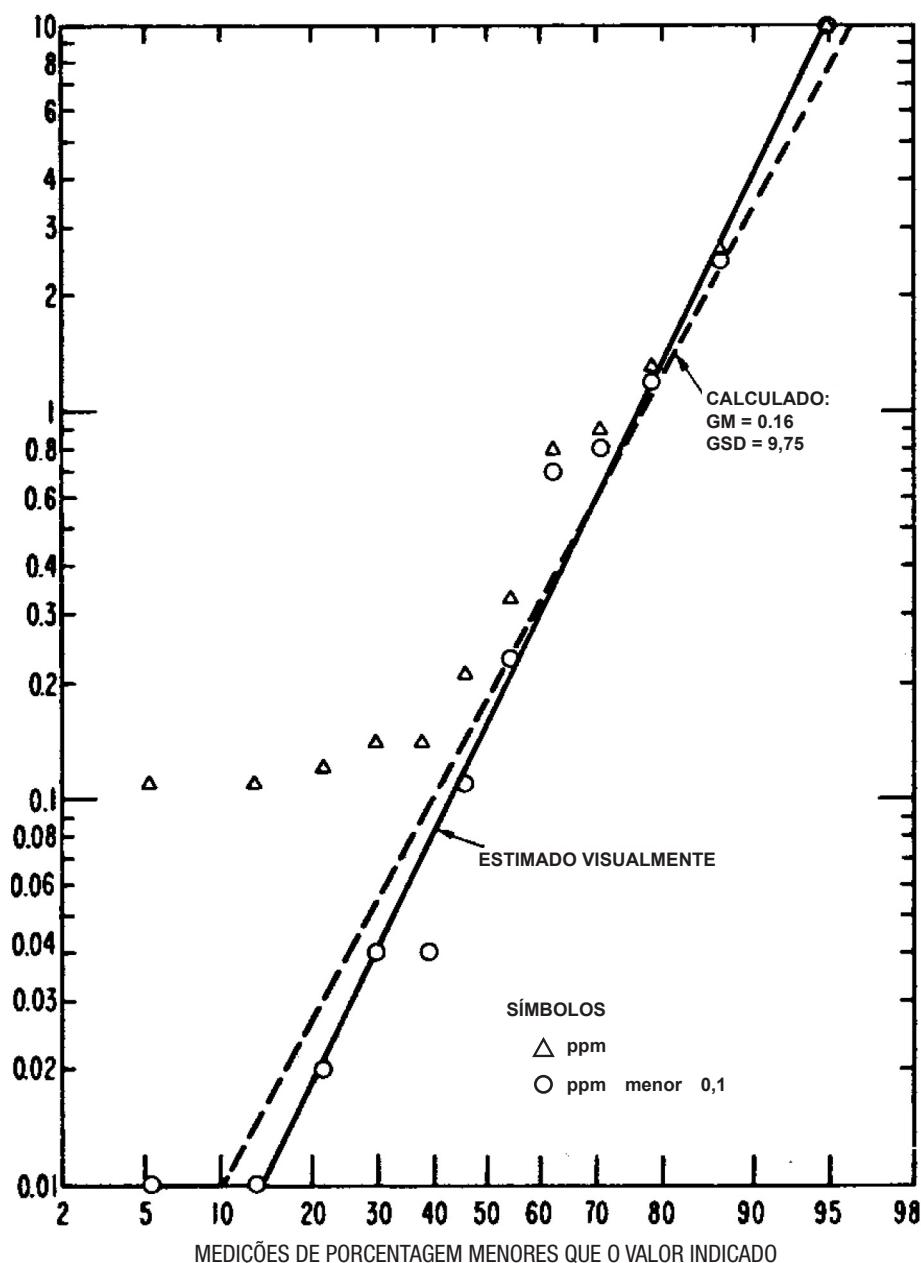


Figura I-4. Distribuição de medição de fluoreto de hidrogênio.

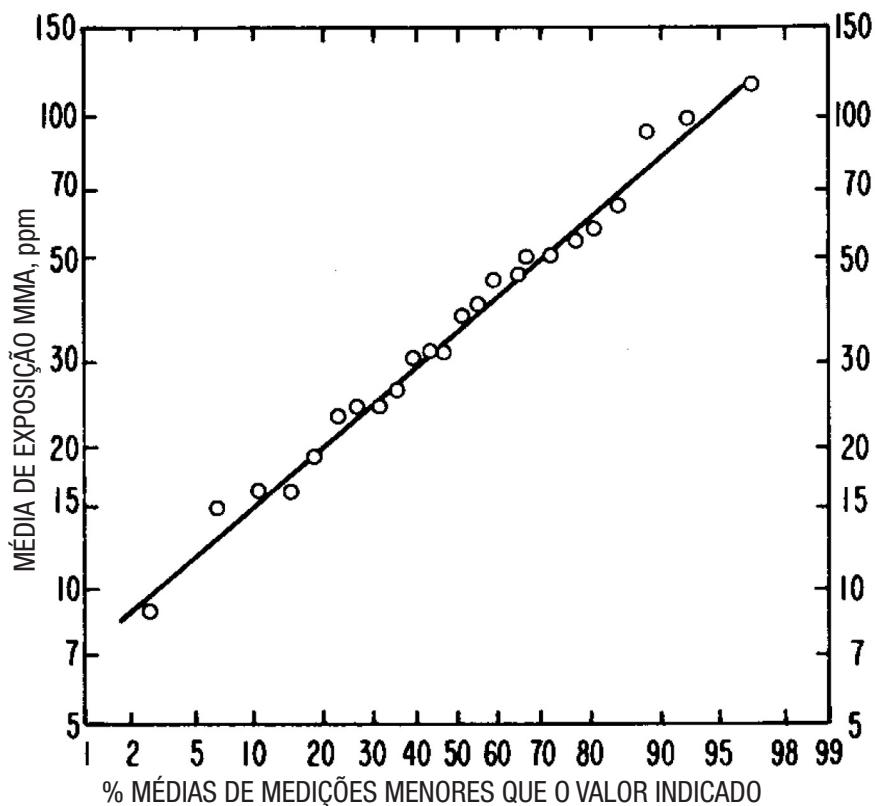


Figura 1-5 Distribuição da média de exposição MMA na classificação mix men.

REFERÊNCIAS

- 1-1. Hounam, R. F. *An Application of the LogNormal Distribution to Some Air Sampling Results and Recommendations on the Interpretation of Air Sampling Data*. Atomic Energy Research Establishment Report AERE-M 1469, Her Majesty's Stationery Office, Londres, 1965.
- 1-2. Gale, H. J.: *The Lognormal Distribution and Some Examples of Its Application the Field of Radiation Protection*. Atomic Energy Research Establishment Report AERE-R 4736, Her Majesty's Stationery Office, Londres, Inglaterra, 1965.
- 1-3. Gale, H. J.: *Some Examples of the Application of the Lognormal Distribution Radiation Protection*. Annals of Occupational Hygiene, 10:39-45, 1967.
- 1-4. Coenen, W.: The Confidence Limits for the Mean Values of Dust Concentration. *Staub* (Tradução em Inglês), 26: 39-45, Maio de 1966.
- 1-5. Jones, A. R., e R. D. Brief: Evaluating Benzene Exposures. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 32: 610-613, 1971..
- 1-6. Sherwood, R. J.: The Monitoring of Benzene Exposure by Air Sampling. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 32: 840-846. 1971
- 1-7. Santner, J. F.: *An Introduction to Normal Probability Paper*. Environmental Control Administration Course Manual, USPHS, DREW, Cincinnati, Ohio (inédito).
- 1-8. Kottler, F.: *The Distribution of Particle Sizes; Part II, The Probability Graphs*. Journal of the Franklin Institute, 250: 419-441, Novembro de 1950.
- 1-9. Hahn, G. J., and S. S. Shapiro: *Statistical Models in Engineering*. John Wiley e Filhos, Inc., Nova Iorque, 1967.
- 1-10. Daniel, C., e F. S. Wood: *Fitting Equations to Data*. Wiley-Interscience, Nova Iorque., 1971.
- 1-11. Berry, G., e N. E. Day: *The Statistical Analysis of the Results of Sampling an Environment for a Contaminant When Most Samples Contain an Undetectable Level*. American Journal of Epidemiology, 97 (3): 160-166, 1973.
- 1-12. Hald, A. *Statistical Theory with Engineering Applications*. John Wiley e Filhos, Inc., Nova Iorque, pp. 174-187, 1952.

APÊNDICE TÉCNICO J

LIMITES DE CONFIANÇA E NÍVEIS DE CONFIANÇA E COMO AFETAM O RISCO DO EMPREGADO E DO EMPREGADOR

Na seção 1.5, afirmou-se que, devido ao efeito dos erros de medições aleatórias, qualquer média de exposição para um empregado calculada a partir de medidas de exposição é apenas uma estimativa da média real de exposição. Os procedimentos do Capítulo 4 levam em conta as diferenças aleatórias entre a média da exposição aferida e a média da exposição real. Pode-se fazer declarações de decisão quanto ao valor da média relativa da exposição real para um padrão de saúde ocupacional. Tais declarações de decisão têm a elas associadas um nível de risco pré-determinado ou nível de confiança. Este Apêndice vai discutir o efeito da escolha de diferentes níveis de riscos, em probabilidades de se declarar conformidade ou não-conformidade. Os conceitos de limites dos intervalos de confiança, testagem de hipóteses, erros tipo I e tipo II e função potência serão discutidos primeiro, para construir um contexto para comparação dos níveis de risco.

LIMITES DO INTERVALO DE CONFIANÇA

Os procedimentos do Capítulo 4, especialmente as seções 4.2.1 e 4.2.2, são testagem de hipóteses na estrutura dos limites de confiança. A Seção 4.1 discutiu a relação do limite de confiança inferior (LCI) e superior (LCS), unilaterais, para as declarações de decisão em exposição em conformidade, possível superexposição e exposição em não-conformidade. É útil explorar aqui o propósito e a vantagem dos limites de intervalo de confiança ao tomar decisões relativas à média da exposição real.

Supondo que um empregado tenha uma média de exposição real de 80 ppm, em determinado dia. Um procedimento de amostragem e análise que tem um coeficiente total de variação (CV_T) de 10% foi utilizado para medir a TWA da exposição de 8 horas, com uma medição de amostra simples em período completo de 8 horas. Se fosse possível obter muitas amostras simultâneas de 8 horas, no mesmo dia, para o mesmo empregado, os resultados da amostra seriam distribuídos como mostra a Figura J-1. É claro que geralmente se retira uma única medição em um dia,

para estimar a média da exposição do empregado. Gostaríamos de fazer uma declaração quantitativa quanto ao valor da média real desconhecida, com base na única medição real.

A distribuição de amostragem da Figura J-1 mostra a frequência relativa dos muitos valores possíveis que poderíamos encontrar com uma única medição. Vários pontos são dignos de nota. Quase 68% dos possíveis valores de amostra se encontram dentro da região centrada perto da exposição média real, de 772 ppm ($\mu - \sigma$) a 88 ppm ($\mu + \sigma$). Assim, há 68% de probabilidade de a nossa amostra única estar com 10% (± 8 ppm ou $\pm \sigma$) da exposição real média. Porém, em quase um terço do tempo, ela poderia estar, por acaso, fora dessa estreita região central. Uma região maior, entre 64,3 ppm ($\mu - 1.96\sigma$) e 95,7 ppm ($\mu + 1.96\sigma$) contém 95% de todos os valores possíveis de medição. Conforme observado no Apêndice D, dir-se-ia que esse método de amostragem e análise teve um nível de confiança de 95% com acurácia de aproximadamente 20% ($1.96 \times CV_T$), à medida que as medições únicas de 8 horas recairiam em $\pm 20\%$ da exposição real média, 95% do tempo.

A exposição real é sempre desconhecida. Mas conhecemos os métodos de amostragem/análise do CV_T , o tamanho amostram (um, neste exemplo), e normalmente supomos erros normalmente distribuídos (como mostra a Figura J-1). A partir dessas informações, podemos calcular os limites de confiança, que limitaram um intervalo bilateral em torno da exposição medida, e que provavelmente irão conter a média real. A alta *probabilidade* de que o intervalo calculado irá conter a média real de exposição é chamada "nível de confiança". Natrella (J-1) tem várias ilustrações (Figuras 1-8 a 1-10 de Natrella) que demonstram esse tópico. Em geral, escolhemos o nível de confiança 95% (isto é, coeficiente de confiança de 0,95) no cálculo de limites. A palavra *probabilidade*, utilizada aqui em conexão com o nível de confiança, refere-se à frequência relativa (proporção de casos) de limites de confiança que conteriam, de fato, o valor real declarado. Por extensão, espera-se que

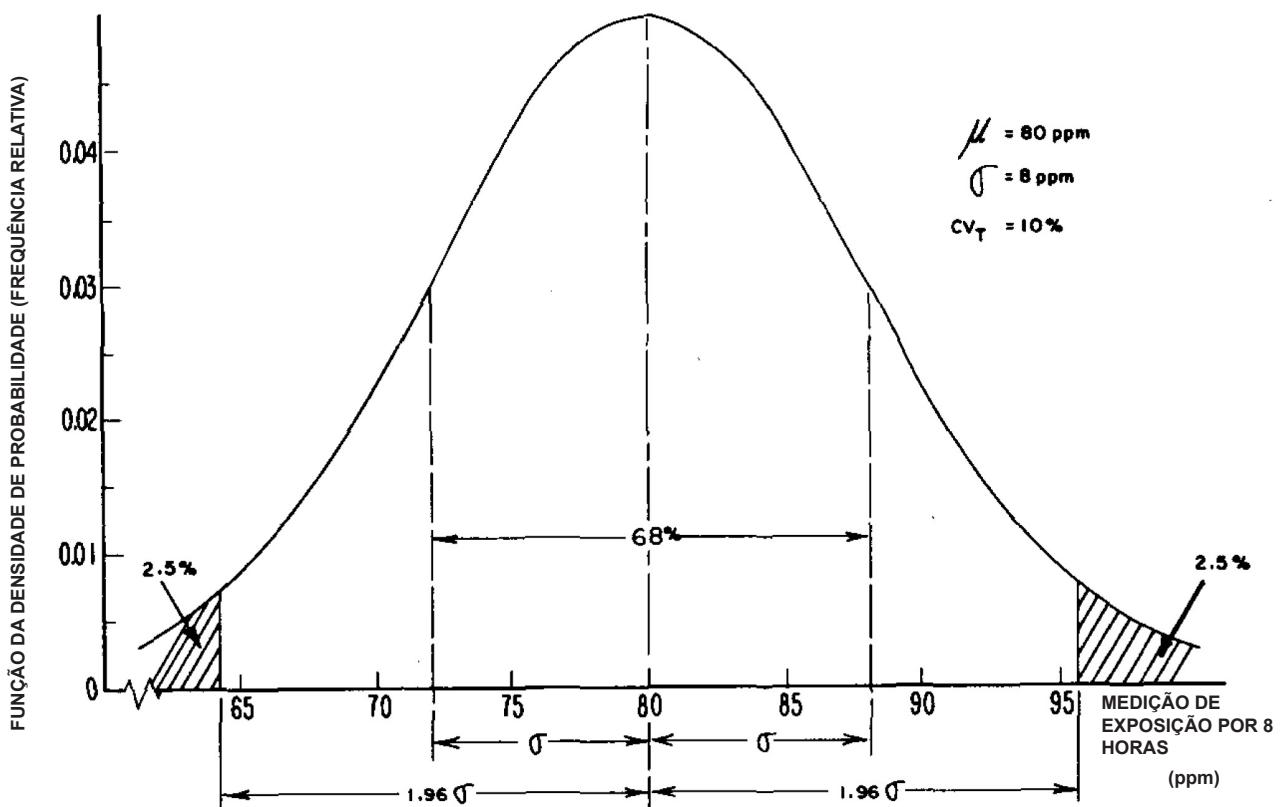


Figura J-1. Distribuição amostral prevista de amostras únicas simultâneas, de 8 horas, coletadas de um empregado com média de exposição real (μ) de 80 ppm. Amostras obtidas por meio de um método de amostragem/análise com $CV_T=0,10$ (acurácia de aproximadamente $\pm 20\%$ em nível de confiança de 95%)

95% dos intervalos de confiança calculados pelo procedimento estatístico apropriado em um nível de confiança de 95% contenham as respectivas médias de exposição real. Portanto, uma vez que fizemos somente uma medição de uma dada exposição de empregado, há 5% de risco (isto é, probabilidade) de os limites de confiança de 95% calculados e bilaterais não abrangerem a média real da ocasião. Às vezes, estamos interessados apenas no limite superior que possui uma alta probabilidade de ultrapassar a média real, ou em um limite inferior que

Às vezes, estamos interessados apenas no limite superior que possui uma alta probabilidade de ultrapassar a média real, ou em um limite inferior que tem alta probabilidade de estar abaixo da média real. Como exemplo de uma fronteira superior, podemos querer garantir que a média real está abaixo de um valor limite (TLV) ou de um padrão da Occupational Safety and Health Administration (OSHA), para além da probabilidade de 1 em 20. Para passar no teste, o LCS dos 95% unilaterais deve ser menor que o padrão. Esse conceito é explorado na seção 4.1.

Para resumir o conceito de limites de confiança, vemos que não temos que nos contentar apenas com a informação de que a exposição média verdadeira tem um valor em algum lugar perto da média aferida. Fazemos uso da distribuição de amostragem (com

base na acurácia conhecida do método de amostragem/ análise) para construir tanto um intervalo de confiança bilateral em torno da média aferida, quanto um intervalo de confiança unilateral (isto é, do limite inferior ou superior), em um lado da média aferida. Podemos afirmar então (em um nível de confiança desejado) que o intervalo bilateral (ou o unilateral) contém a média real. A chance de que possamos ser azarados o suficiente para obter uma medição tão longe da média significa que o intervalo de confiança não contém a média real e corresponde ao nível de risco da declaração do intervalo de confiança.

O termo *nível de risco* é utilizado aqui para se referir ao complemento do nível de confiança; por exemplo, um intervalo de confiança de 95% teria um nível de risco de 5% ($100\% - 95\% = 5\%$ probabilidade de não incluir a exposição média real).

TESTES DE SIGNIFICÂNCIA OU TESTAGEM DE HIPÓTESES

Os testes de decisão do Capítulo 4, baseados em intervalos de confiança, são algebricamente equivalentes aos testes estatísticos de significância. É válido discutir os conceitos e a terminologia de significância e testagem de hipóteses, e compará-los com decisões baseadas em intervalos de confiança.

O higienista industrial está interessado em testar

uma hipótese relacionada com o valor da média da exposição real quanto a um TVL ou padrão. Nesse contexto, uma hipótese é uma suposição sobre o estado da média de exposição real μ . Os testes estatísticos de significância envolvem duas hipóteses. Antes da medição de exposição ser realizada, é feita uma suposição provisória sobre o valor da média da exposição total em relação ao padrão. Essa suposição provisória é aceita a menos que se *comprove que está errada*, pelo teste estatístico. Com a expressão *comprovar que está errado*, queremos dizer que as medições de amostragem efetivamente obtidas teriam baixa probabilidade (isto é, menos que 0,05) de ocorrerem antes de as amostras serem coletadas, se a suposição provisória fosse verdadeira. Essa hipótese provisória negativa é chamada *hipótese nula*. De forma correspondente, uma suposição alternativa, denominada *hipótese alternativa*, é feita. A hipótese alternativa deve ser aceita sempre que a hipótese nula for rejeitada. Tais hipóteses são baseadas na filosofia da higiene industrial. As filosofias de um empregador e de um funcionário público responsável pelo cumprimento seria diferente e os pontos de vista adequados são discutidos abaixo.

HIPÓTESES PARA O EMPREGADOR

Cada empregador é obrigado a fornecer a cada um de seus empregados um local de trabalho livre de perigos reconhecidos que provavelmente causariam a morte ou lesões graves. Para tanto, o empregador deve manter as exposições reais dos empregados em níveis abaixo dos TLVs ou padrões apropriados. Assim, o empregador deve tomar decisões sobre suas medições de exposição, de tal forma que esteja confiante de que não há nenhum empregado cuja exposição média ultrapasse os padrões de exposição média e nenhum empregado estará, em momento algum, exposto a níveis acima dos limites máximos padrão. Em termos da Estatística, o empregador deve formular a hipótese nula de que a exposição real ultrapassa o padrão, e colocar o "volume de provas" sobre o dado, que deve indicar conformidade, após a variabilidade da medição aleatória. Para o Teste do Empregador para Verificar Conformidade:

A hipótese nula é $H_a: \mu > \text{padrão}$, ou seja, não-conformidade

A hipótese alternativa é $H_A: \mu \leq \text{padrão}$, ou seja, conformidade

HIPÓTESES PARA UM RESPONSÁVEL PELA CONFORMIDADE

O órgão governamental tem de cumprir o teste de evidência substancial e tem o ônus de provar que um padrão de saúde foi ultrapassado em um determinado dia. Isso ocorre porque os padrões de saúde da OSHA são tanto os padrões de exposição média definidos para um período médio de 8 horas, quanto padrões de limite máximo de exposição que não devem jamais ser ultrapassados (29 CFR 1910.1000). Portanto, o funcionário deve indicar em que hipóteses nula e alternativa que os dados devem indicar não-conformidade, após deixados na variabilidade de medição aleatória. Para o Teste do responsável pelo cumprimento para verificar não-conformidade:

A hipótese nula é $H_a: \mu \leq \text{padrão}$, ou seja, não-conformidade

A hipótese alternativa é $H_A: \mu > \text{padrão}$, ou seja, conformidade

ERROS NA TESTAGEM DE HIPÓTESES

Quando utilizamos o intervalo de confiança como critério de teste para a média da exposição aferida (\bar{X}^*), percebemos que havia um risco de o intervalo de confiança não incluir a média da exposição real. A testagem de hipóteses usa os termos *erro de tipo I* e *erro de tipo II* para descrever dois tipos de decisões erradas que podemos fazer com base nos resultados dos testes. Quando descartamos a hipótese nula (aceitando a hipótese alternativa), quando a nula é realmente verdadeira, cometemos um erro do tipo I. Por outro lado, quando não conseguimos rejeitar a hipótese nula quando ela é realmente falsa, cometemos um erro do tipo II.

No contexto dos testes do responsável pela conformidade e do empregador:

TESTE DO RESPONSÁVEL PELA CONFORMIDADE, PARA VERIFICAR NÃO-CONFORMIDADE

Resultado do teste	Estado real	
	Conformidade com o padrão	Não-conformidade com o padrão
Decidir a conformidade	Sem Erros	Erro tipo II
Decidir a não-conformidade	Erro tipo I	Sem Erros

TESTE DO EMPREGADOR, PARA VERIFICAR CONFORMIDADE

Resultado do teste	Estado real	
	Conformidade com o padrão	Não-conformidade com o padrão
Decidir a conformidade	Sem Erros	Erro tipo I
Decidir a não-conformidade	Erro tipo II	Sem Erros

Para esclarecer a interpretação do procedimento de decisão estatística, discutiremos a tabela de decisões, utilizada pelos responsáveis pela conformidade. No Capítulo 4, formulamos um critério de decisão para ser utilizado pelos responsáveis pela conformidade:

- Rejeitar $H_0: \mu \leq$ padrão e
 Aceitar $H_A: \mu >$ padrão, sempre que um intervalo de confiança para a média real no nível de confiança $100(1-\alpha)\%$ não contém o padrão.

O risco (probabilidade) de se cometer um *erro tipo I* é indicado como α . O valor *máximo* de α corresponde ao nível de significância do teste. Observe que o nível de confiança $(1-\alpha)$ é o complemento da probabilidade α de um erro do tipo I. Isso é verdadeiro porque nossa regra de decisão é baseada em um intervalo de confiança mas foi formulada para ser algebricamente equivalente a um teste de nível de significância α da hipótese nula H_0 . Dessa forma, uma regra de decisão baseada em um intervalo de confiança de 95% assemelha-se com um teste significância com 5% de risco máximo de cometer um erro do tipo I.

O risco de se cometer um *erro tipo II* é indicado como β . O valor de β varia conforme a importância da diferença real entre o padrão e a média da exposição real. A relação entre esses dois tipos de riscos pode ser resumida tanto na curva da característica operativa (CO) para o teste quanto na curva da função potência (PF) discutida acima. O poder do teste corresponde à probabilidade de aceitação da hipótese alternativa quando esta é verdadeira. O poder está indicado por $(1-\beta)$, complemento da probabilidade de um erro do tipo II.

RELAÇÃO DOS LIMITES DE CONFIANÇA COM TESTES DE SIGNIFICÂNCIA

A equivalência dos testes do Capítulo 4 com os testes adequados de significância já foi apontada e não será demonstrada neste Apêndice Técnico. Basta dizer que nossas regras de decisão são equivalentes

aos testes de significância da hipótese nula acima mencionada. O Capítulo 21 de Natrella (J-1) contém uma excelente discussão comparando as duas abordagens. Preferimos a abordagem de LCI e LCS pois a amplitude da diferença entre o LCI (ou LCS) e o padrão dá uma idéia do quanto sólida nossa decisão é. Para obter mais informações sobre esses tópicos, outros textos, como Bowker e Lieberman (J-2), Crow *et al.* (J-3) e Snedecor e Cochran (J-4) podem ser consultados.

CURVAS DE FUNÇÃO POTÊNCIA

Anteriormente, a expressão *nível de confiança 95%* foi apresentado, fazendo referência à testagem de hipótese estatística. A expressão decorre da escolha de um *nível de risco de 5%* para o teste, equivalente, de significância, a ser utilizado. A clara vantagem de utilizar testes estatísticos para o processo de decisão referente aos padrões de exposição é o fato de os níveis desejados de risco máximo poderem ser selecionados com antecedência, e de as curvas de probabilidade da função potência serem calculadas. As curvas de FP colocam o poder $(1 - \beta)$ do teste como uma função da média real μ . Bartlett e Provost (J-5) mostraram que padrões, tolerâncias e níveis de risco podem ser interpretados de até cinco maneiras diferentes. Os empregadores, inspetores do governo e empregados podem interpretar um padrão de diferentes maneiras. As interpretações envolvem tamanho da amostra, níveis de confiança (risco) escolhidos, e critérios de aceitação/rejeição.

Uma forma de ilustrar as várias interpretações é por meio das curvas de FP para cada teste. A FP é o complemento da função da OC. Curvas da característica operativa, para muitos dos testes estatísticos convencionais, estão presentes em Natrella (J-1) e Bowker e Lieberman (J-2). Calcularemos funções potência semelhantes para os testes das seções 4.2.1 e 4.2.2. Nesses testes, assume-se que se conhece um CV_r sem erros, quando a testagem da hipótese nula a cuja média real o padrão OSHA se iguala. Portanto, a quantidade $1,645 CV_r \sqrt{n}$ constitui uma compensação pelo erro amostral e analítico da média amostral das concentrações padronizadas. Mais especificamente, nessa fórmula, o fator 1,645 corresponde ao 95º percentil da distribuição normal padronizada. A compensação de erros fornecida por essa fórmula é somada à média de amostras para calcular o mais alto *limite de confiança de 95%* unicaudal (ou subtraída da média de amostras para

calcular o mais baixo unicaudal), para a média real da concentração padronizada, de acordo com as seções 4.2.1 e 4.2.2. (Para uma discussão sobre os sentidos em que a expressão "limite de confiança" é utilizada, confira a "Nota Estatística" da seção 4.2.1.) Um limite de erro de 95% mais exato poderia ser calculado considerando-se que há um erro de estimativa do CV_T bem como de \bar{x} . (Os valores de CV_T atribuídos no Apêndice Técnico D para os métodos NIOSH de amostragem/análise foram obtidos a partir de seis amostras de três concentrações de contaminantes). Se isso fosse feito, seria necessário, para a maioria dos métodos, aumentar o multiplicador 1,645 por aproximadamente 10% para ter em conta a incerteza da estimativa experimental do CV_T . Contudo, não se pode ainda calcular os multiplicadores exatos para substituir 1,645 pois nossos valores de CV_T foram estimados a partir de amostras coletadas com uma taxa de fluxo cuidadosamente controlada, que passava por um orifício crítico. O CV para o erro de campo adicional, atribuído à bomba de amostragem individual (indicado por CV_B), teve que ser "somado" utilizando-se um conservador para obter os valores de CV_T do Apêndice Técnico D.

Temos tratado o CV_T como uma quantidade* conhecida e utilizado a distribuição normal (não a distribuição-t de Student) como base para o teste estatístico e para as funções potência correspondentes, fornecidas a seguir. Acreditamos que, quando correções são feitas por meio de uma estimativa experimental do CV_B no lugar de 0,05, o efeito parcial das purificações será desprezível, porque se espera que as duas correções estejam em direções opostas. O fator 1,645 aumentará levemente, mas espera-se que o CV_B estimado (um componente do CV_T) seja menor que 0,05. Em suma, acreditamos que os testes estatísticos das seções 4.2.1 e 4.2.2, bem como as curvas de função potência desta seção, são suficientemente acurados. Entretanto, para ser conservador (até que uma boa estimativa experimental do erro da bomba esteja disponível), pode-se aumentar as semi-amplitudes dos intervalos de confiança em aproximadamente 10% (ou seja, usar

* Quando uma boa estimativa experimental do CV_B estiver disponível, a NIOSH publicará uma nova tabela com as estimativas revisadas do CV_T , junto de multiplicadores purificados (isto é, levemente aumentado) para substituir o fator 1,645.

1,81 no lugar de 1,645).

A discussão a seguir diz respeito ao cálculo das curvas de poder. A Figura J-2 aplica-se ao Teste do Empregador para garantir conformidade; o teste estatístico (seção 4.2.2.1) é

$$LCS(95\%) = \bar{x} + \frac{1,645(CV_T)}{\sqrt{n}}$$

onde 1,645 é o ponto de 95% (unilateral) da distribuição normal.

O teste rejeita a hipótese nula H_0 de não-conformidade e escolhe a hipótese alternativa H_A de exposição em conformidade, se $LCS < 1$. Uma regra de decisão equivalente é

$$[\bar{x}] < \left[1 - \frac{1,645(CV_T)}{\sqrt{n}} \right]$$

para exposição em conformidade.

Exemplo

Para uma amostra de período completo de 8 horas ($n = 1$) e para $CV_T = 0,10$.

$$[\bar{x}] < 0,8355$$

para exposição em conformidade.

Para a curva da FP, devemos considerar todos os valores padronizados possíveis de amostras (x) que poderiam ser resultantes, e qual deles levaria à rejeição da hipótese nula. Suponha que a média de exposição real padronizada μ/STD seja 0,9, isto é, o empregador está dentro da conformidade por uma margem de 10%. Quando ele testa a hipótese nula de não-conformidade, o poder do teste corresponde à probabilidade de os dados do teste produzirem uma decisão de conformidade, isto é, rejeitarem a hipótese nula. A probabilidade de rejeitar H_0 é:

$$\text{Prob } [\bar{x} < 0,8355]$$

Calculamos a variável normal padrão:

$$z = \frac{(0,8355 - 0,9)}{CV_T/\sqrt{n}} = \frac{-0,0645}{0,10/\sqrt{1}} = -0,645$$

A probabilidade de rejeição de H_0 é a probabilidade

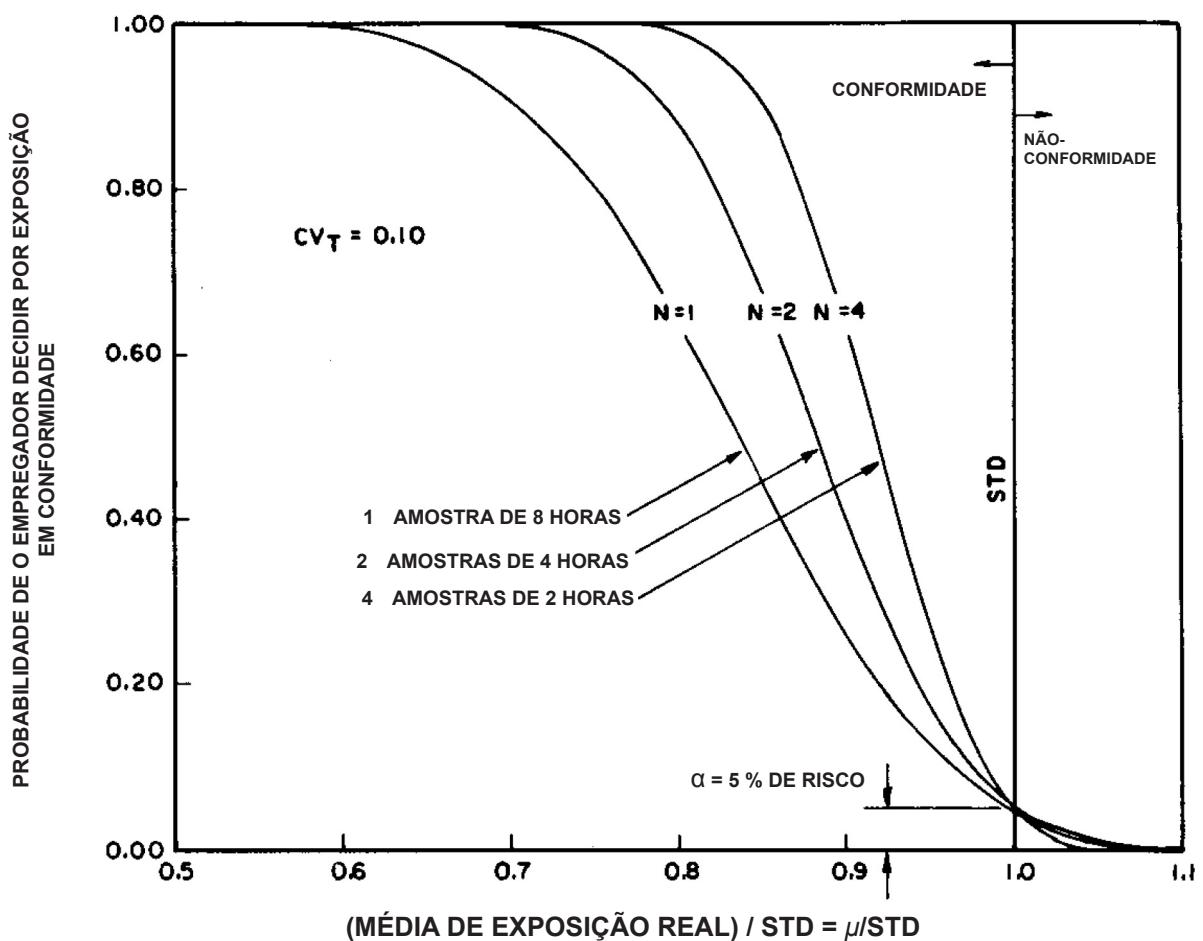


Figura J-2. Curva da função potência (FP) para um Teste de Empregador, unilateral (nível de risco 5%), utilizado para garantir a conformidade, conforme mostram as seções 4.2.1 e 4.2.2. Calculado para método de amostragem/análise com $CV_T=0,10$ (acurácia de aproximadamente $\pm 20\%$ em nível de confiança de 95%).

de se obter um valor menor que ($-0,645$) a partir de uma distribuição normal padrão (média 0, variância 1).

$$\text{Prob} [z < (-0,645)] \approx 0,26$$

Da mesma maneira, a distribuição normal padrão foi utilizada para calcular as curvas das Figuras J-2 a J-6. Os cálculos foram realizados em um computador Wang 2200, com o programa PS.01-2200.01A -00F1-16-0, para calcular as integrais da curva normal.

COMPARAÇÃO DE FUNÇÕES POTÊNCIA PARA OS TESTES DO RESPONSÁVEL PELO CUMPRIMENTO, COM NÍVEIS DE SIGNIFICÂNCIA DE 1% E 5%

Para o responsável pelo cumprimento, a curva de PF fornece o poder (probabilidade) de os dados do teste produzirem uma decisão de não-conformidade quando a não-conformidade de uma quantidade

especificada verdadeiramente existe. A Figura J-3 mostra a curva da PF para o Teste do Responsável pelo Cumprimento, em um nível de risco (significância) de 5%. O critério indica que uma citação não deve ser emitida a menos que 95% do LCI da exposição do empregado ultrapasse o padrão. Sendo 5% a probabilidade de erro do tipo I, o empregador pode afirmar que foi citado incorretamente 5% do tempo? Certamente não. Apenas se a média real da exposição do empregado medido fosse quase ou levemente abaixo do padrão há 5% de chance de uma citação incorreta, e essa probabilidade cai rapidamente para essencialmente zero quando as médias reais de exposições de empregado estão abaixo do padrão. A expressão *nível de risco 5%* se refere ao *risco máximo* de se declarar não-conformidade quando a média real de exposição é exatamente igual ao padrão. Esse termo não tem nenhum significado em nenhum outro lugar da curva da FP.

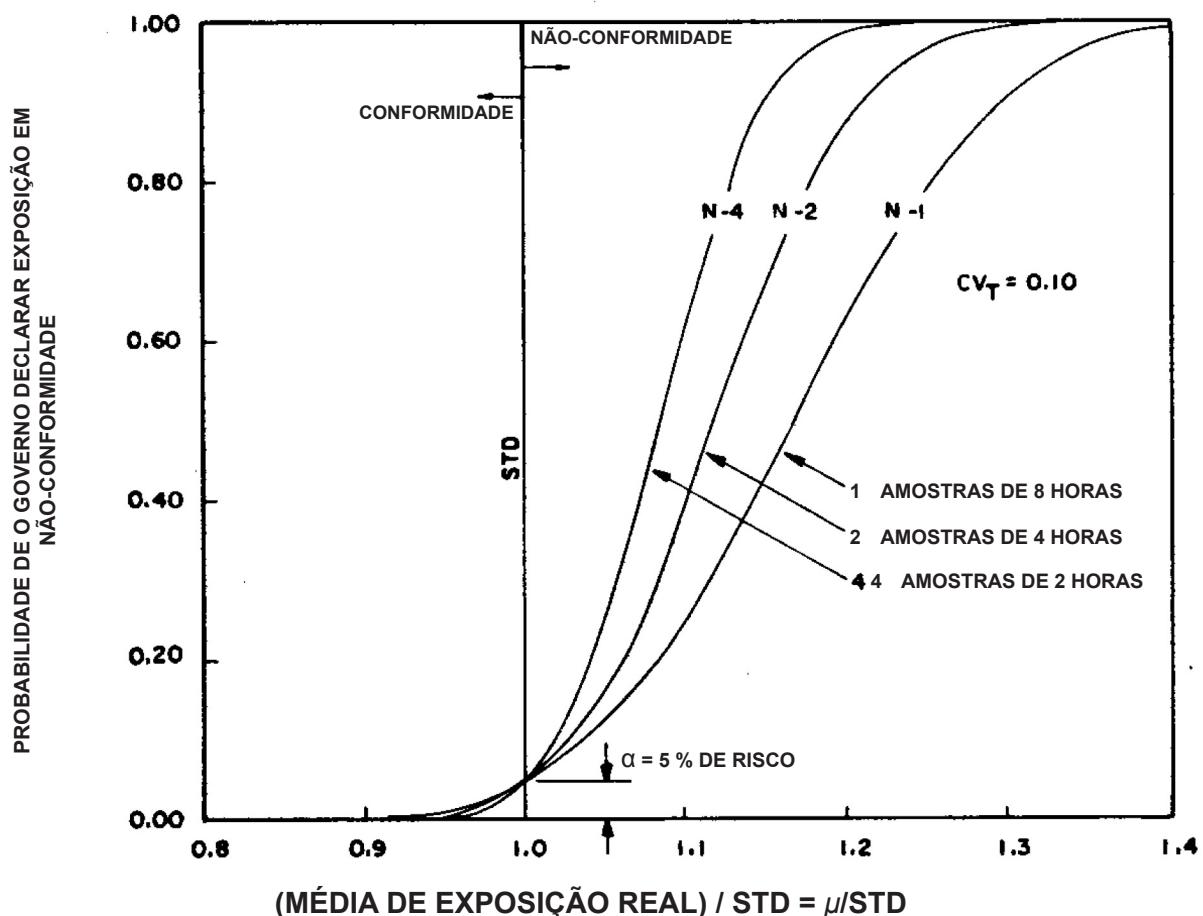


Figura J-3. Curva da função potência (FP) para um Teste de Responsável pela Conformidade, unilateral (nível de risco 5%), utilizado para detectar não-conformidade, conforme mostram as seções 4.2.1 e 4.2.2. Calculado para método de amostragem/análise com $CV_T=0,10$ (acurácia de aproximadamente + 20% em nível de confiança de 95%).

Um exemplo que demonstra o uso da Figura J-3 é quando o responsável obtém duas amostras consecutivas de 4 horas utilizando um método NIOSH com $CV_T=10\%$. Pelo procedimento da seção 4.2.2, a não-conformidade não deve ser declarada a menos que a medida da exposição padronizada \bar{x} ultrapasse 1,116, ou seja 11,6% acima do padrão. Se a média real padronizada de exposição acontecer a 1,116, a Figura J-3 mostra que haveria apenas 50% de chance de se alegar não-conformidade. Isso se dá porque apenas metade dos valores possíveis de medição ultrapassariam a média real e resultariam em uma declaração de não-conformidade. O empregado poderia acreditar que isso o concede um nível adequado de proteção.

No entanto, o empregador poderia possivelmente argumentar que a escolha de um teste com nível de risco de 5%, pelo governo, não o concederia proteção suficiente contra a citação incorreta, caso a média real da exposição de empregados (para um empregado e um dia) estivesse levemente ou abaixo do padrão. O empregador poderia propor que o Governo utilizasse um teste de nível de risco de 1%, e a Figura J-4

ilustra o efeito dessa sugestão na curva da FP. A probabilidade de citação para um caso verdadeiro de não-conformidade (em que a média da exposição real ultrapassa o padrão) média aumenta dramaticamente. Para o exemplo anterior, com uma média padronizada real de exposição de valor 1,116, a probabilidade de o responsável alegar não-conformidade cai para 27% (de 50%), usando o teste de nível de risco de 1%. A média da exposição real tem que ser 1,164 (16,4% acima do padrão) antes de haver 50% de chance de alegar não-conformidade. Dessa forma, quando o risco do empregador é diminuído, a proteção assegurada ao empregado é dramaticamente diminuída.

O efeito da acurácia do método de amostragem/análítico das curvas da FP é mostrado nas Figuras J-3 ($CV_T = 10\%$) e J-6 ($CV_T=5\%$), para o Teste do Responsável pela Conformidade (nível de risco de 5%). O efeito no Teste do Empregador (nível de risco de 5%) é exibido nas Figuras J-2 ($CV_T=10\%$) e J-5 ($CV_T=5\%$).

REFERÊNCIAS

- J-1. Natrella, M. G. *Experimental Statistics*. Natio-

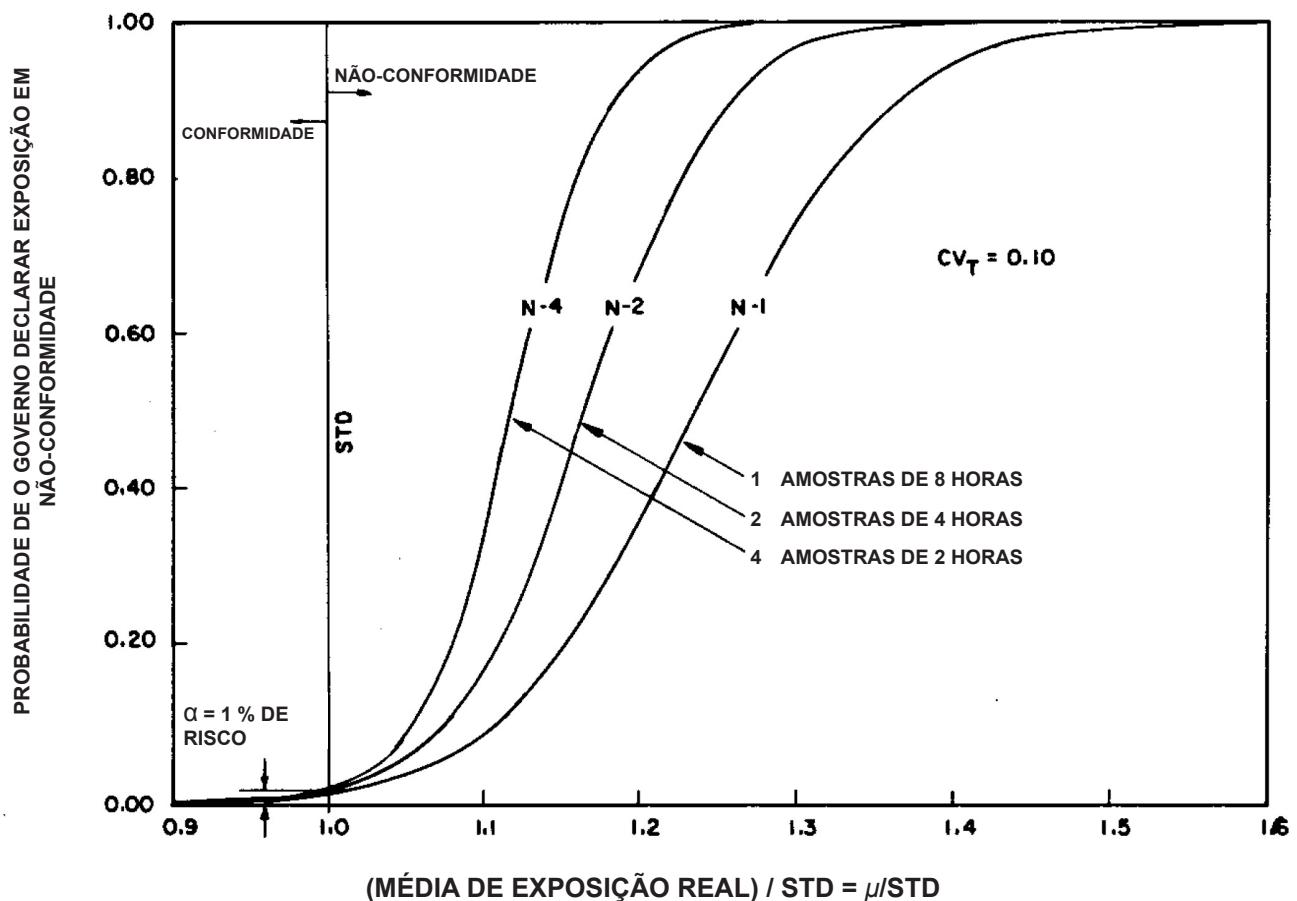


Figura J-4. Curva da função potência (FP) para um Teste de Responsável pela Conformidade, unilateral (nível de risco 1%), utilizado para detectar não-conformidade, conforme mostram as seções 4.2.1 e 4.2.2. Calculado para método de amostragem/análise com $CV_T = 0,10$ (acurácia de aproximadamente $\pm 20\%$ em nível de confiança de 95%).

nal Bureau of Standards Handbook 91. [Agência Nacional de Padronização, Manual 91]. Superintendência de Documentação, Escritório de Imprensa do Governo dos Estados Unidos, Washington, D.C. 20402, 1963.

- J-2. Bowker, A.H. e G. J. Lieberman. *Engineering Statistics*, 2 ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, Estados Unidos, 1972.

- J-3. Crow, E. L., F. A. Davis e M. W. Maxfield. *Statistics Manual*. Dover, Nova Iorque, 1960.
 J-4. Snedecor, G. W. e W. G. Cochran. *Statistical Methods*, 6 ed. Iowa State University Press, Ames, Estados Unidos, 1967.
 J-5. Bartlett, R. P. e L. P. Provost. Tolerances in Standards and Specifications. *Quality Progress*, pp. 14-19, Dezembro de 1973.

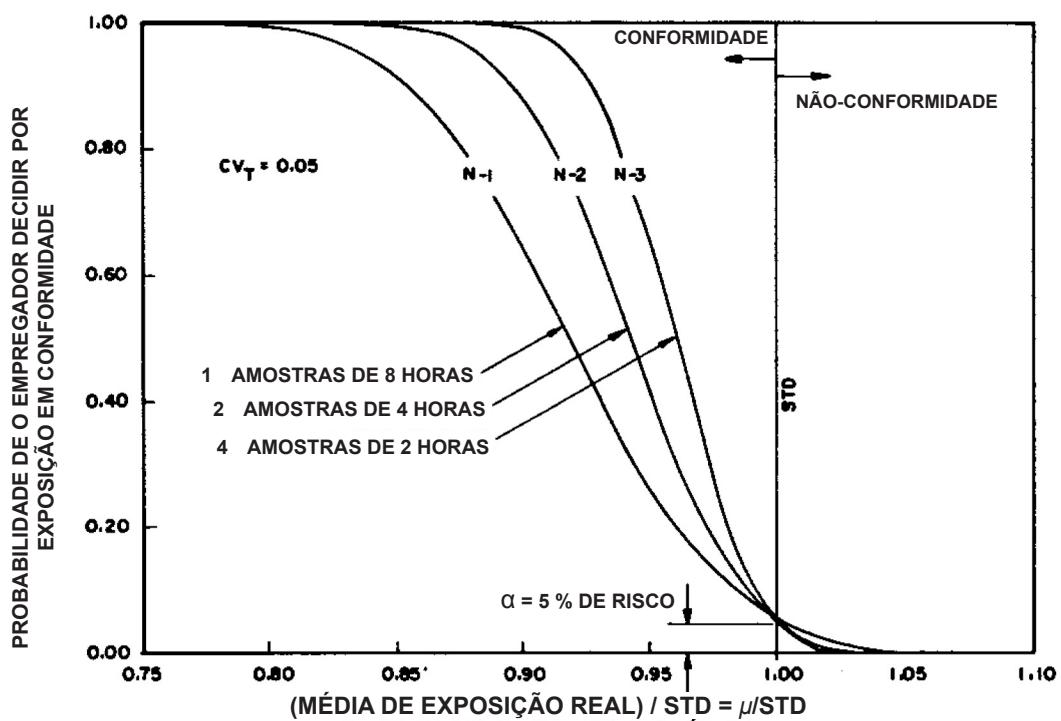


Figura J-5. Curva da função potência (FP) para um Teste de Empregador, unilateral (nível de risco 5%), utilizado para garantir a conformidade, conforme mostram as seções 4.2.1 e 4.2.2. Calculado para método de amostragem/análise com $CV_T=0,05$ (acurácia de aproximadamente $\pm 10\%$ em nível de confiança de 95%).

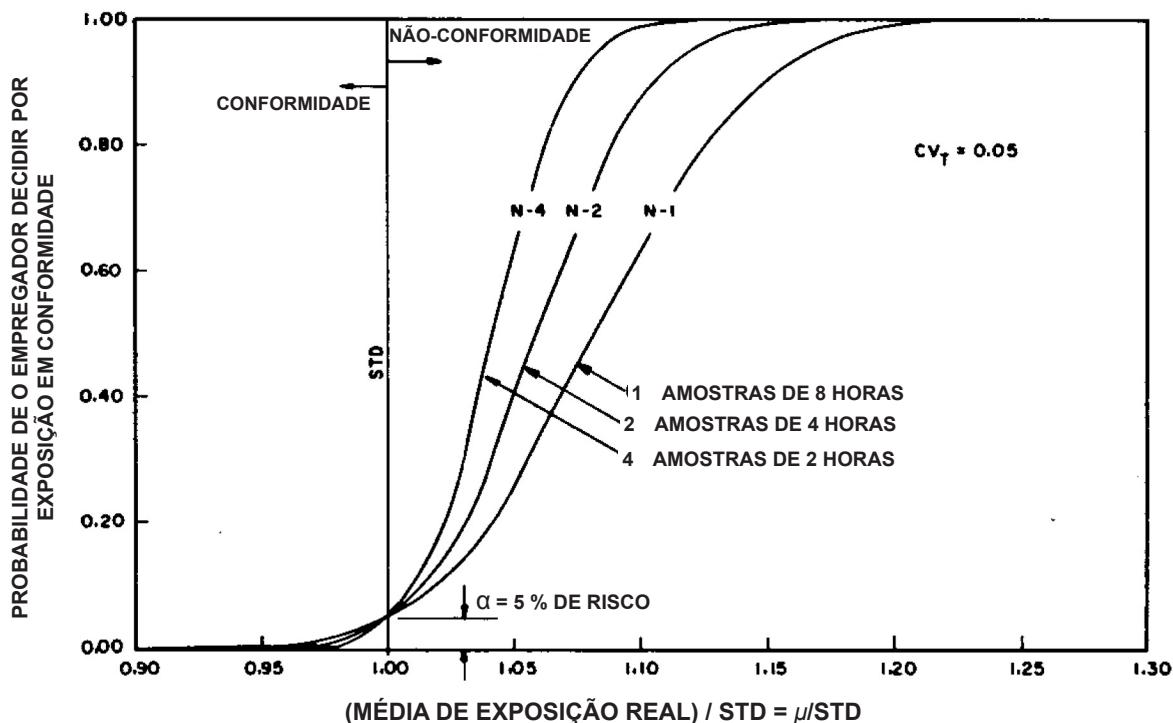


Figura J-6. Curva da função potência (FP) para um Teste de Responsável pela Conformidade, unilateral (nível de risco 5%), utilizado para detectar não-conformidade, conforme mostram as seções 4.2.1 e 4.2.2. Calculado para método de amostragem/análise com $CV_T=0,05$ (acurácia de aproximadamente $\pm 10\%$ em nível de confiança de 95%).

APÊNDICE TÉCNICO K*

TEORIA DA DECISÃO ESTATÍSTICA PARA LIMITES MÁXIMOS DE MEDIÇÕES DE EXPOSIÇÃO

O problema no processo de decisão de limite máximo (seção 4.3) é que, dado um conjunto de amostras de (geralmente 15 minutos) medições de exposição de limite máximo curto em qualquer dia, uma inferência tem de ser feita sobre a exposição durante os intervalos amostrados e a exposição durante os restantes intervalos de não amostrados desse dia.

DECISÃO SOBRE A EXPOSIÇÃO DURANTE OS INTERVALOS AMOSTRADOS

A decisão sobre a exposição para os intervalos de amostrados é feita usando a região de confiança unilateral para a medição de exposição mais alta observado. Esta região de confiança é determinada partindo do princípio de que os erros de medição aleatórios são normalmente distribuídos com desvio padrão conhecido. Este desvio padrão é baseado no coeficiente de variação do processo de amostragem/analítico. Se todas as amostras disponíveis indicam (com alta confiança) que a exposição durante os intervalos observados está abaixo do padrão de limite máximo (*CSTD*), use o seguinte procedimento para fazer uma inferência estatística para os demais intervalos não amostrados (medições potenciais).

DECISÃO SOBRE A EXPOSIÇÃO DURANTE OS INTERVALOS RESTANTES

O problema pode ser declarado como um teste da hipótese nula:

H_0 : Toda a população de amostras potenciais está abaixo do padrão de limite máximo (*CSTD*) versus a hipótese alternativa:

H_1 : Pelo menos uma das amostras potenciais amostras poderia exceder o *CSTD*.

Suponha que o seguinte conjunto de medições de limite máximo de um determinado dia está disponível, cada um com uma duração igual ao período em que o padrão de limite máximo foi definido: $X_j, j = 1, \dots, n$. Sejam

$$x_i = \frac{X_j}{CSTD}$$

as medições padronizadas (com respeito ao padrão de medição padrão, *CSTD*).

Estas são amostras de curto prazo, e, se elas não são contíguas, assume-se que elas são variáveis aleatórias de log normal, distribuídas de forma independente e idêntica. Além disso, uma vez que apenas as variações temporais estão sendo consideradas, o erro de medição aleatória devido à amostragem e procedimento de análise serão negligenciados neste caso.

O modelo estatístico será formulado em termos dos logaritmos (base 10) dos dados padronizados. Logo, seja

$$y_1 = \log x_1, j = 1, \dots, n \quad (\text{K-1})$$

Para tomar uma decisão sobre a exposição do nível de limite máximo de um empregado, as seguintes hipóteses devem ser testadas com dadas probabilidades máximas de erro de tipo I e II.

$$H_0 : y_1 \leq 0 \text{ para todo } i = n + 1, \dots, N \quad (\text{K-2})$$

versus

$$H_1 : y_1 > 0 \text{ para pelo menos um } i, n + 1 \leq i \leq N \quad (\text{K-3})$$

onde N é a dimensão do espaço de amostragem. Se o padrão do nível de limite máximo é definido para intervalos de amostragem de 15 minutos, então $N = 32$ para um dia de 8 horas. H_0 é a decisão de exposição de conformidade, e H_1 é a decisão de exposição de não conformidade. Se nenhuma decisão pode ser afirmada com confiança suficientemente alta, então uma possível classificação de superexposição é feita.

*O material deste Apêndice foi desenvolvido por Systems Control, Inc., e foi publicado originalmente no Relatório SCI nº 5119-1, pp. 17-20 (Maio de 1975), produzido sob o Contrato NIOSH nº CDC-99-74-75.

O problema do teste de hipóteses acima pode ser formulado em termos de uma declaração de probabilidade. Dado o conjunto de amostras $y^n \triangleq \{y_1, \dots, y_n\}$ computa a probabilidade de conformidade.

$$P_c \triangleq \{y_{n+1} \leq |0, \dots, y_N| y^n\} \quad (\text{K-4})$$

A densidade de probabilidade de uma das amostras potenciais pode ser escrita como

$$p(y_k|y^n) = p(y_k, \mu, \sigma|y^n) d\mu d\sigma, k = n + 1, \dots, N \quad (\text{K-5})$$

onde μ e σ são a (desconhecidos) média e o desvio padrão de $y_j, j = 1, \dots, N$, e $p(y_k, \mu, \sigma|y^n)$ é a densidade conjunta a posteriori de y_k , μ , e σ dadas as observações y^n .

Utilizando a distribuição de fiducial μ (ver referência K-1),

$$\mu \sim \mathcal{N}(\bar{y}, \frac{\sigma^2}{n}) \quad (\text{K-6})$$

onde $\mathcal{N}(a,b)$ é a densidade normal com média a e variância b e

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n y_i \right] \quad (\text{K-7})$$

Assumindo para o presente σ como conhecido, obtém-se da equação K-5

$$p(y_k|y^n) = \mathcal{N}(\bar{y}, \sigma^2(1 + \frac{1}{n})) \quad (\text{K-8})$$

Então,

$$\begin{aligned} P\{y_k > 0 | y^n\} &= \int_0^\infty \mathcal{N}[y_k; \bar{y}, \sigma^2(1 + \frac{1}{n})] dy_k \triangleq \beta \\ k &= n+1, \dots, N \end{aligned} \quad (\text{K-9})$$

A probabilidade de conformidade (equação K-4) é agora dada por

$$\begin{aligned} P_c &= \prod_{k=n+1}^N P\{y_k \leq 0\} \\ &= \prod_{k=n+1}^N [1 - P\{y_k > 0\}] \end{aligned} \quad (\text{K-10})$$

Utilizando a notação introduzida na equação K-9 tem-se

$$P_c = (1 - \beta)^{n-n} \quad (\text{K-11})$$

Se $(N - n)\beta < 1$, então uma boa aproximação para o que está acima é

$$P_c = 1 - (N - n)\beta \quad (\text{K-12})$$

A hipótese de a conhecido não é totalmente justificada. Uma abordagem que contaria para esta incerteza adicional poderia ser desenvolvida ao longo das linhas de (K-2), utilizando argumentos bayesianos com antecedentes difusos. No entanto, a complexidade do processo resultante iria impedir a implementação. A variância de amostra

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2 \quad (\text{K-13})$$

é recomendada para a equação K-9 no lugar de σ^2 .

A equação K-11 indica que se $N - n$ (número de intervalos não observados) é grande, a probabilidade de conformidade P_c se torna pequena. Há mais "chances" para pelo menos uma amostra de ultrapassar o padrão. Portanto, a aplicação direta da equação K-11 pode ser excessivamente pessimista.

Isto leva ao conceito de número esperado de picos durante um dia. Suponha que um procedimento de amostra de limite máximo "tendencioso" foi usado para obter algumas amostras aleatórias de intervalos "críticos" esperados. A partir do entendimento do processo industrial, suponha que o número de picos restantes durante o dia está disponível e igual a n' . Então, o número de intervalos não amostrados na equação K-9 é tomado como n' , em vez de $N - n$. Se todos os intervalos de pico n' foram amostrados, não haveria necessidade de ir para o processo de inferência para os intervalos não amostrados e o único teste a ser feito seria o descrito na seção em "Decisão sobre a Exposição Durante os Intervalos Amostrados," acima. Lembre-se que a motivação para o desenvolvimento de procedimentos de inferência com base em amostras de apenas uma parte do dia de trabalho decorre do objetivo básico de minimizar o carga do empregador. Assim, se as amostras disponíveis foram recolhidas de picos conhecidos e há, além disso, n' picos esperados não amostrados durante o dia, então a decisão (classificação de exposição) é feita com base em

$$P_c = (1 - \beta)^{n'} \quad (\text{K-14})$$

se as amostras disponíveis não indicarem superexposição ou exposição. Se a probabilidade de conformidade P_c exceder um limite presente - por exemplo 0,9 - o trabalhador é classificado como não exposto. Por outro lado, se a P_c estiver abaixo de outro limite - por exemplo 0,1 - então, o trabalhador pode ser classificado como superexposto. Caso contrário, a classificação é "exposto".

REFERÊNCIAS

- K-1. Kendall, M. S., e A. Stuart: *The Advanced Theory of Statistics*. Hafner Publishing Co., Nova Iorque, Volume I, 1969, e Volume II, 1967.
- K-2. Bar-Shalom, Y., D. Budenaers, R. Schainker e A. Segall: *Handbook of Statistical Tests for Evaluating Employee Exposure to Air Contaminants*, Informativo Técnico NIOSH, Parte II, HEW Pub. No. (NIOSH) 75-147, Cincinnati, Ohio 45226, Abril de 1975.

APÊNDICE TÉCNICO L

A NECESSIDADE DE UM NÍVEL DE AÇÃO PARA MEDIÇÃO DE EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL*

Alguns padrões propostos pela OSHA definem o nível de ação como metade do valor do limite de exposição admissível, presentemente encontrado nas Tabelas Z-1, Z-2 e Z-3 de 29 CFR 1910.1000. O nível de ação é o ponto em que certas disposições dos padrões propostos devem ser iniciadas, como medições periódicas de exposição de empregados, treinamento de empregados e vigilância médica (se apropriados para a substância). Tais disposições são iniciadas se as medições de exposição de um único dia ultrapassarem o nível de ação.

A Seção 6 (b) (7) da Lei de Segurança e Saúde Ocupacional exige que, quando apropriado, as normas de segurança e saúde devem favorecer o controle ou a medição da exposição do empregado nesses locais e intervalos, de tal maneira que possa ser necessária para a proteção dos trabalhadores. A NIOSH e a OSHA reconheceram a necessidade de designar um nível de medição de exposição em que esses procedimentos se tornam adequados. A função do nível de ação é designar o nível de medição dessa exposição.

O objetivo desta apresentação é explicar a necessidade de um nível de ação de medição de exposição, e sua relação com as variações do ambiente ocupacional.

Os programas de monitoramento da exposição de empregados são análogos aos programas de controle e de garantia de qualidade, vastamente utilizados pela indústria. A média diária de concentrações a que um empregado está exposto durante o trabalho é muito similar a um produto de uma linha de montagem. O produto de linha de montagem e, por analogia, a média diária de exposição, estão sujeitos a

- flutuações aleatórias do processo, por exemplo, entre empregados ou máquinas que realizam a mesma tarefa;
- tendências graduais em direção a um estado fora de tolerância, do processo, com as provocadas pelo desgaste de ferramentas e; ocorrência súbita de peças defeituosas como decorrência de mudanças drásticas do processo.

Há também semelhanças de objetivo entre os programas de monitoramento de exposição de empregados e os programas de controle de qualidade (Tabela L-1).

Cada um dos fatores da Tabela L-1 foi considerado nos padrões propostos pela OSHA. Dois fatores em particular (números 1 e 6) têm especial relevância para o conceito de nível de ação: *variações* das exposições diárias e a *limitação do risco* (para uma baixa probabilidade) de um empregado sofrer superexposição em decorrência de falhas na detecção dos dias de alta exposição.

O nível de ação foi definido tendo em vista o fato de o empregador ter que diminuir a probabilidade de mesmo uma baixa porcentagem de médias de exposição diárias (médias ponderadas por um tempo [TWA] de 8 horas) ultrapassarem o padrão. Isto é, o empregador deve monitorar os empregados de tal forma que ele tenha um alto grau de confiança de uma porcentagem muito alta de exposições diárias reais estarem abaixo do padrão. Em termos da Estatística, o empregador deve tentar atingir uma confiança de 95% na qual, em não mais que 5% dos dias, o empregado esteja acima do padrão.

É importante perceber que a concentração de exposição do empregado não é um fenômeno fixo. Em termos da Estatística, as concentrações de exposição flutuam de modo log normal. Primeiro, as concentrações de exposição estão flutuando no período das 8 horas da medição de TWA da exposição. As amostras aleatórias da zona respiratória (amostras de aproximadamente 30 minutos de duração, ou menos - tipicamente, apenas alguns minutos) tendem a refletir a variação ambiental dentro de um dia, então aqueles resultados da amostra aleatória tiveram alta variabilidade. Entretanto, tal variação nos resultados das amostras pode ser eliminada quando se utiliza a estratégia de amostragem em período completo, como discutido por Leidel e Busch (L-1) e no Capítulo 3. Em segundo lugar, a variação dia-a-dia dos TWA das exposições de 8 horas também é distribuída de forma log normal. É essa variação dia-a-dia que cria a necessidade de um nível de ação

* Este material foi apresentado originalmente por Nelson A. Leidel na Audição Pública Informal da OSHA sobre os Padrões Propostos de Cetonas, em Washington, no dia 4 de setembro de 1975. O Relatório Técnico NIOSH completo está disponível como Referência L-2.

TABELA L-1. COMPARAÇÃO ENTRE PROGRAMA DE CONTROLE DE QUALIDADE E PROGRAMA DE MONITORAMENTO DE EXPOSIÇÃO DE EMPREGADOS

Programas de controle de qualidade	Programas de monitoramento de exposição de empregados
<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificam a variação da qualidade do produto decorrente de <ul style="list-style-type: none"> – diferenças entre máquinas; – diferença entre trabalhadores; – diferenças nas matérias prima e peças do componente; – diferenças em cada um desses fatores, por tempo. 2. Detectam se um produto está fora da tolerância ou se um processo está produzindo produtos não-satisfatórios. 3. Instituem planos de amostragem que fornecem uma quantidade máxima de proteção contra erros de amostragem, com uma quantidade mínima de inspeção. 4. Instituem métodos que indicam rapidamente quando está errado ou algo de errado está prestes a acontecer com o processo, antes de os produtos defeituosos serem fabricados. 5. Amostram periodicamente um processo de produção. 6. Limitam a baixa probabilidade de um lote ruim (um que contém produtos defeituosos) serem aceitos na "questão de sorte" inerente aos processos de amostragem. 7. Detectam e tentam corrigir as fontes da variação do processo que levam aos defeitos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Identificam a variação das medições das exposições diárias de empregados, decorrente de <ul style="list-style-type: none"> – diferenças em técnicas de trabalho de empregados individualmente (mesmo em categoria profissional semelhante); – diferenças em concentrações de exposição durante um dia (refletidas nas amostras aleatórias); – diferenças nas concentrações médias de exposição diária, entre dias; – diferenças decorrentes de variações aleatórias na amostragem e na análise. 2. Detectam se alguma exposição de empregado ultrapassa um limite admissível. 3. Instituem um programa de monitoramento que precisa de uma quantidade mínima de amostragem para uma quantidade máxima de proteção contra erros de medição de exposição. 4. Instituem planos de medição de exposição que indicam quando as exposições ocupacionais são perigosas ou se aproximam dos níveis de perigo, antes de ocorrer superexposição. 5. Medem periodicamente a exposição diária de um empregado. 6. Quando nem todos os dias de exposição são medidos, limitam, a um grau baixo, a probabilidade de superexposição provocada pela falha ao detectar dias com alta exposição. 7. Detectam e tentam eliminar fontes de altas exposições.

baseado em apenas um dia da medição obrigatória de exposição. A medição de um dia é utilizada para chegar a conclusões relativas à conformidade dos dias não medidos, e é a única base para decidir se mais medições de um determinado empregado devem ser feitas.

A variação ambiental é expressa pelo desvio-padrão geométrico (DPG). Um DPG de 1,0 representa absolutamente nenhuma variação no ambiente, enquanto DPGs de 2,0 ou acima relativamente

representam alta variação. Quando baseado na análise de dados de gás, vapor e de partículas, concluiu-se que muito poucas operações industriais têm DPG's ambientais do dia-a-dia menor que aproximadamente 1,2.

Se a medição de exposição de um determinado dia mostrasse uma média de exposição por 8 horas menor que o padrão, não conseguíramos concluir se as exposições de todos os outros dias são menores que o padrão. Isso se dá porque a média de exposição

real diária, em um dia, foi traçada a partir de uma distribuição log normal de todas as outras exposições reais diárias por um período de tempo. Presume-se que a média de exposição de longo prazo permaneça estável, mas a amostra de um determinado dia pode ter origem em uma baixa porção da distribuição. Mesmo que uma média de exposição diária seja menor que o padrão, há um risco de outras médias diárias o ultrapassarem.

Desenvolveu-se um modelo estatístico que mostrou a relação da probabilidade (risco) de um mínimo de dada porcentagem de médias de exposição real diária ultrapassarem o padrão, com uma função de

- medição do TWA da exposição do empregado, por 8 horas, em um dia, como fração do padrão e
- variação ambiental dia-a-dia das médias de exposição real diária (DPG) e
- precisão e acurácia do método de amostragem e de análise utilizado no processo de medição.

Os resultados gráficos desse modelo são exibidos na Figura L-1. Para a representação gráfica, assumiu-se um coeficiente de variação (CV_T) amostral e analítico de 10%. Isso corresponde a uma acurácia do método de medição de aproximadamente 20%, em um nível de confiança de 95%. No entanto, as curvas foram legendadas para a variação dia-a-dia-

"pura". É muito importante perceber que os erros aleatórios de medição, decorrentes do procedimento de amostragem e de análise, têm uma contribuição muito pequena, no risco calculado do empregado, de fazerem com que dada porcentagem de médias diárias reais ultrapassarem o padrão. Tal risco calculado é quase exclusivamente uma função da variação dia-a-dia.

Assim, a Figura L-1 mostra a probabilidade de pelo menos 5% das médias da exposição diária real, de um empregado não aferido, ultrapassarem o padrão dado que aquela medição de um dia passou a cair para baixo do padrão. Declarar que um empregado está *seguro* e nunca mais amostrar porque a medição de exposição de um dia ficou aquém do padrão seria análogo a aceitar a toda a produção de uma fábrica com base no teste de apenas um produto. É por isso que o nível de ação de metade do padrão é necessário como um "alarme" para garantir mais amostragem de um empregado. Uma medição de exposição tão baixa quanto metade do padrão indica probabilidade suficiente de a exposição de um empregado ultrapassar o padrão nos outros dias, portanto, medições adicionais são necessárias para garantir a proteção adequada daquele empregado.

A Figura L-1 mostra que empregados com DPGs da média de exposição dia-a-dia menor que

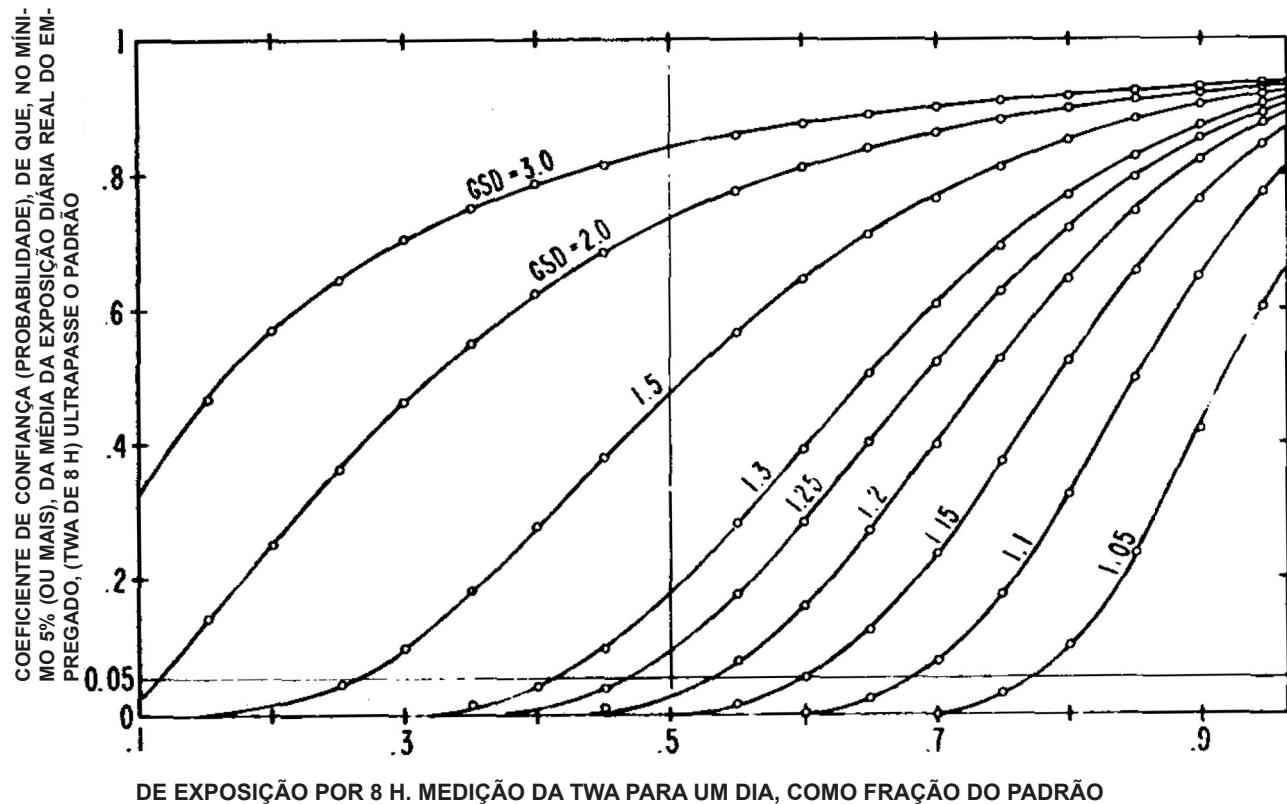


Figura L-1. Curvas de risco de superexposição para uma medição do TWA da exposição por 8 horas.

aproximadamente 1,22 (combinado com um CV_T de amostragem/análise de 10%) têm menos que 5% de probabilidade de 5% de suas exposições reais diárias ultrapassarem o padrão em dias não medidos. É provável que poucos DPGs do dia-a-dia sejam menores que 1,22. Observe que, se uma média de exposição diária aferida está na metade do padrão, então as seguintes probabilidades muito mais altas ocorrem que pelo menos 5% das médias diárias reais não aferidas ultrapassam o padrão:

<i>Variação dia-a-dia</i>	<i>Probabilidade, %</i>
DPG = 1,3	17
= 1,5	47
= 2,0	72
= 3,0	83

Deve-se notar, por fim, que as concentrações acima, referentes à estabilidade da distribuição das exposições diárias reais que o empregado encontra, são muito conservadoras. São consideradas apenas variações aleatórias. Não consideramos as tendências

ascendentes imprevisíveis nem os aumentos súbitos das exposições diárias, provocados por mudanças no ambiente do empregado, tais como as janelas e portas fechadas nas estações frias, a eficiência decrescente ou falha das medidas de controle (ex., sistemas de ventilação), ou processos de produção alterados que levam à exposição crescente.

REFERÊNCIAS

- L-1. Leidel, N. A. e K. A. Busch. *Statistical Methods for the Determination of Noncompliance with Occupational Health Standards*. Informações Técnicas da NIOSH, HEW. No. (NIOSH) 76-131, Cincinnati, Estados Unidos, 45226, 1975.
- L-2. Leidel, N. A., K. A. Busch e W. E. Crouse. *Exposure Measurement Action Level and Occupational Environmental Variability*. Informações Técnicas da NIOSH, HEW. No. (NIOSH) 76-131, Cincinnati, Estados Unidos, 45226, 1975.

APÊNDICE TÉCNICO M*

DISTRIBUIÇÕES NORMAL E LOG-NORMAL DA FREQUÊNCIA

Os métodos estatísticos discutidos neste manual assumem que concentrações em amostras randômicas de ambiente ocupacional são distribuídas de modo log normal e independente, tanto dentro de um turno particular quanto em muitas médias de exposição diárias. Além disso, assume-se que os erros de amostragem e análise da amostra de medição de higiene industrial são distribuídos de modo normal e independente. Abaixo, os motivos técnicos da escolha dessas duas distribuições para a modelagem da distribuição de nossos dados. Não há nada sagrado com a escolha desses modelos de distribuição. Foram escolhidos porque ocorrem com muita frequência nas aplicações de higiene industrial, e são fáceis de usar porque suas propriedades têm sido minuciosamente investigadas. A observação empírica de que os dados são geralmente bem ajustados pelos modelos normal e log-normal não garante que todos os dados se encaixem nesses modelos. Se houver alguma dúvida com a aplicação adequada do modelo normal ou log-normal, o primeiro passo da análise de dados deve ser o esboço de um histograma de distribuição ou utilizar a folha de probabilidade, como discutido no Apêndice I. Para exemplos de dados que podem não ser descritos propriamente pelo modelo log-normal, consulte também o Apêndice Técnico I.

Antes de o dado das amostras ser estatisticamente analisado, devemos ter conhecimento da distribuição de frequências dos resultados, ou se deve fazer algumas suposições. Roach (M-2 até M-4) e Kerr (M-5) assumiram que dados ambientais são distribuídos de modo normal. Contudo, está bem consolidado (M-6 a M-9) que a maioria da comunidade de dados ambientais da poluição do ar são melhor descritos por uma distribuição log-normal. Isto é, os logaritmos (tanto em base *e* como em base 10) dos dados são distribuídos aproximadamente de modo normal. Mais importante, Breslin *et al.* (M-10), Sherwood (M-11, M-12), Jones e Brief (M-13), Gale (M-14, M-15), Coenen (M-16, M-17), Hounam (M-18) e Juda e Budzinski (M-19, M-20) mostraram que dados do ambiente de trabalho, coletados tanto no ambiente aberto quanto em espaços confinados, para períodos

curtos (segundos) e longos (dias), são distribuídos de modo log-normal.

Quais as diferenças entre dados distribuídos de modo normal e de modo log-normal? Em primeiro lugar, deve-se recordar que uma distribuição "normal" é totalmente determinada pela média aritmética μ e pelo desvio-padrão σ da distribuição. Por outro lado, uma distribuição log-normal é totalmente determinada pela mediana ou média geométrica (MG) e pelo desvio-padrão geométrico (DPG). Para dados distribuídos de modo log-normal, uma transformação logarítmica dos dados originais é distribuída de modo normal. A MG e a DPG da distribuição log-normal são os anti-logaritmos da média e do desvio-padrão da transformação logarítmica. Dados distribuídos de modo normal possuem uma curva de distribuição simétrica, enquanto os dados ambientais distribuídos de modo log-normal são geralmente assimetricamente positivos (longa "cauda" à direita indicando uma maior probabilidade de concentrações muito grandes, quando comparadas com probabilidades mais baixas esperadas de dados distribuídos de modo normal). A Figura M-1 compara uma distribuição log-normal com uma normal, com mesma média aritmética μ e mesmo desvio-padrão σ . As condições propícias à (mas não toda necessária para) ocorrência de distribuições log-normal são encontradas nos dados de ambiente ocupacional (M-6). Essas condições são

- de concentrações que abrangem uma vasta gama de valores, frequentemente de várias ordens de grandeza, e as concentrações se encontram próximas a limites físicos (concentração zero),
- da variação da concentração medida ser da ordem da dimensão da concentração medida, e
- de existir uma probabilidade finita de vários valores grandes (ou "picos" de dados) ocorrerem.

A variação dos dados do ambiente ocupacional (diferenças entre repetidas medições no mesmo local) podem geralmente ser divididas em três grandes elementos: erros aleatórios do método de amostragem; erros aleatórios do método de análise; e variação do ambiente, com o tempo. Os dois primeiros elementos da variação são comumente conhecidos antecipadamente e são adequadamente distribuídos de modo normal. As flutuações ambientais de um contaminante em uma fábrica, contudo, são geralmente muito superiores à variação dos instrumentos conhecidos (muitas vezes, por

* Este material foi, em parte, apresentado em Leidel e Busch, *Exposure Measurement Action Level and Occupational Exposure Variability* [Nível de Ação de Medição de Exposição e Variabilidade da Exposição Ocupacional (Informativo Técnico NIOSH, Publicação HEW N. (NIOSH) 76-131, Cincinnati, dezembro de 1975)], e na Referência M-1.

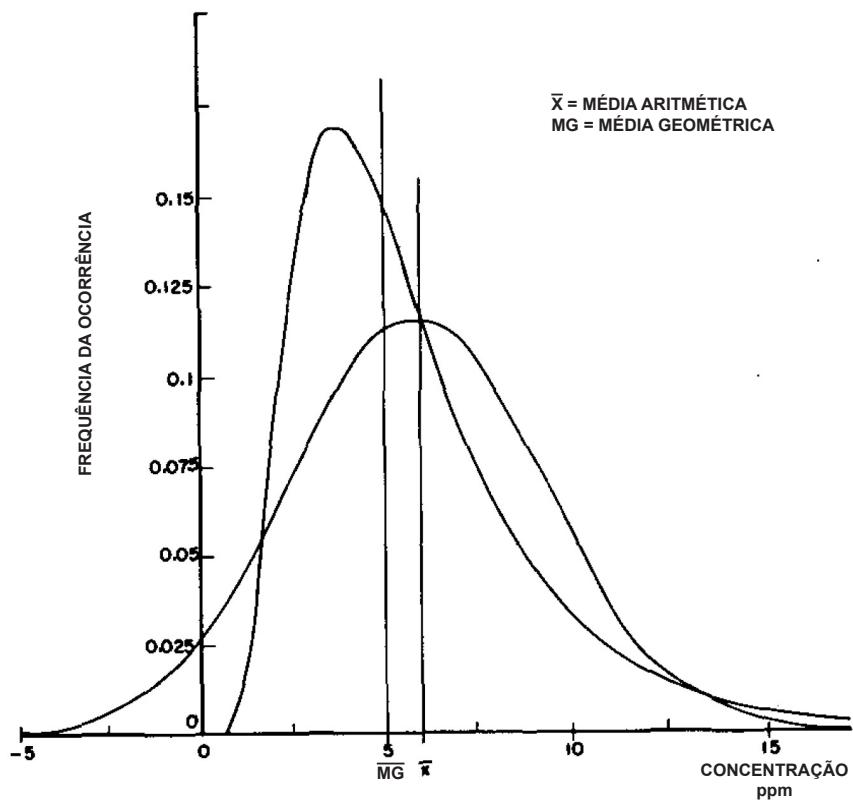


Figura M-1 Distribuições log-normal e normal com mesmos média aritmética e desvio-padrão.

fatores de 10 ou 20). Esses elementos de variação foram discutidos em um artigo de LeClare *et al.* (M-21).

Quando se coletam várias amostras em uma fábrica, para determinar a concentração média do contaminante e estimar a exposição média de um empregado, deve-se admitir distribuição log-normal. Todavia, a distribuição normal pode ser utilizada nos casos especiais de coletar uma amostra para verificar conformidade com um limite máximo padrão, e coletar uma amostra (ou amostras) para um período completo de tempo, para o qual o padrão está definido. Nesses casos, todo o intervalo de interesse do tempo total está representado na amostra, com apenas variações de amostragem e análise distribuídas de modo normal, afetando a medição.

A variação relativa de uma distribuição normal (como os erros aleatórios dos procedimentos de amostragem e análise) é frequentemente medida pelo coeficiente de variação (*CV*). O *CV* também é conhecido como desvio padrão relativo. O *CV* é um índice útil de dispersão em que os limites que contêm a média real de um conjunto de dados com mais ou menos o dobro do *CV* irão conter cerca de 95% das medições de dados. Então, se um procedimento de análise com um *CV* de 10% for usado para medir repetidamente alguma propriedade física não-variante (como a concentração de um produto químico em uma proveta de solução), cerca de 95% das medições

penderá para mais ou menos 20% (2 vezes o *CV*) da concentração real.

Infelizmente, a propriedade que estamos tentando medir – a concentração da exposição do empregado – não é uma propriedade física fixa. As concentrações de exposição estão flutuando de modo log-normal. Primeiro, elas estão flutuando no período das 8 horas da medição de TWA da exposição. As amostras aleatórias da zona respiratória (amostras aproximadamente 30 minutos de duração, ou menos – tipicamente, apenas alguns minutos) tendem a refletir a variação ambiental dentro de um dia, então aqueles resultados da amostra aleatória tiveram alta variabilidade. Entretanto, tal variação nos resultados das amostras pode ser eliminada quando se utiliza a estratégia de amostragem em período completo, como discutido por Leidel e Busch (L-1). Em segundo lugar, a variação dia-a-dia dos TWA das exposições de 8 horas também é distribuída de forma log-normal.

A variação ambiental é expressa pelo *DPG*. Um *DPG* de 1,0 representa absolutamente nenhuma variação no ambiente. *DPGs* de 2,0 ou mais representam variação relativamente alta. Hald (M-22) afirma que o formato das distribuições log-normal com baixas variações, como aquelas que têm *DPG* menor que aproximadamente 1,4, grosso modo se aproxima do formato da distribuição normal. Para essa extensão de *DPGs*, há uma equivalência irregular entre a quantidade (*DPG* – 1) e o *CV*:

DPG	$(DPG - 1)$	CV
1,05	0,05	0,049
1,10	0,10	0,096
1,20	0,20	0,18
1,30	0,30	0,27
1,40	0,40	0,35

Para os interessados em um estudo detalhado da distribuição log-normal, Aitchinson e Brown (M-23) é uma ótima referência. A Figura M-2 mostra quatro distribuições log-normal diferentes, que compartilham uma média aritmética comum de 10 ppm. As quatro variações diferentes são exibidas com $DPGs$ de 1,2; 1,5; 2,0 e 3,0.

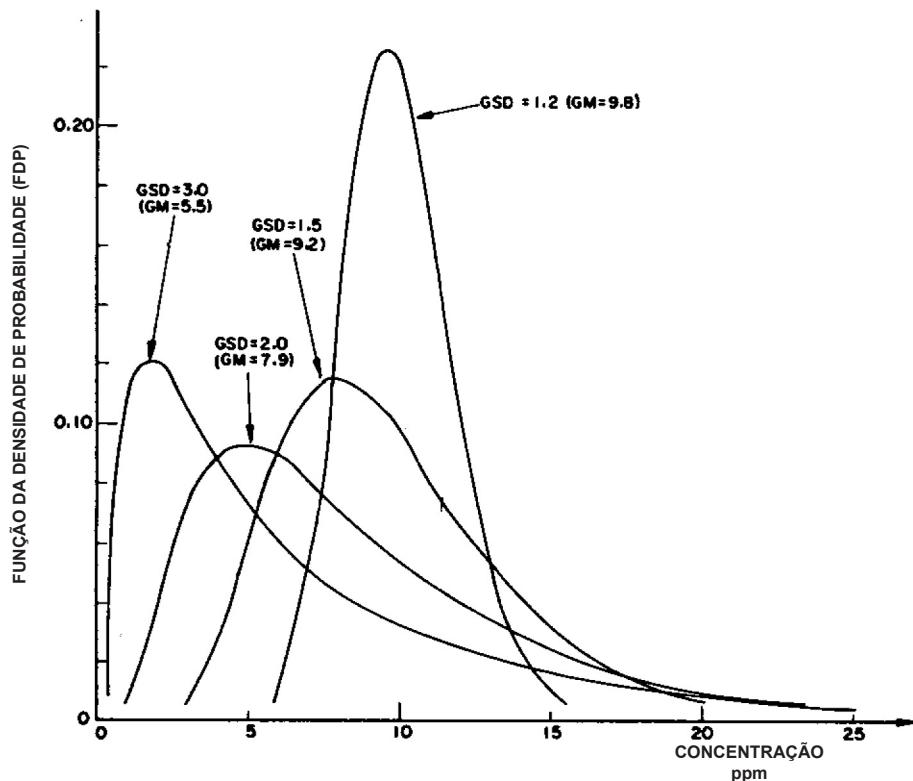


Figura M-2. Distribuições log-normal para média aritmética da concentração de 10 ppm.

FÓRMULAS DE CONVERSÃO PARA UMA DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL DE FREQUÊNCIA

Se a variável ($\ln x$) está distribuída de modo normal (a variável x tem uma distribuição log-normal), podemos definir

μ = média aritmética real da distribuição de x

σ = desvio-padrão real da distribuição de x

μ_i = média aritmética real de ($\ln x$) valores

σ_i = desvio-padrão real de ($\ln x$) valores

MG = média geométrica da distribuição de x

DPG = desvio-padrão geométrico = $\exp(\sigma_i)$ onde ($\ln x$) foi utilizado para calcular σ_i

DPG = antilog₁₀ (σ_i) onde ($\log_{10} x$) foi utilizado.

As relações de conversão entre os seis parâmetros acima são fornecidos pela Tabela M-1.

Observações:

1. As relações se aplicam *apenas* para o parâmetro real da distribuição principal. Elas *não devem* ser utilizadas para parâmetros de uma amostra, exceto como uma aproximação muito irregular.

2. A MG e o DPG são utilizados para descrever parâmetro tanto de uma amostra quanto de uma distribuição principal, mas não nas relações, a menos que sejam calculados a partir da distribuição principal real.

3. O DPG da distribuição de x é o mesmo, independentemente se forem utilizados logaritmos de base 10 ou base e , para calcular σ_i .

TABELA M-1 RELAÇÕES DE CONVERSÃO ENTRE PARÂMETROS LOGARÍTMICOS E PARÂMETROS ARITMÉTICOS DE UMA DISTRIBUIÇÃO LOG-NORMAL

Fornecido	Para se obter	Use
μ_i	MG =	$\frac{\exp(\mu_i)}{\mu^2 / \sqrt{\mu^2 + \sigma^2}}$
μ, σ	MG =	$\exp \sqrt{\ln(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2})}$
σ_i	DPG =	$\frac{\exp(\sigma_i)}{\exp \sqrt{\ln(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2})}}$
μ, σ	DPG =	$(GM) \exp(\frac{1}{2} \sigma_i^2)$
μ_i, σ_i	$\mu =$	$\exp(\mu_i + \frac{1}{2} \sigma_i^2)$
MG, σ_i	$\mu =$	$(GM) \exp(\frac{1}{2} \sigma_i^2)$
μ_i, σ_i	$\sigma =$	$\sqrt{[\exp(2\mu_i + \sigma_i^2)] [\exp(\sigma_i^2) - 1]}$
MG, σ_i	$\sigma =$	$\sqrt{(GM)^2 [\exp(\sigma_i^2)] [\exp(\sigma_i^2) - 1]}$
MG	$\mu_i =$	$\ln(GM)$
μ, σ_i	$\mu_i =$	$\ln \mu - \frac{1}{2} \sigma_i^2$
DPG	$\sigma_i =$	$\ln \frac{(GSD)}{\sqrt{\ln(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2})}}$
μ, σ	$\sigma_i =$	$\sqrt{\ln(1 + \frac{\sigma^2}{\mu^2})}$
μ_i, σ_i	modo	$\exp(\mu_i - \sigma_i^2) = \text{valor mais frequente}$

REFERÊNCIAS

- M-1. Leidel, N. A. e K. A. Busch. *Statistical Methods for the Determination of Noncompliance with Occupational Health Standards*. Informações Técnicas da NIOSH, HEW. No. (NIOSH) 76-131, Cincinnati, Estados Unidos, 45226, 1975.
- M-2. Roach, R. A. Testing Compliance with the AC-GIH Threshold Limit Values for Respirable Dusts Evaluated by Count. *Transactions of the American Industrial Hygiene Association*, pp. 27-39, 1966.
- M-3. Roach, S. A. A More Rational Basis for Air Sampling Programs. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 27: 1-12, 1966.
- M-4. Roach, S. A., E. F. Baier, H. E. Ayer e R. L. Harris. Testing Compliance with Threshold Limit Values for Respirable Dusts. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 28: 543-553, 1967.
- M-5. Kerr, G. W. Use of Statistical Methodology in Environmental Monitoring. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 23: 75-82, 1962.
- M-6. Larsen, R. I. A Method for Determining Source Reduction Required to Meet Quality Standards. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 11: 71, 1961.
- M-7. Larsen, R. I. A New Mathematical Model of Air Pollutant Concentration Averaging Time and Frequency. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 19: 24, 1969.
- M-8. Phinney, D. E. e J. E. Newman. The Precision Associated with the Sampling Frequencies of Total Particulate at Indianapolis, Indiana. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 22: 692-695, 1972.
- M-9. Larsen, R. I. A Mathematical Model for Relating Air Quality Measurements to Air Quality Standards. Agência de Proteção Ambiental, Imprensa Oficial dos Estados Unidos, AP-89, Washington, 20402, 1971.
- M-10. Breslin, A. J., L. Ong, H. Glauberman, A. C. George e P. LeClare. The Accuracy of Dust Exposure Estimates Obtained from Conventional Air Sampling. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 28: 56-61, 1967.
- M-11. Sherwood, R. J. On the Interpretation of Air Sampling for Radioactive Particles. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 27: 98-109, 1966.
- M-12. Sherwood, R. J. The Monitoring of Benzene Exposure by Air Sampling. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 32: 840-846, 1971.
- M-13. Jones, A. R. e R. D. Brief. Evaluating Benzene Exposures. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 32: 610-613, 1971.
- M-14. Gale, H. J. The Lognormal Distribution and Some Examples of Its Application the Field of Radiation Protection. *Atomic Energy Research Establishment Report AERE-R 4736*. Imprensa Oficial da Inglaterra, Londres, 1965.
- M-15. Gale, H. J. Some Examples of the Application of the Lognormal Distribution Radiation Protection. *Annals of Occupational Hygiene*, 10: 39-45, 1967.
- M-16. Coenen, W. The Confidence Limits for the Mean Values of Dust Concentration. *Staub* (Tradução em Inglês), 26: 39-45, Maio de 1966.
- M-17. Coenen, W. Measurement Assessment of the Concentration of Health Impairing, Especially Silocogenic Dusts at Work Places of Surface Industries. *Staub* (Tradução em Inglês), 31: 16-23, Dezembro de 1971.
- M-18. Hounam, R. F. An Application of the LogNormal Distribution to Some Air Sampling Results and Recommendations on the Interpretation of Air Sampling Data. *Atomic Energy Research Establishment Report AERE-M 1469*, Imprensa Oficial da Inglaterra, Londres, 1965.
- M-19. Juda, J. e K. Budzinski. Fehler bei der Bestimmung der mittleren Staubkonzentration als Funktion der Anzahl der Einzelmessungen [Erros na Determinação da Concentração Média de Pó como uma Função do Número de Medições Individuais]. *Staub*, 24 :283-287, Agosto de 1964.
- M-20. Juda, J. e K. Budzinski. Determining the Tolerance Range of the Mean Value of Dust Concentration. *Staub*, 27: Staub (Tradução em Inglês), 27: 12-16, abril de 1967.
- M-21. LeClare, P. L., A. J. Breslin e L. Ong. Factors Affecting the Accuracy of Average Dust Concentration Measurements. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 30: 386-393, 1969.

- M-22. Hald, A. *Statistical Theory with Engineering Applications*. John Wiley e Filhos, Inc., Nova Iorque, 1952.
- M-23. Aitchinson, J. e J. A. C. Brown. *The Lognormal Distribution*. Cambridge at the University Press, Cambridge, Inglaterra, 1963.

APÊNDICE TÉCNICO N

CRITÉRIOS PARA SELECIONAR E EMPREGAR UM CONSULTOR DE HIGIENE INDUSTRIAL

SABER QUANDO UM CONSULTOR É NECESSÁRIO

Depois de ler os capítulos anteriores, você deve conhecer as situações com as quais você pode lidar sozinho. Se você ainda não tem certeza da solução ou se as medidas de controle preliminares foram insatisfatórias, pode ser hora de considerar o emprego de um consultor. Consultores de higiene industrial são empregados principalmente para realizar dois grandes objetivos. O primeiro é o de identificar e avaliar os potenciais riscos para a saúde e segurança dos trabalhadores no ambiente de trabalho. O segundo objetivo é projetar e avaliar a eficácia dos controles para proteger os trabalhadores no local de trabalho. O material e as orientações do presente apêndice estão baseadas em material apresentado no Capítulo 6 do *Manual de Controle de Ruido Industrial* (N-1). O manual deve ser consultado para as diretrizes para a seleção de um consultor de engenharia de controle de ruído.

Mesmo que você possa estar familiarizado com os produtos químicos e processos utilizados na sua fábrica ou oficina, você pode não acreditar que você tem a experiência ou treinamento para avaliar os seus efeitos na saúde e reconhecer situações de exposição potencialmente perigosas. Consultores de higiene industrial competentes são capazes de executar essas tarefas por causa de sua formação e experiência. Além disso, os consultores podem de forma eficiente e economicamente avaliar o tamanho das exposições de empregados, por causa de seu conhecimento no equipamento de amostragem adequado e procedimentos analíticos necessários.

Os consultores também podem dizer se medidas de controle são necessárias ou não, e as alternativas disponíveis. Eles podem projetar, supervisionar a instalação e avaliar a eficácia das medidas de controle. As alternativas incluem a substituição de materiais menos tóxicos e alteração do processo,

controles de engenharia, controles administrativos e controles pessoais, como respiradores. Além disso, se você tiver instalado medidas de controle que não funcionam, você pode ter que dispor de um consultor para resolver o problema. Embora isto possa ser uma decisão difícil, deve ocorrer apenas uma vez. Você deve documentar a situação completamente e empregar o consultor para fornecer informações sobre o que deu errado, seja através de projeto inadequado, instalação incorreta, ou ambos.

Consultores podem ser empregados para mantê-lo ciente das exigências de regulamentações federais e estaduais em curso na área da segurança e saúde ocupacional. Eles podem informá-lo quando os exames médicos de seus funcionários podem ser recomendados ou exigidos pela regulamentação. Eles devem ser capazes de recomendar médicos ou clínicas adequadas em sua área, especializadas em medicina do trabalho. O consultor pode desempenhar um papel importante na disponibilização do médico examinador, com informações sobre as exposições ocupacionais de cada empregado examinado e alertar o médico para exames médicos particulares recomendados ou exigidos pela legislação. Os consultores também pode desenvolver programas de treinamento de funcionários e fornecer informações para eles. Um consultor pode servir como perito se você estiver envolvido em uma ação judicial e dados devem ser obtidos, interpretados e apresentados por um terceiro desinteressado.

SELEÇÃO DE UM CONSULTOR

Agora que você decidiu obter um consultor, como você procederia? Você deve primeiro estar ciente de que atualmente qualquer pessoa pode legalmente oferecer serviços como consultor de higiene industrial. Por isso, cabe a você evitar aqueles que são inadequados por causa da falta de treinamento, inexperiência ou incompetência.

Indivíduos ou empresas anunciando-se como consultores de higiene industrial podem ser classificados de acordo com a recomendação de um determinado procedimento de monitoramento, serviço de exame médico, ou processo de controle, ou consultores independentes.

Tais indivíduos ou empresas, norteados pelo produto, variam conforme a experiência, de vendedores de produtos sem formação técnica a experientes profissionais de higiene industrial. Deve-se recorrer a consultores com interesses específicos, mais comumente identificados pelo grau de associação com a fabricação ou venda de produtos de saúde e higiene ocupacional a varejo, apenas se, pelo uso das técnicas descritas nos capítulos anteriores, você está convencido que sabe qual estratégia de amostragem ou procedimento de controle é aplicável à situação. Nesse caso, a "consultoria" caracteriza-se principalmente de recomendação de equipamentos apropriados para monitoramento de exposição e instalações para análise. Esse tipo de consultoria pode incluir assistência na solicitação de propostas de projeto e instalação de equipamentos de controle, como sistemas de controle de ventilação ou respiradores. O principal problema que resta é redigir o contrato de tal forma que uma solução para o seu problema seja garantida (na medida do possível) por um preço justo. A vantagem de recorrer diretamente a esse grupo é que você evita os custos dos consultores e paga só pelo produto ou serviço. De fato, você atua como seu próprio consultor. A desvantagem de negociar com um consultor orientado para produtos é que a maior probabilidade de haver um erro que pode custar caro, muito mais caro que os honorários cobrados por consultores independentes, pois eles podem não levar em consideração todas as opções disponíveis. Há muitos exemplos de casos em que milhares de dólares foram gastos na compra de um determinado tipo de equipamento de monitoramento, ou na implantação de um determinado sistema de controle, para descobrir depois que os resultados desejados não foram alcançados.

Se houver dúvidas quanto ao método adequado para resolver o problema, chame um consultor independente (alguém livre das amarras de um serviço ou linha de produtos). É sobre esse tipo de consultor em higiene industrial que discutiremos no restante deste apêndice. Existem várias fontes onde se pode obter informações e nomes de consultores disponíveis no local. O National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) possui 10 escritórios regionais em todo o país, localizados nas grandes cidades. Os números de telefone encontram-se listados em "Governo dos Estados Unidos, Departamento de Saúde, Educação e Bem-Estar Social". Os escritórios

regionais do NIOSH geralmente têm listas de consultores da região (que consistem em vários Estados). Os escritórios do NIOSH podem fornecer informações técnicas sobre a vasta gama de assuntos de segurança e saúde ocupacional. A Occupational Safety and Health Administration (OSHA) possui escritórios regionais e das várias áreas, em cada região. Os números de telefone de seus escritórios estão listados em "Governo dos Estados Unidos, Departamento do Trabalho". Os escritórios da OSHA também podem fornecer informações técnicas, especialmente as relacionadas com os padrões federais de segurança e saúde ocupacional. Os escritórios da OSHA prestam um serviço válido no auxílio à determinação de quais padrões podem ser aplicáveis a sua empresa, e a interpretação adequada deles.

Outras fontes de informação são as associações profissionais e organizações públicas ligadas à segurança e saúde ocupacional. Há três grupos nacionais: a American Industrial Hygiene Association (AIHA), a American Society of Safety Engineers (ASSE) e o National Safety Council (NSC). Os três possuem agências, seções ou escritórios nas cidades principais, fonte de informação e assistência. A AIHA publica anualmente em seu periódico *American Industrial Hygiene Association Journal* uma lista de consultores de higiene industrial para cada assunto.

É um pouco mais difícil obter outras fontes. Pode ser que informações úteis sejam encontradas nas Páginas Amarelas. Os cabeçalhos onde se pode buscar são Consultores de Segurança, Fornecedores de Equipamento e Vestuário de Segurança, Controle da Poluição do Ar, daí em diante. Muitas companhias de seguro agora têm programas de prevenção de perdas que emprega higienistas industriais. Pergunte à sua seguradora atual, e, talvez, compare os serviços que eles oferecem com os de outras companhias. Por fim, deve haver alguma universidade ou faculdade na sua região que possua um programa de saúde ambiental. Em geral, a equipe de profissionais delas está disponível para consulta.

ROTEIRO DE PERGUNTAS PARA FUTUROS CONSULTORES

Amelhor proteção contra um consultor incompetente é você mesmo fazer perguntas ao futuro consultor. Segue, abaixo, uma série de questões. Não se deve dar peso igual a todas, pois algumas são de menor importância. (A lista está organizada mais ou menos em ordem decrescente de importância.)

EXPERIÊNCIA

1. Por quanto anos você tem estado profissionalmente ativo em higiene industrial?

2. Por favor, forneça uma lista de clientes recentes a quem você prestou serviço, de preferência em minha região geográfica, e dos problemas semelhantes aos quais estou interessado. Você é continuamente contratado por todos os clientes? (Certifique-se de entrar em contato com as referências para obter a opinião delas sobre os serviços do consultor.)
3. Qual formação ou treinamento você teve em higiene industrial? Quais grupos estavam envolvidos: universidade, indústria, associações comerciais, grupos cívicos, engenheiros, simpósios?

STATUS DA CONSULTORIA

1. Agora você é um consultor independente? Por quantos anos? Em tempo integral ou parcial?
2. Se em tempo parcial:
 - c. Quem é seu empregador principal, ou, em quais outras atividades você está envolvido?
 - d. O seu empregador tem conhecimento e aprova sua atividade em tempo parcial como consultor de higiene industrial?
 - e. Podemos entrar em contato com seu empregador para sabermos de você?
 - f. Quais restrições o seu empregador coloca a você como consultor em tempo parcial?
3. Você está ligado com o fabricante ou vendedor de um produto que poderia criar um conflito de interesses na sua atividade como consultor?

EDUCAÇÃO

1. Quais escolas você frequentou e quais cursos relacionados a higiene industrial você fez?
2. Quais diplomas recebeu, e quando?
3. Quais conferências especiais, seminários, simpósios ou cursos de curta duração você frequentou (principalmente nos últimos tempos), para ficar atualizado com as informações técnicas de higiene industrial e regulamentos governamentais?
4. Quais outras fontes de informação você utiliza para ficar atualizado com o campo da higiene industrial?

AFILIAÇÕES PROFISSIONAIS

1. Você pertence a quais associações industriais? (Algumas representativas são a American Industrial Hygiene Association, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, American Society of Safety Engineers.) Qual seu presente grau de associação, e qual o período de tempo do grau de cada associação?
2. Você é certificado em uma das seguintes?

- a. American Board of Industrial Hygiene (especifique a área de certificação)
- b. Board of Certified Safety Professionals
- c. Environmental Engineering Intersociety Board (como engenheiro de higiene industrial)
3. Você é um engenheiro profissional registrado? Em quais estados e áreas?
4. De quais associações profissionais de engenharia você ou sua empresa é membro?
5. De quais associações comerciais, câmaras de comércio ou grupos comerciais semelhantes você ou sua empresa é membro?

HABILIDADES ESPECIAIS

1. Em quais áreas da higiene industrial você é especialista?
 - Estudos e/ou análises abrangentes de instalações
 - Ventilação
 - Controle de ruídos
 - Audiometria
 - Monitoramento biológico
 - Estresse térmico
 - Ergonomia
 - Medicina do trabalho
 - Segurança
 - Segurança e rotulagem de produtos
 - Controle radiológico
 - Ensino em treinamentos
 - Poluição do ar
 - Meteorologia
 - Eliminação de resíduos
 - Poluição da água
2. Quais equipamentos você possui para executar as avaliações de higiene industrial em minha fábrica ou local de trabalho?
3. Quais laboratórios você utiliza para a análise de suas amostras de medição de exposição? Eles são autorizados pela Associação Americana de Higiene Industrial? Eles participam do Programa de Teste de Proficiência Analítica, da NIOSH, e para quais materiais? (A Revista da AIHA publica periodicamente uma lista de laboratórios autorizados.)
4. Quais equipamentos você possui para calibrar a aparelhagem de teste, como bombas e instrumentos de leitura discreta? Possui um programa de calibração para seus equipamentos?
5. Você pode me indicar um médico ou clínico ge-

- ral capaz de realizar exames de pré-contratação, periódicos ou diagnósticos, dos meus funcionários, se eles forem solicitados? Você tem alguma relação comercial com esses indivíduos ou escritórios?
6. Poderia me indicar escritórios de engenharia capazes de instalar controles como sistemas de ventilação local, se eles forem necessários? Você tem alguma relação comercial com esses escritórios?

7. Você pode me indicar fornecedores de equipamentos adequados de segurança caso seja necessário adquirir equipamentos de proteção individual para algum dos meus funcionários? Você tem alguma relação comercial com esses escritórios?
8. Você pode ser perito para um cliente ou um amigo, no tribunal? Quais experiências você teve como perito?

PRÁTICAS DE ATUAÇÃO PROFISSIONAL

1. Por favor, indique seu sistema de honorários. Você cobra por hora, por estimativa do trabalho total, por adiantamento ou algum desses citados?
2. Nos preços, como você trata despesas como viagem, alimentação, embarque, reprodução de relatórios e tempo no computador?
3. Você pode fornecer uma lista de taxas comuns de laboratórios de análises?
4. Se utiliza um formulário de contrato, favor fornecer um exemplar.
5. Quais seguros e vínculos você possui?
6. Quais declarações seus contratos possuem, quanto a proteção comercial, responsabilidade civil e direitos de patente?
7. Quais restrições existem quanto ao uso do seu nome em nossos registros, em processos ou em propagandas?
8. Em qual caractere e com qual extensão você prepara os relatórios? Pode fornecer um exemplo?
9. Quais instalações você possui para produzir desenhos de projetos para sistemas de controle que podem ser necessários?
10. Qual o tamanho da sua equipe? Quais as qualificações dos membros dela? Quem irá trabalhar neste projeto?
11. Você possui filiais? Onde?
12. Você está trabalhando como autônomo, em parceria ou em uma empresa?

A PROPOSTA

Depois de selecionar um consultor, você pode providenciar os serviços dele de várias maneiras.

Às vezes, só é necessário um compromisso verbal. Entretanto, você pode solicitar uma proposta por escrito que expresse os passos a serem tomados para a solução do seu problema.

Muitas vezes, em um trabalho maior, propostas com vários pontos de vistas são avaliadas e utilizada como uma das bases para a seleção final do consultor. Nesse caso, as respostas às questões pertinentes à seção anterior podem ser solicitadas nas propostas, ao invés de na entrevista. Se assim for, a avaliação da proposta com esse ponto de vista a partir da discussão acima é evidente por si mesma. Se as perguntas nas quais você está interessado não forem respondidas de forma satisfatória, não hesite em pedir mais explicações. Na discussão abaixo, estamos interessados na seção da proposta que delinea a abordagem que o consultor fará do seu problema.

Além das qualificações da experiência do consultor, a proposta deve responder essas questões:

Quanto o serviço vai custar? Os trabalhos menores são frequentemente solicitados por hora, com um mínimo de meio dia de trabalho, mais despesas diretas comumente especificadas. Os trabalhos maiores são geralmente solicitados por uma quantidade fixa, como base das etapas de trabalho descritas.

O que o consultor irá fazer? A resposta a essa questão pode alcançar tudo, de um simples acordo para estudar o problema até um plano exaustivo com o passo-a-passo para resolvê-lo.

Qual será o resultado final? A resposta para essa pergunta não é claramente entendida com muita frequência; o resultado é geralmente um relatório que especifica as recomendações do consultor. Se você não quer pagar para a preparação de um relatório escrito, e um verbal é suficiente, especifique previamente. Sendo que as recomendações muitas vezes consideram que a construção será realizada por outros, cujo trabalho não está sujeito ao controle do consultor, os resultados geralmente podem não ser garantidos. Em vez disso, uma estimativa do controle da exposição a ser alcançada é tudo o que se pode esperar. Se é para o consultor fornecer desenhos a partir dos quais o empreiteiro irá executar o trabalho, é preciso especificar esboços ou desenhos finalizados. Em geral, os esboços são suficientes. Se forem necessários materiais especiais, o consultor deve concordar em especificar as seleções alternativas, se possível. Se você quer um resultado garantido, o trabalho experimental será necessário em geral.

OUTROS SERVIÇOS

Se desejar, o consultor também pode monitorar a construção para determinar a conformidade com as especificações. O consultor também pode medir, após

a instalação, para confirmar as previsões e fornecer instruções verbais, conforme necessário.

Se é para o consultor trabalhar como perito, você vai descobrir que ele não está automaticamente do seu lado. Ao contrário, ele é mais como um amigo do tribunal, dedicado a trazer os fatos que desenvolveu, com a separação cuidadosa entre os fatos e a opinião de especialista. É necessário ter franqueza total, se quer evitar surpresas desagradáveis. Por exemplo, o advogado do adversário pode solicitar ao consultor uma cópia do seu relatório. Portanto, o relatório deve ser preparado tendo essa possibilidade em mente.

Se o consultor é contratado para desenvolver um dispositivo de controle específico para você, faça um acordo sobre os direitos de patente. Normalmente, a patente é atribuída ao cliente, com uma provável combinação de royalty para o inventor.

Para muitas situações, o consultor necessitará de fotografias, planos de máquinas, e do traçado do seu escritório, para avaliação. Pode-se conceder a permissão para obter isso de forma consistente com o seu sistema de segurança industrial.

Os comentários deste capítulo devem ser lidos com o entendimento de que, quando os aspectos jurídicos estão envolvidos, será providenciado um consultor jurídico para trabalhar com você e seu consultor.

REFERÊNCIAS

- N-1. Salmon, V., J. S. Mills e A. C. Petersen. Manual de Controle de Ruídos Industriais, Informativo Técnico da NIOSH, HEW Pub. No. (NIOSH) 75-183, 1975. Disponível na Superintendência de Documentos, Imprensa Oficial dos Estados Unidos, Washington, DC 20402, conforme GPO # 1733-00073.