

RUBIA ALVES DA LUZ SANTOS

**SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES E VÁCUO
MEDICINAIS – UMA ABORDAGEM PARA O
GERENCIAMENTO DA TECNOLOGIA MÉDICO-
HOSPITALAR**

FLORIANÓPOLIS

2002

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
ELÉTRICA**

**SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES E VÁCUO
MEDICINAIS – UMA ABORDAGEM PARA O
GERENCIAMENTO DA TECNOLOGIA MÉDICO-
HOSPITALAR**

Dissertação submetida à
Universidade Federal de Santa Catarina
como parte dos requisitos para a
obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

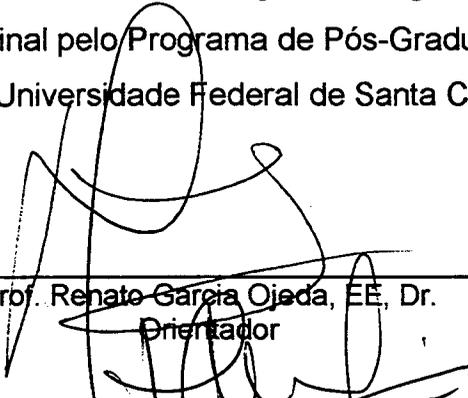
RUBIA ALVES DA LUZ SANTOS

Florianópolis, Abril de 2002.

SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES E VÁCUO MEDICINAIS - UMA ABORDAGEM PARA O GERENCIAMENTO DA TECNOLOGIA MÉDICO- HOSPITALAR

Rubia Alves da Luz Santos

'Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica, Área de Concentração em Engenharia Biomédica, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Santa Catarina.'



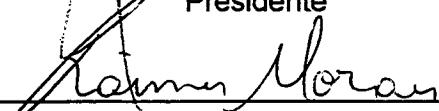
Prof. Renato Garcia Ojeda, EE, Dr.
Orientador

Prof. Edson Roberto De Pieri, D.Sc.
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:



Prof. Renato Garcia Ojeda, EE, Dr.
Presidente



Prof. Raimes Moraes, EE, Ph.D.



Prof. Hans Helmut Zürn, EE, Ph.D.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao Eng. Alisson Tolotti em agradecimento à paciência, ao incentivo e ao amor ofertados em todos os momentos.

Assim como, aos meus queridos pais e irmãos que com o amor de família me ensinaram valores como dedicação e perseverança.

A G R A D E C I M E N T O S

**Agradeço a todos os amigos do IEB pela orientação e apoio recebidos ao longo do trabalho, em especial, Luís Antônio Glowacki, Marcos Lucatelli, Erlon de Rocco, Ana Cláudia Rubi Castro, Carlos Esperança, Edileusa Berns, Léo Albornoz, Jorilton, Reinaldo, Fábio Kolzer, Kleide, Sylara, Marcos Pacheco, Sandro Vieira, Joel Martins, Juliano Martins, Gladston, Sabrina, Márcio "Mineiro", Flávio, Patrícia, Marisete, Humberto "Baiano", Carlos Pantaleão, Euler, Bruno, Wilson, Gisele, Renan, Luciano....
Agradeço também ao amigo, incentivador e colaborador, Wayne Beskow.**

Assim como, as empresas que contribuíram com informações técnicas para o enriquecimento da pesquisa, em especial nas pessoas de Pedro Caires, Douglas Rosa, Felipe e David Chaves, Geraldo Pergher.

Aos profissionais das equipes de manutenção dos hospitais estudados, pela atenção e informações dispendidas.

A orientação do prof. Renato Garcia Ojeda.

E a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a conclusão deste estudo.

Resumo da Dissertação apresentada à UFSC como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES E VÁCUO MEDICINAIS - UMA ABORDAGEM PARA O GERENCIAMENTO DA TECNOLOGIA MÉDICO- HOSPITALAR

Rubia Alves da Luz Santos

Abril /2002

Orientador: Prof. Renato Garcia Ojeda, EE, Dr.

Área de Concentração: Engenharia Biomédica.

Palavras-chave: Engenharia Clínica, sistemas centralizados, oxigênio, ar, óxido nítrico, vácuo.

Número de páginas:155

RESUMO: Este trabalho aborda os sistemas centralizados de oxigênio, óxido nítrico, ar e vácuo medicinais, os quais são compostos pela central de suprimento, rede de distribuição e postos de utilização. Também retrata como a qualidade do gerenciamento destes sistemas influencia outros elementos da tecnologia médico-hospitalar, tais como os equipamentos que utilizam os gases e vácuo, o atendimento ao paciente, a efetividade e a relação custo-benefício. São discutidos aspectos relacionados ao projeto, execução e manutenção, após uma descrição das principais características dos sistemas centralizados e dos equipamentos que os compõem, bem como das recomendações normativas e regulamentações nacionais vigentes. Com base nas informações teóricas reunidas, um estudo de caso foi realizado através da coleta de dados e análise em centrais de suprimento e redes de distribuição de quatro hospitais públicos e quatro privados localizados no estado de Santa Catarina. Para quantificar a severidade e a ocorrência dos possíveis problemas decorrentes das desconformidades pesquisadas, propõe-se uma metodologia baseada na técnica de Análise de Efeitos, Modos de Falha e Criticalidade (FMECA). A análise dos dados da pesquisa mostra que algumas desconformidades encontradas independem do tipo de hospital, como exemplo, dos hospitais públicos e privados visitados, 100% não possuem alarmes operacionais indicando quando o suprimento secundário ou reserva está em operação e o acionamento é realizado de forma manual. O propósito deste trabalho é propor uma metodologia aplicável por estruturas de engenharia clínica, ou a assessoria destas estruturas aos profissionais responsáveis por estes sistemas, com o objetivo de melhorar a situação atual.

Abstract of Dissertation presented to UFSC as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Electrical Engineering.

CENTRALIZED SYSTEMS OF MEDICINAL GASES AND VACUUM - AN APPROACH FOR THE MANAGEMENT OF THE MEDICAL AND HEALTHCARE TECHNOLOGIES

Rubia Alves da Luz Santos

April/2002

Advisor: Prof. Renato Garcia Ojeda, EE, Dr.

Area of Concentration: Biomedical Engineering.

Keywords: Clinical Engineering, centralized systems, oxygen, air, oxide nitrous, vacuum.

Number of Pages: 155

ABSTRACT: This work is about the centralized systems of medicinal oxygen, nitrous oxide, air and vacuum, which are composed of the supply station, piping system and gas outlets. The research also portrays how the quality of the management these systems influences other aspects of the healthcare technologies, such as the operation of equipment using the gases and vacuum, on the patient reception and in the cost-effectiveness ratio. Topics related to the project, execution and maintenance are discussed, following a description of the main characteristics of the centralized systems and the equipment that compose them, the normative recommendations and the national regulations on use. Based on the gathered theoretical information, a case study was carried out with the analysis of the data collected in supply stations and piping systems of four public and four private hospitals located in the state of Santa Catarina. In order to quantify the magnitude and frequency of the detected problems, the technique of Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMECA) was used. Data analysis shows that some results are unrelated to the kind of hospital: 100% of the public and private hospitals visited, don't possess operational alarms indicating when the backup supply or reservation is in use and the shift between supplies is done manually. This study is intended to discuss an applicable methodology for clinical engineering teams, or the assistance of these teams to the responsible professionals for these systems, with the objective of improving the current situation.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo Geral.....	3
1.2 Objetivos Específicos.....	3
1.3 Justificativas.....	4
1.4 Metodologia.....	6
1.5 Organização do trabalho.....	7
2 GASES MEDICINAIS MAIS UTILIZADOS EM HOSPITAIS: OXIGÊNIO, ÓXIDO NITROSO, AR E VÁCUO.....	9
2.1 INTRODUÇÃO.....	9
2.2 OXIGÊNIO.....	9
2.2.1 Características.....	9
2.2.2 Obtenção.....	11
2.2.3 Aplicações.....	15
2.3 ÓXIDO NITROSO.....	19
2.3.1 Características.....	19
2.3.2 Obtenção.....	20
2.3.3 Aplicações.....	21
2.4 AR MEDICINAL.....	22
2.4.1 Características.....	22
2.4.2 Obtenção.....	22
2.4.3 Aplicações.....	23
2.5 VÁCUO.....	24
2.5.1 Características.....	24
2.5.2 Obtenção.....	24
2.5.3 Aplicações.....	24
3 NORMATIZAÇÃO.....	25
3.1 INTRODUÇÃO.....	25
3.2 NB 254 - SISTEMAS CENTRALIZADOS DE AGENTES OXIDANTES DE USO MEDICINAL / SISTEMAS DE GASES NÃO INFLAMÁVEIS USADOS A PARTIR DE CENTRAIS EM HOSPITAIS.....	25
3.3 NBR 12188 – SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES MEDICINAIS (OXIGÊNIO, AR E ÓXIDO NITROSO) E VÁCUO EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE.....	26
3.4 NBR 12274 – INSPEÇÃO EM CILINDROS DE AÇO, SEM COSTURA PARA GASES.....	26
3.5 NBR 13164 – TUBOS FLEXÍVEIS PARA CONDUÇÃO DE GASES MEDICINAIS SOB BAIXA PRESSÃO.....	27

3.6	NBR 12176 – CILINDROS PARA GASES – IDENTIFICAÇÃO DO CONTEÚDO	27
3.7	PORTARIA Nº 1884 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE - NORMAS PARA PROJETOS FÍSICOS DE ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE	28
3.8	NBR 13587 – ESTABELECIMENTO ASSISTENCIAL DE SAÚDE – CONCENTRADOR DE OXIGÊNIO PARA USO EM SISTEMA CENTRALIZADO DE OXIGÊNIO MEDICINAL	28
3.9	RESOLUÇÃO Nº 1355 DO CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA	29
4	SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES MEDICINAIS E VÁCUO.....	31
4.1	INTRODUÇÃO	31
4.2	CENTRAL DE SUPRIMENTO.....	31
4.2.1	Central de Suprimento com Tanques Estacionários.....	31
4.2.2	Central de suprimento com cilindros	35
4.2.3	Central de suprimento com compressores de ar	42
4.2.4	Central de suprimento com sistema especial de mistura	50
4.2.5	Sistema de vácuo	52
4.2.6	Central de suprimento utilizando equipamento concentrador de oxigênio.....	54
4.3	REDE DE DISTRIBUIÇÃO	56
4.3.1	Tubulações	57
4.3.2	Válvulas de seção	60
4.3.3	Sistemas de alarme	61
4.4	POSTOS DE UTILIZAÇÃO.....	62
5	EQUIPAMENTOS MÉDICO-ASSISTENCIAIS QUE UTILIZAM GASES E VÁCUO MEDICINAIS FORNECIDOS POR SISTEMAS CENTRALIZADOS.....	63
5.1	INTRODUÇÃO	63
5.2	EQUIPAMENTOS PARA GASOTERAPIA.....	63
5.2.1	Tomada dupla ou tripla	63
5.2.2	Fluxômetro	63
5.2.3	Umidificador	64
5.2.4	Aspiradores de Secreção	65
5.2.5	Válvula Reguladora de Pressão	65
5.3	VENTILADOR PULMONAR	66
5.4	APARELHO DE ANESTESIA	67
6	GERENCIAMENTO DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES E VÁCUO MEDICINAIS	68
6.1	INTRODUÇÃO	68
6.2	PROJETO.....	68
6.2.1	Cálculos e dimensionamento	69
6.2.2	Traçado, detalhamento e desenho	71
6.3	EXECUÇÃO.....	73
6.4	MANUTENÇÃO	74
6.4.1	Centrais de suprimento	74
6.4.2	Rede de distribuição	80
6.4.3	Postos de utilização	82
7	ESTUDO DE CASO – VERIFICAÇÃO DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES E VÁCUO MEDICINAIS EM HOSPITAIS DE SANTA CATARINA.....	83

7.1	INTRODUÇÃO.....	83
7.2	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	83
7.3	RESULTADOS.....	86
7.4	APLICAÇÃO DO FMECA NA QUANTIFICAÇÃO DE RISCOS E NO AUXÍLIO AO GERENCIAMENTO.....	92
8	DISCUSSÕES, CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS 100	
8.1	DISCUSSÕES.....	100
8.2	CONCLUSÕES.....	110
8.3	TRABALHOS PROPOSTOS.....	112
	GLOSSÁRIO.....	114
	ANEXOS.....	117
	ANEXO 1	
	<i>Tabelas de conversão de unidades de pressão e vazão.....</i>	<i>118</i>
	ANEXO 2	
	<i>Características físico-químicas dos gases.....</i>	<i>121</i>
	ANEXO 3	
	<i>Portaria 1884/1994 do Ministério da Saúde - normas para projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde</i>	
	<i>Instalações fluído-mecânicas.....</i>	<i>125</i>
	ANEXO 4	
	<i>Exemplo de um projeto de um sistema centralizado de oxigênio, óxido nitroso e ar medicinal.....</i>	<i>132</i>
	ANEXO 5	
	<i>Exemplos de formulários de pesquisa.....</i>	<i>135</i>
	ANEXO 6	
	<i>Exemplos de planilhas baseadas no FMECA.....</i>	<i>140</i>
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	147

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1 Processo criogênico de obtenção do oxigênio</i>	12
<i>Figura 2.2 Diagrama ilustrativo do processo PSA de obtenção do oxigênio</i>	14
<i>Figura 2.3 Trocas gasosas nos pulmões</i>	16
<i>Figura 4.1 Diagrama ilustrativo de um tanque criogênico estacionário</i>	33
<i>Figura 4.2 (a) Partes de um cilindro</i>	38
<i>Figura 4.2(b) Especificações de um cilindro</i>	38
<i>Figura 4.3 Central de suprimento com cilindros 2x2</i>	41
<i>Figura 4.4 Distâncias definidas pela portaria 1884 (1994) para localização do ponto de captação de ar de uma central com compressor</i>	44
<i>Figura 4.5 Esquema de funcionamento de um misturador de ar medicinal</i>	51
<i>Figura 4.6 Instalação de uma central de vácuo</i>	53
<i>Figura 4.7 Lay-out da faixa de identificação da tubulação</i>	60
<i>Figura 7.1 Fluxograma das etapas da metodologia adotada no estudo de caso</i> .	86

LISTA DE TABELAS

<i>Tabela 2.1 Especificação exigida do oxigênio fornecido pelos concentradores...</i>	10
<i>Tabela 2.2 – Comparativo entre os processos de obtenção do oxigênio</i>	15
<i>Tabela 2.3 – Relação entre nível de PaO₂ e manifestações clínicas</i>	17
<i>Tabela 2.4 – Composição do ar atmosférico</i>	22
<i>Tabela 2.5 – Características do ar medicinal</i>	23
<i>Tabela 4.1 – Identificação dos cilindros de gases medicinais</i>	37
<i>Tabela 4.2 – Distâncias entre suportes dos tubos.....</i>	57
<i>Tabela 4.3 – Características dimensionais dos tubos da rede de distribuição</i>	58
<i>Tabela 4.4 – Cor de identificação da tubulação</i>	59
<i>Tabela 4.5 - Espaçamento entre tubos paralelos.....</i>	60
<i>Tabela 6.1- Quantidade de postos de utilização de oxigênio, ar medicinal e óxido nitroso em função da pressão e do diâmetro da tubulação, considerando-se uma demanda de 10 litros/min/ponto</i>	69
<i>Tabela 6.2 – Itens verificados em um compressor parafuso lubrificado a óleo</i>	77
<i>Tabela 7.1 Etapas da elaboração das planilhas do FMECA</i>	93
<i>Tabela 7.2- Descrição da escala de severidade.....</i>	94
<i>Tabela 7.3 - Escala de avaliação de ocorrência.....</i>	95
<i>Tabela 7.4 Planilha de FMECA para central de suprimento com cilindros.....</i>	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GTMH	Gerenciamento da tecnologia médico-hospitalar
EMH	Equipamento médico-hospitalar
EEM	Equipamento eletro-médico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma brasileira regulamentadora
FMECA	<i>Failure modes, effects and criticality analysis</i>
EPI	Equipamento de proteção individual
PVSA	<i>Pressure vaccum swing adsorption</i>
PSA	<i>Pressure swing adsorption</i>
EAS	Estabelecimento assistencial de saúde
CO₂	Dióxido de carbono
CO	Monóxido de carbono
PaO₂	Pressão parcial de oxigênio
SaO₂	Saturação arterial de oxigênio
PaCO₂	Pressão parcial do gás carbônico
FIO₂	Fração inspirada de oxigênio
DPOC	Doença pulmonar obstrutiva crônica
CE	Comissão de estudo
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
DOT	United States Department of Transportation
GLP	Gases liquefeitos de petróleo
TSA	<i>Thermal swing adsorption</i>
CCIH	Comissão de Controle de Infecção Hospitalar
Crea	Conselho Regional de Engenharia e Arquitetura e Agronomia
ART	Anotação de responsabilidade técnica
PTFE	Politetrafluoretileno
NFPA	National Fire Protection Association
Celec	Centro Local de Engenharia Clínica
CIASC	Centro de Informática e Automação de Santa Catarina
SES	Secretaria de Estado de Saúde
CE	Comissão de Estudos

DIT Dimensionamento e Incorporação de Tecnologia
IEB Instituto de Engenharia Biomédica
UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

1 INTRODUÇÃO

O emprego de gases medicinais como o oxigênio e o óxido nitroso, em procedimentos terapêuticos e anestésicos ocorre há cerca de duzentos anos. A utilização desses gases era feita de maneira descentralizada, através do deslocamento de cilindros contendo o oxigênio, o ar medicinal ou o óxido nitroso até o paciente. Entretanto, a movimentação destes cilindros dentro do hospital, além do risco de acidentes, trazia outros inconvenientes, tais como o risco de falta do gás durante o procedimento, a perturbação do paciente durante a manipulação do gás, a sujeira trazida pelo cilindro, entre outros.

Com o uso crescente do oxigênio, ar medicinal, óxido nitroso e do vácuo, a utilização dos cilindros, compressores e bombas portáteis distribuída nos setores dos hospitais foi substituída pelos sistemas centralizados, nos quais os gases ou o vácuo são conduzidos de uma central de suprimento até os postos de utilização onde são administrados ao paciente.

Assim como água e energia elétrica, gases e vácuo medicinais são suprimentos essenciais para o funcionamento dos estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS), sendo o gerenciamento destes sistemas fundamental na garantia da relação custo-efetividade. Segundo ALBORNOZ (2000), todo EAS depende das variáveis recursos humanos, tecnologia e infra-estrutura e, caso não haja um equilíbrio nessas, a qualidade e a efetividade estarão comprometidas. Dessa maneira, a preocupação apenas com o gerenciamento de equipamentos médico-hospitalares é um pensamento limitado, pois a funcionalidade destes depende diretamente da infra-estrutura em que estão alocados.

Dessa forma, neste trabalho serão discutidos os principais equipamentos componentes de uma central de suprimento, bem como alguns pontos que devem ser observados durante a elaboração do projeto, a execução da rede de distribuição e a manutenção dos sistemas, de modo a garantir a sua funcionalidade.

A problemática acerca da gestão da tecnologia médico-hospitalar está nas situações relacionadas às atividades de especificação, compra, recebimento e instalação de equipamentos; treinamento dos operadores; manutenções preventivas e corretivas e na substituição da tecnologia (BESKOW, 2001). Dessa

maneira, o autor ainda refere que este tipo de gestão deve ser feito com a ajuda de profissionais qualificados e detentores de conhecimentos técnicos capazes de coordenar todas as etapas citadas, características que podem ser encontradas em profissionais da engenharia clínica.

Como os gases e vácuo medicinais são caracterizados como insumos, e estes, como um elemento da tecnologia médico-hospitalar, cabe às estruturas de engenharia clínica o seu gerenciamento ou a assessoria aos profissionais responsáveis. Assim, o propósito deste trabalho é apresentar embasamento teórico, normas e metodologia como ferramentas para que profissionais da engenharia clínica, direta ou indiretamente, possam melhorar a relação custo-benefício desses sistemas, proporcionando maior qualidade e segurança para o paciente.

1.1 OBJETIVO GERAL

Estruturar uma proposta de metodologia para gerenciamento dos sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais utilizados em estabelecimentos assistenciais de saúde, ressaltando aspectos que devem ser considerados durante seu projeto, execução, operação e manutenção, implementada ou coordenada por equipes de engenharia clínica, responsáveis pela gestão da tecnologia médico-hospitalar, na busca da efetividade e adequação ao uso.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com o desenvolvimento desta pesquisa, foram assumidos os seguintes objetivos específicos:

- Estudar as características e processos de obtenção do oxigênio, óxido nitroso, ar e vácuo medicinais.
- Abordar a utilização clínica do oxigênio, ar comprimido, óxido nitroso e vácuo.
- Descrever problemas causados em equipamentos médico-assistenciais que fazem uso do suprimento de ar comprimido, tais como ventilador pulmonar e aparelho de anestesia.
- Relatar os problemas mais comuns encontrados em equipamentos de gasoterapia utilizados para a administração dos gases e vácuo medicinais, tais como fluxômetro, válvula reguladora de pressão, aspirador de secreção, tomada dupla ou tripla e umidificador.
- Identificar as condições em que operam os sistemas centralizados que possuem central com suprimento primário de cilindros, tanque criogênico, compressor de ar, concentrador, sistema especial de mistura e vácuo em hospitais públicos e privados envolvidos no estudo de caso.
- Pesquisar as recomendações normativas vigentes.
- Propor rotinas de gerenciamento dos sistemas centralizados que possuem central com suprimento primário de cilindros, tanque criogênico, compressor de ar, concentrador, sistema especial de mistura e vácuo.

- Propor adequações nos sistemas centralizados que possuem central com suprimento primário de cilindros, tanque criogênico, compressor de ar, concentrador, sistema especial de mistura e vácuo, analisados no estudo de caso, como forma de obter maior qualidade e consumo racional.

1.3 JUSTIFICATIVAS

Em virtude do avanço tecnológico ocorrido nos anos 80, houve uma grande disponibilização de equipamentos médico-hospitalares (EMH), possibilitando e facilitando o trabalho do corpo clínico e de enfermagem. Entretanto, as dificuldades de gestão desta tecnologia acompanharam essa evolução, sendo minimizadas pelo surgimento de profissionais com conhecimentos multidisciplinares de saúde e tecnologia, denominados engenheiros clínicos.

A gestão da tecnologia médico-hospitalar influencia de maneira decisiva na funcionalidade do equipamento, pois envolve desde a sua especificação e aquisição, treinamento do usuário, acompanhamento da rotina do equipamento com avaliação e coordenação de manutenções até o seu descarte. Todas essas ações são desenvolvidas por profissionais da engenharia clínica, os quais, segundo BRONZINO (1994 apud BESKOW, 2001), são responsáveis pela ligação entre o corpo clínico, os administradores hospitalares, representantes comerciais e agências regulamentadoras, garantindo que a tecnologia médico-hospitalar seja utilizada com segurança e efetividade. Também existe outro aspecto que envolve de maneira direta a gestão da tecnologia médico-hospitalar e diz respeito à preocupação com a infra-estrutura na qual o equipamento está inserido, sendo necessárias condições mínimas que assegurem a sua funcionalidade e segurança.

Certos suprimentos, como a energia elétrica, a água, os gases e vácuo medicinais, dão suporte a diversos procedimentos médicos e garantem os aspectos funcionais, se não na totalidade, em grande parte dos EMH. Assim, o tema desta pesquisa está relacionado ao estudo dos principais gases utilizados no ambiente hospitalar, como o oxigênio, o óxido nitroso e o ar comprimido, abrangendo também o vácuo medicinal.

Atualmente, em hospitais que possuem estrutura de engenharia clínica, aos poucos a responsabilidade pela manutenibilidade dos sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais está sendo incorporada a sua rotina, superando as limitações encontradas nos profissionais que até então eram responsáveis pelo gerenciamento desses sistemas.

Os gases abordados neste estudo são vitais para certos tipos de pacientes, e o cuidado em evitar a interrupção em seu fornecimento e em garantir a sua qualidade é um aspecto fundamental para o funcionamento de um estabelecimento assistencial de saúde (EAS). Isso leva a reforçar a preocupação com a manutenibilidade dos sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais, pois, com o abastecimento do hospital de forma centralizada, quaisquer problemas nas centrais de suprimento poderão atingir coletivamente os pacientes.

Em geral, estima-se que os problemas mais comuns estejam relacionados às centrais de suprimento de ar e vácuo medicinais, as quais são formadas por equipamentos mecânicos que exigem manutenção periódica, geralmente realizadas por profissionais do próprio estabelecimento de saúde ou por empresas com contrato de manutenção. A deficiência no gerenciamento desses sistemas se reflete na utilização de equipamentos inadequados, como compressores lubrificados a óleo para fornecimento de ar medicinal, ponto de captação do ar localizado no interior de um recinto que não possui ventilação e próximo ao sistema de vácuo, sistemas de tratamento do ar precários ou inexistentes, que podem proporcionar a geração do ar contaminado com óleo, água, partículas e agentes patogênicos. Nessas condições, o ar será utilizado em equipamentos de suporte ventilatório, ocasionando a danificação dos seus componentes e gerando custos com manutenções e a sua indisponibilidade. Deve-se considerar ainda a saúde do paciente que utiliza este equipamento, pois, por estar fragilizado, torna-se suscetível à ação de agentes contaminantes, como no caso do ar como um vetor de infecção pulmonar.

Hospitais que utilizam centrais com concentradores para produção do oxigênio também necessitam de profissionais responsáveis pela manutenção constante destes sistemas, pois, em caso contrário, haverá problemas equivalentes aos discutidos anteriormente. Existe também o agravante da

possibilidade de serem administradas ao paciente misturas de gases com o oxigênio com baixa concentração, o que pode colocar em risco a sua vida.

Na maioria dos hospitais, o fornecimento do oxigênio e do óxido nitroso é responsabilidade de empresas fornecedoras de gases, as quais possuem equipes de profissionais que prestam manutenção das centrais de suprimento. Como forma de contornar os problemas enfrentados com a qualidade do ar comprimido medicinal, discutidos anteriormente, substituiu-se o ar comprimido pelo oxigênio para a movimentação de equipamentos pneumáticos, aspiração de secreções, nebulizações e outros, o que leva ao seu uso indiscriminado e gera custos consideráveis para os EAS. Colaborando com esse quadro de desperdício, existem os vazamentos nos postos de utilização, que poderiam ser minimizados com rotinas simples de manutenções.

Dessa maneira, entende-se que as dificuldades encontradas possam ser contornadas com o gerenciamento adequado desses sistemas, desde o seu projeto até sua execução, operação e manutenção.

1.4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho iniciou com a pesquisa bibliográfica sobre o tema proposto, de modo a sintetizar informações e limitar a abrangência dos assuntos abordados.

Paralelamente ao estudo através da leitura, foram realizadas visitas a hospitais para interação com o corpo técnico e clínico de maneira a enriquecer a pesquisa com informações práticas.

Além disso, o envolvimento em projetos da área de Dimensionamento e Incorporação de Tecnologia (DIT) coordenados pela Engenharia Clínica (EC) do Instituto de Engenharia Biomédica da Universidade Federal de Santa Catarina (IEB-UFSC) proporcionou o contato com empresas e o questionamento acerca da aplicação prática das recomendações normativas.

A participação das reuniões de discussão da ABNT sobre a NBR 12188 – “Sistemas centralizados de oxigênio, ar comprimido, óxido nitroso e vácuo para uso medicinal em estabelecimentos assistenciais de saúde”- permitiu o esclarecimento de dúvidas e a cooperação do estudo referido realizado através

de uma entidade imparcial e de pesquisa, representada pela pesquisadora, no estudo e reformulação desta norma.

A próxima etapa do trabalho foi colocar em prática o conhecimento sintetizado, primeiramente através da utilização de formulários de pesquisa elaborados com base em recomendações normativas, tais como NBR 12188 (revisão de novembro de 2001), NBR 13587 (1996), Portaria 1884 (1994) e Resolução 1355 (1992), de modo a verificar a realidade dos hospitais estudados.

Com base nos dados coletados, as não-conformidades mais comuns aos hospitais foram avaliadas utilizando-se uma planilha semelhante à construída no FMECA (Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Criticalidade), para verificação do grau de risco que cada uma proporciona e das maneiras de corrigí-las. Segundo SAKURADA (2001), o FMECA é uma técnica utilizada de maneira a prevenir problemas e a identificar as soluções mais eficazes para os problemas detectados, levando-se em consideração um índice de risco definido pela ocorrência e severidade da falha.

1.5 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este trabalho se encontra estruturado em oito capítulos, sendo que, no primeiro, são descritos os objetivos e justificativas, além de informações introdutórias.

No segundo capítulo, definem-se as características físico-químicas do oxigênio, ar comprimido e óxido nítrico, além das suas formas de obtenção e aplicações.

No terceiro, descrevem-se as principais normas relacionadas ao assunto, discutindo-se os seus conteúdos e abrangências. No quarto, registram-se os diversos tipos de centrais de suprimentos e os equipamentos que as compõem, a rede de distribuição e postos de utilização, que são elementos formadores dos sistemas centralizados.

No quinto capítulo, relatam-se os problemas causados em equipamentos médico-assistenciais, tais como ventilador pulmonar, aparelho de anestesia, e em equipamentos para gasoterapia destinados à administração dos gases e vácuo

medicinais, tais como fluxômetro, tomada dupla ou tripla, umidificador, válvula reguladora e aspiradores de secreção.

Após o embasamento técnico e teórico fornecido pelos capítulos anteriores, no sexto capítulo propõe-se uma metodologia de gerenciamento dos sistemas centralizados, desde o seu projeto, execução e manutenção.

Em seguida, no capítulo seguinte, faz-se uma discussão da situação dos sistemas centralizados de hospitais, a partir da aplicação de formulários de pesquisa, verificando as suas condições e propondo melhorias.

No oitavo capítulo, são registradas as conclusões sobre o tema proposto e sugestões de temas para trabalhos futuros, além das referências bibliográficas.

2 GASES MEDICINAIS MAIS UTILIZADOS EM HOSPITAIS: OXIGÊNIO, ÓXIDO NITROSO, AR E VÁCUO

2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, são descritas as características físico-químicas dos gases medicinais abordados neste estudo, tais como oxigênio, óxido nitroso e ar, além da especificação do vácuo de uso medicinal. São abordados os processos de obtenção de cada um destes gases e vácuo e suas principais aplicações.

2.2 OXIGÊNIO

2.2.1 CARACTERÍSTICAS

O oxigênio é um gás solúvel na água, incolor, inodoro, insípido, altamente oxidante e não inflamável, cuja presença foi verificada no ar há cerca de duzentos anos, por Lavoisier. Constitui-se em um gás indispensável à respiração e, conseqüentemente, à vida, sendo encontrado na atmosfera misturado a outros gases na proporção de cerca de 21% (AULER JÚNIOR, 1995; MACINTYRE, 1996).

O oxigênio não é inflamável, mas acelera vigorosamente a combustão. Dessa forma, para que ocorra a combustão é necessário que haja o chamado “triângulo do fogo”, formado por um combustível + comburente + fonte de calor. Neste caso, é importante evitar o contato do oxigênio (na forma líquida ou gasosa) com materiais como o álcool, éter, gasolina, óleo, graxa, madeira, que servirão como combustíveis. Esta associação quando na presença de uma chama, faísca ou atrito, poderá causar o fogo (SANTOS, 1964).

Em casos de vazamentos do gás, torna-se fundamental ventilar a área e remover todos os materiais inflamáveis próximos. Ao manipulá-lo, seja em situações críticas como as anteriores, seja durante manutenção, é necessário utilizar equipamento de proteção individual (EPI), como óculos de proteção com lente incolor, luvas de couro de cano médio e sapatos com bico de aço (WHITE MARTINS, 1999).

Além das características de inflamabilidade inerentes ao oxigênio, existem outras que são importantes para o uso medicinal, tais como concentração e pressão.

O oxigênio, quando para uso terapêutico, segundo a farmacopéia americana, deve possuir uma concentração mínima de 99,5% (COLLINS, 1985). Este percentual é alcançado através do processo criogênico de destilação do ar, descrito com maiores detalhes no item 2.2, e suas características independem de sua utilização ser industrial ou medicinal. Os únicos diferenciais serão a cor de identificação do gás dos cilindros: preto para uso industrial e verde para uso medicinal.

Quando é produzido no hospital através de concentradores que utilizam o processo de adsorção, o oxigênio é especificado pela NBR 13587 (1996), conforme os valores mostrados na Tabela 2.1. O Conselho Federal de Medicina, através da resolução 1355 (1992), estabelece como padrões mínimos de concentrações dos gases obtidos através de concentradores o oxigênio com concentração igual ou superior a 92%, argônio com concentração inferior a 5% e nitrogênio com concentração inferior a 4%.

Tabela 2.1 Especificação exigida do oxigênio fornecido pelos concentradores

Concentração mínima de oxigênio	93%
Nitrogênio e argônio	Em balanço
Monóxido de carbono	< 5 ppm
Dióxido de carbono	< 100 ppm
Metano	< 25 ppm
Hidrocarbonetos voláteis "não-metano"	< ½ TLV (<i>Threshold Limit Value</i>)
Total de solventes e refrigerantes à base de hidrocarbonetos halogenados	< 5 ppm
Agentes anestésicos	< 0,1 ppm
Óxido nitroso	< 5 ppm
Óleo, resíduos não-voláteis	< 1mg/m ³
Dióxido de enxofre	< 1 ppm
Água em fase líquida	Nenhuma
Ponto de orvalho máximo	-45 °C

Fonte: NBR 13587, 1996.

Além das características de concentração exigidas para uso medicinal, a NB 254 (1977) recomenda que uma pressão constante de 3,5 kgf/cm² seja mantida nos postos de utilização, e a sua revisão de novembro de 2001* estabelece como valor mínimo 3,1 kgf/cm².

As características físico-químicas do oxigênio são enumeradas no Anexo 2.

2.2.2 OBTENÇÃO

A produção em escala industrial do oxigênio se dá através da liquefação e retificação do ar, processo pelo qual cerca de 80% do oxigênio é produzido. Entretanto, existem outros métodos para produzi-lo, tais como adsorção, eletrólise da água e reação química. (PETTY, 1987).

O processo conhecido como criogênico constitui-se na filtragem, compressão e posterior resfriamento do ar atmosférico. À medida que o ar se resfria, a umidade e o dióxido de carbono são condensados sobre as paredes de um trocador de calor e o ar purificado passa através de duas colunas de destilação, uma superior e outra inferior. Estas colunas são formadas por pratos e unidas através do trocador de calor, que serve de condensador para a coluna inferior e de refeedor para a coluna superior, conforme mostrado na Figura 2.1 (SHREVE, 1997).

O retificador, mostrado na Figura 2.1, faz a separação do ar líquido no componente mais volátil, o nitrogênio, que possui um ponto de ebulição de 77,4 K, e no oxigênio, cujo ponto de ebulição é mais alto, 90,2 K. Em virtude das diferenças no ponto de ebulição dos gases, sendo o nitrogênio mais volátil, ocupará a parte superior da coluna, ao passo que o oxigênio ficará na parte inferior (SHREVE, 1997).

Outro processo de obtenção do oxigênio é chamado de adsorção seletiva do ar, conhecido há mais de sessenta anos. Esta forma de produção do oxigênio, patenteada há mais de vinte anos, inicialmente foi empregada para uso domiciliar em oxigenoterapia, em hospitais móveis e navios da marinha durante operações militares e em locais de difícil acesso, onde há dificuldade de abastecimento do

* Ver item 3.3 do Capítulo 3.

oxigênio líquido, principalmente para países em desenvolvimento, para os quais o custo de abastecimento torna-se elevado (MOLL,1994).

O aumento excessivo do custo do oxigênio foi um incentivo para a pesquisa de fontes alternativas de produção do gás e concentradores foram instalados em hospitais de países desenvolvidos, como na Província de Manitoba, no Canadá, onde um projeto piloto foi implementado. Na última década, o custo elevado do oxigênio líquido tem levado muitos hospitais nacionais a implantarem o sistema (MOLL,1994).

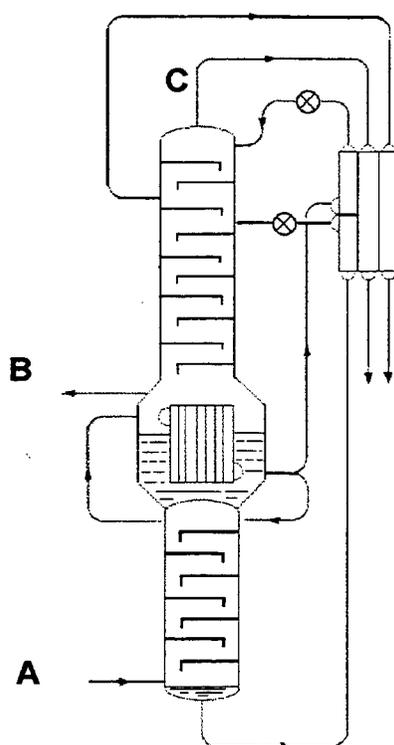


Figura 2.1 Processo criogênico de obtenção do oxigênio

Na parte A, ocorre a entrada do ar frio na coluna, com uma pressão de cerca de 5 kgf/cm², em B, ocorre a saída do oxigênio, com um percentual de pureza de 99,5% e, em C, mostra-se a saída do nitrogênio produzido.

Fonte: SHREVE,1997.

O processo de adsorção é físico e ocorre pela aderência das moléculas de um gás à superfície de um sólido através de forças de atração molecular, neste caso retendo componentes do ar medicinal como o nitrogênio, CO₂ e CO,

deixando passar apenas o oxigênio e componentes de gases nobres, predominantemente o argônio (MOLL,1994).

Neste tipo de processo, o oxigênio é produzido no local em que será consumido, no próprio EAS, através de sistemas concentradores de oxigênio, popularmente chamados de usinas de oxigênio ou PSA (*Pressure Swing Adsorption*), ou através de um processo semelhante, mas não encontrado no Brasil, denominado PVSA (*Pressure Vacuum Swing Adsorption*).

O concentrador de oxigênio é formado basicamente por dois compartimentos idênticos que contêm um material adsorvente denominado zeolita. A zeolita é um material constituído por grãos com forma esférica de alumino-silicato de sódio, que adsorve as moléculas de nitrogênio do ar que por ele passam. No processo de adsorção, tanto PSA como PVSA, utiliza-se como matéria-prima o ar comprimido tratado, composto de cerca de 78% de nitrogênio, 21% de oxigênio, 0,9% de argônio e 0,1% de gases nobres e outros.

A separação e concentração do oxigênio acontecem, conforme mostrado na Figura 2.2, quando as válvulas V_1 , V_4 e V_6 estão inicialmente fechadas e o compartimento A é percorrido com ar comprimido, que entra pela válvula V_2 , ficando o nitrogênio retido na zeolita e liberando o oxigênio concentrado, através de V_3 . Quando a zeolita do compartimento A está saturada, as válvulas V_1 , V_4 e V_6 abrem-se e as válvulas V_2 , V_3 e V_5 fecham-se, ocorrendo uma troca de passagem do ar para o compartimento B e a despressurização do compartimento A para regeneração da zeolita e a liberação do nitrogênio para a atmosfera. Assim, os ciclos se alternam entre o compartimento A e B (MOYLLE,2000).

O processo PVSA é semelhante ao PSA, diferindo no sistema de captação do ar ambiente, que, ao invés de ser comprimido antes de passar pelo concentrador, é captado através de ventiladores, tratado por um sistema de filtros e, posteriormente, passa pelo concentrador. Somente após esta seqüência, o oxigênio é comprimido e armazenado em um reservatório que abastecerá a rede de distribuição. A outra diferença está no processo de regeneração da peneira molecular: na PSA, apenas a despressurização do compartimento saturado é suficiente para remoção do nitrogênio, ao passo que, na PVSA, é necessária a aplicação de vácuo para a eliminação do nitrogênio.

No Brasil, não se tem conhecimento de que existam concentradores deste tipo atuando, dificultando a comparação entre os processos PVSA e PSA para que possam ser definidas quais as vantagens e desvantagens do sistema. Além disso, as atuais recomendações normativas nacionais não abrangem o sistema PVSA e, conforme o cliente - órgãos da administração pública possuem isenção -, o seu custo de aquisição deverá prever taxas de importação.

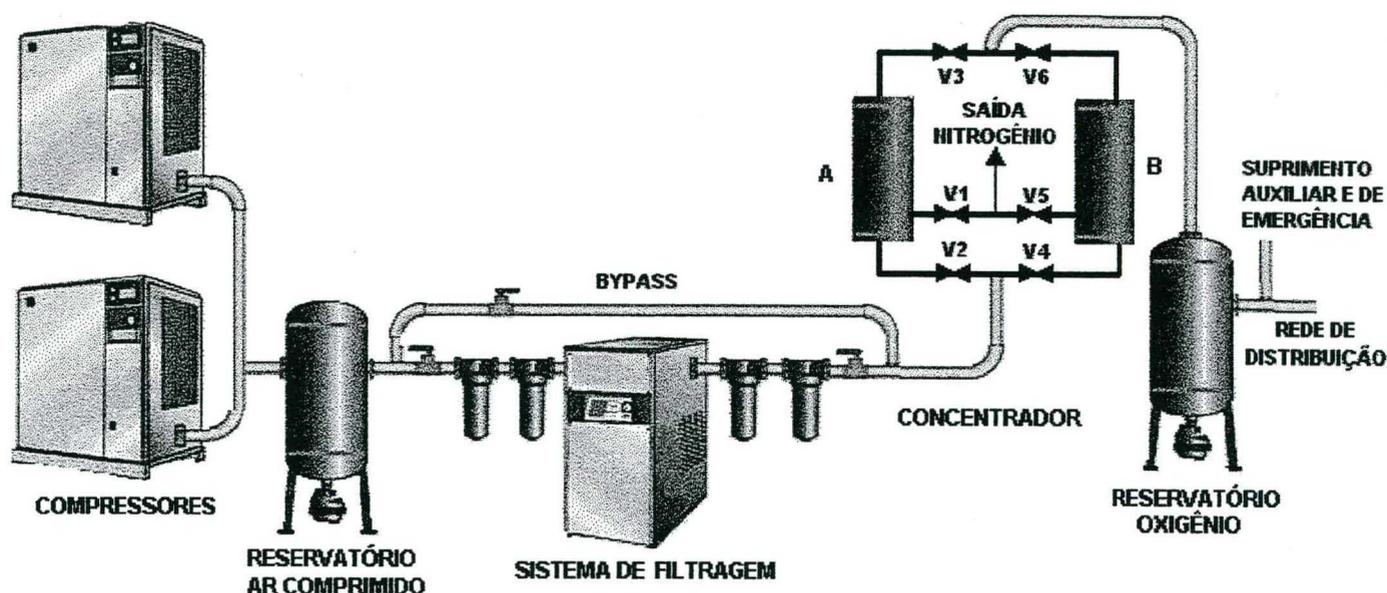


Figura 2.2 Diagrama ilustrativo do processo PSA de obtenção do oxigênio

A produção de oxigênio através da adsorção é bastante polêmica, pela dificuldade de acesso a informações precisas e consistentes acerca do processo e pela quantidade de variáveis de risco a serem gerenciadas, simplesmente (em alguns casos) por um custo mais baixo do metro cúbico do gás gerado. Quanto à concentração do gás, o máximo percentual de oxigênio possível de ser obtido através dos concentradores chega a 95,58%, pois retirando-se a parcela de nitrogênio da mistura, tem-se a concentração do oxigênio multiplicado por 4,563 (Tabela 4).

Na Tabela 2.2 mostrada a seguir, faz-se um comparativo dos processos de obtenção do oxigênio.

Tabela 2.2 – Comparativo entre os processos de obtenção do oxigênio

PSA/PVSA	OXIGÊNIO LÍQUIDO
Necessita de abafadores de ruído em razão do ruído gerado pelos compressores e da despressurização do concentrador	Silencioso
Concentração do oxigênio: 95,58%	Concentração do oxigênio:99,5%
Necessidade de tratamento do ar	Isento de microorganismos
Necessidade de energia elétrica	Não necessita de energia elétrica
Risco de paradas por falhas mecânicas	Risco mínimo de paradas por falhas mecânicas
Em caso de ampliação, o hospital terá de adquirir outro equipamento	Em caso de ampliação, o fornecedor é o responsável
Necessita de monitoração constante da concentração do oxigênio	Concentração do oxigênio não sofre alterações
Necessita de manutenção periódica	Exige manutenção mínima realizada pelo fornecedor
De acordo com a realidade da instituição, podem-se ter custos de produção do oxigênio mais baixo	O preço do oxigênio possui um custo considerável

2.2.3 APLICAÇÕES CLÍNICAS

A maior aplicação do oxigênio está relacionada com a manutenção da vida, para a qual a respiração é função essencial e caracterizada por três fases:

- 1) Fase pulmonar;
- 2) Fase sangüínea;
- 3) Fase celular.

Através das vias aéreas, o ar é conduzido até os pulmões, onde ocorrem as trocas gasosas, de acordo com a Figura 2.3.

Conforme SILVA (1986), a capacidade de trocas gasosas através de uma membrana é diretamente proporcional à sua área e inversamente proporcional à sua espessura. A membrana alveolocapilar possui uma superfície de 50 a 100 m² e uma espessura extremamente delgada (1 micrômetro), facilitando as trocas de oxigênio e gás carbônico através de difusão simples, processo que ocorre devido

ao gradiente de pressão existente no sangue e nos pulmões, conforme pode ser visto na Figura 2.3 (SILVA, 1986).

Nas trocas gasosas, a quantidade de ar conduzida ao alvéolo é denominada de “ventilação alveolar”; a quantidade de oxigênio retirada do alvéolo, “perfusão sangüínea pulmonar”. Desvios nesta relação, são a maior causa de hipoxemia nas doenças pulmonares (AULER JÚNIOR, 1995).

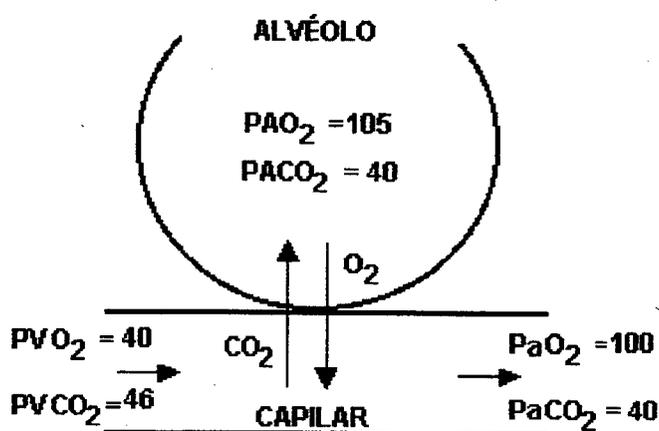


Figura 2.3 Trocas gasosas nos pulmões

P (pressão parcial), V (venoso), A (Alveolar), a (arterial)

Fonte: SILVA, 1986.

A hipoxemia é caracterizada como queda da pressão parcial de oxigênio no sangue arterial (PaO_2). O O_2 deverá ser administrado ao paciente de maneira a prover uma PaO_2 de 60 mmHg ou saturação arterial do oxigênio (SaO_2) não inferior a 90% (MACHADO, 2001). Na Tabela 2.3, apresentam-se os valores de variação das pressões parciais de oxigênio no sangue arterial.

A terapia utilizando oxigênio para controle da hipoxemia arterial em pacientes que sofrem de insuficiência respiratória é denominada de “oxigenoterapia”. O tempo do tratamento e a concentração do oxigênio envolvido na terapia serão dependentes do tipo da pneumopatia.

Quando ocorre insuficiência ventilatória, com uma hipoxemia grave, haverá um aumento da pressão parcial do gás carbônico no sangue arterial ($PaCO_2$), caracterizando uma hipercapnia. Valores normais em repouso para $PaCO_2$ variam de 35 a 47 mmHg (SILVA, 1986).

Para pacientes com insuficiência respiratória aguda, FONTES (1994) recomenda um tratamento com administração de oxigênio com curta duração e concentrações que variam de 35 a 80% de oxigênio.

Tabela 2.3 – Relação entre nível de PaO₂ e manifestações clínicas

PaO ₂ (mmHg)	Manifestações clínicas ou comentário diversos
>250	Toxicidade pelo oxigênio
150-200	Atingível por FI O ₂ de 30-35%
100-150	Não requer oxigenoterapia
95-100	Valor normal do adulto jovem ao nível do mar
80-90	Valor normal no velho, ou no adulto jovem dormindo
70-80	Valor normal no velho dormindo
55-65	Insuficiência respiratória leve
50-55	Indica oxigenoterapia (longo prazo)
40-50	Requer tratamento intensivo
30-40	Se agudo, resulta em inconsciência. Se crônico, significa risco expressivo.
20-30	Alpinistas só toleram por curtos períodos de tempo.
< 20	Provável dano cerebral ou morte.

Fonte: SILVA, 1986.

Aos pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), as quais têm em comum a obstrução do fluxo aéreo (como bronquite crônica, enfisema pulmonar e asma brônquica) e que apresentam complicações agudas (como pneumonia, tromboembolia pulmonar ou insuficiência cardíaca) recomenda-se baixas concentrações de oxigênio, de 24 a 28%; além do controle da PaO₂, deve-se monitorar constantemente a PaCO₂ (FONTES,1994; SILVA,1986).

A terapia com o oxigênio a longo prazo em concentrações muito baixas é recomendada para pacientes que têm DPOC e que tendem a produzir uma insuficiência respiratória crônica. Estudos americanos publicados no início dos anos 80 comprovaram que pacientes com DPOC que receberam oxigênio continuamente 24 h/dia tiveram uma taxa maior de sobrevivência que aqueles que o receberam somente durante 12 horas noturnas (FONTES,1994; MACHADO,2001).

A oxigenoterapia possui a capacidade de aumentar a sobrevivência, aumentar a tolerância ao exercício, reduzir a dispnéia em repouso, produzir queda na resistência vascular pulmonar, melhorar o sono e diminuir a sonolência diurna, entre outros benefícios. Entretanto, concentração de oxigênio no ar inspirado acima de 60% ou o aumento da pressão do ar nas vias aéreas provoca riscos de lesão pulmonar. Toxicidade pelo oxigênio é observada quando a pressão alveolar supera os 400 mmHg. A administração de oxigênio a 100% por períodos maiores que 48 horas freqüentemente resulta em edema pulmonar hemorrágico irreversível, com lesão celular e destruição de paredes alveolares (FONTES,1994).

Na terapia hiperbárica, o oxigênio é administrado a 100%, através de máscaras ou capuzes de plástico no interior de equipamentos específicos para este fim, denominados "câmaras hiperbáricas", para vários pacientes (*multiplace*) ou para apenas um paciente (*monoplace*), nos quais ministram pressões duas a três vezes maiores que a observada ao nível do mar. Esta terapia constitui-se em uma aplicação pouco comum do oxigênio, devido aos custos elevados de instalação e a manutenção da câmara hiperbárica.

Segundo COLLINS (1985), sua aplicação é recomendada em casos de tratamento de intoxicação por monóxido de carbono e barbitúricos, de cicatrização de feridas e no combate a diversas infecções através da destruição de bactérias anaeróbicas; também auxilia na radioterapia pelo fato de o oxigênio aumentar a sensibilidade das células tumorais à irradiação; no melhor estado de oxigenação do paciente antes de cirurgia cardíaca e como medida de emergência em casos de hipóxia ocasionados por doenças vasculares. Entretanto, por causa da alta pressão e da concentração do oxigênio hiperbárico, há riscos associados a sua utilização, caracterizados pelo surgimento da síndrome da descompressão, embolia gasosa e toxicidade do oxigênio.

O oxigênio é amplamente utilizado em terapias de ventilação pulmonar, nas quais, através do ventilador mecânico, volumes de gases são levados até os pulmões.

Outra aplicação do oxigênio é encontrada durante o processo anestésico, quando é utilizado misturado ao óxido nitroso na proporção mínima de 20% (COLLINS,1985), evitando o risco de hipóxia para o paciente. Além disso, é uma

realidade da maioria dos hospitais públicos visitados a utilização do oxigênio para movimentação mecânica de aparelhos de anestesia, o que constitui uma das suas formas de desperdício.

Outros procedimentos que vêm contribuir para este quadro de desperdício são a nebulização e a aspiração. A nebulização é um procedimento utilizado para administração de medicamentos através de inalação e para fluidificar secreções, sendo comum nos hospitais estudados o emprego do oxigênio para esta terapia, que poderia ser substituído pelo ar comprimido.

O procedimento de aspiração do tipo Venturi, com o ar medicinal ou o oxigênio, deveria ser utilizado apenas em casos de emergência, pois, além do ruído gerado durante o procedimento, há o risco de contaminação do ambiente através de aerossóis (MOYLE, 2000; KARMAN, 1994).

O oxigênio, além das suas aplicações terapêuticas, é utilizado em substituição ao ar para o tratamento aeróbico dos esgotos, apresentando como vantagens a capacidade de tratamento de maiores volumes, menores taxas de formação de resíduos, além da utilização de tanques cobertos para eliminar odores (SHREVE, 1997).

Outra aplicação do oxigênio ocorre de uma maneira indireta, através da modificação da sua molécula em ozônio e a utilização em processos desinfetantes, como lavagem de roupas, tratamento da água e resíduos líquidos. Os dois últimos processos citados são pouco comuns na realidade hospitalar estudada, mas são formas mais eficientes que os processos tradicionais empregados atualmente.

2.3 ÓXIDO NITROSO

2.3.1 CARACTERÍSTICAS

O óxido nitroso é também conhecido como protóxido de azoto e foi descoberto um ano após o oxigênio, em 1772, por Joseph Priestley. Sua primeira aplicação como anestésico foi em 1844, na odontologia, mas não conquistou confiabilidade. Em 1868, voltou a ser utilizado quando Chicago Andrew fez seu uso associado ao oxigênio (COLLINS, 1985).

Por sua ação no sistema nervoso central, quando inalado em grandes concentrações, mesmo em um curto período de tempo, produz sintomas semelhantes a uma intoxicação alcoólica, sendo conhecido como gás hilariante. O óxido nitroso apenas deve ser inalado simultaneamente com o oxigênio, caso contrário poderá causar a morte por anóxia (AULER JÚNIOR, 1995).

Tem como principais características o fato de possuir efeito anestésico, atuando como um potencializador do efeito de outros agentes anestésicos e, conseqüentemente, reduzindo a aplicação destas drogas e assim, o custo da anestesia; rápida indução e recuperação, por apresentar baixo coeficiente de solubilidade e toxicidade, promovendo a recuperação mais rápida do paciente (AULER JÚNIOR, 1995).

Em condições normais de pressão e temperatura, é um gás incolor, inodoro e de sabor ligeiramente adocicado, não sendo tóxico ou inflamável. Constitui-se em um agente oxidante, que possui a característica de acelerar a combustão assim como o oxigênio, devendo-se evitar o seu contato com materiais combustíveis, óleos e graxas. Em casos de vazamentos, deve-se evacuar e ventilar a área de risco, reduzindo os vapores gerados pelo gás com neblina ou jatos de água e, sempre que manipulado, devem ser utilizados óculos de segurança com lente incolor e proteção lateral, luvas de couro, sapatos com biqueira de aço (WHITE MARTINS, 1999).

As características físico-químicas do óxido nitroso são apresentadas com mais detalhes no Anexo 2.

2.3.2 OBTENÇÃO

O óxido nitroso é obtido a partir da decomposição do nitrato de amônia, em que primeiramente é feito o aquecimento deste material até cerca de 190 °C, ocorrendo a sua fusão; então é novamente aquecido até 240 °C, liberando-se o óxido nitroso a uma concentração de 95%. A etapa seguinte é a da purificação através de um tratamento com cáustico e dicromato, com o que são removidos o ácido e o óxido nítrico. Após a sua compressão e liquefação, o gás é estocado em cilindros para distribuição (SHREVE, 1997; COLLINS, 1985).



Atualmente, o gás é obtido com uma concentração de até 99% e com uma concentração de água inferior a 0,004%. Entretanto, esta pequena parcela de água pode tornar-se um problema com a despressurização de um cilindro contendo o gás, pois ocorre queda da temperatura interna e, conseqüentemente, a condensação do vapor de água e congelamento da válvula (COLLINS, 1985).

2.3.3 APLICAÇÕES

A aplicação do óxido nitroso na área medicinal ocorre em procedimentos anestésicos tipo inalatória e balanceada.

Na anestesia inalatória, o vapor de uma mistura de oxigênio com o óxido nitroso e um líquido anestésico vai até o pulmão do paciente, percorrendo o seu corpo através da corrente sangüínea até o sistema nervoso central.

A anestesia balanceada é a mistura da anestesia endovenosa, na qual a droga é injetada diretamente na veia do paciente, com a anestesia inalatória.

No procedimento de anestesia, inicialmente são administrados ao paciente três a cinco minutos de oxigênio de modo a aumentar a concentração deste gás nos alvéolos e, somente após esta etapa, ocorre a administração da mistura de óxido nitroso com o oxigênio. Esta mistura de gases entra em contato com o agente halogenado em um vaporizador, sendo levada até o paciente. Durante a cirurgia, são administrados volumes menores de anestésico para manter o paciente anestesiado.

A mistura de oxigênio e óxido nitroso em partes iguais proporciona apenas a eliminação da dor, ou seja, analgesia. A inconsciência é obtida através de concentrações de 35 a 70% do óxido nitroso com 65 a 30% de oxigênio e a anestesia, com variações de 80 a 90% do óxido nitroso (COLLINS, 1985). Entretanto, deve ser lembrado que concentrações abaixo de 20% de oxigênio podem trazer o risco de hipóxia do paciente visto que o seu papel na anestesia é potencializar o anestésico que é utilizado na mistura.

Na etapa final, a recuperação do paciente é realizada com a administração de oxigênio.

2.4 AR MEDICINAL

2.4.1 CARACTERÍSTICAS

O ar utilizado nos hospitais nada mais é do que o ar que compõe a atmosfera natural da Terra, sendo formado pela mistura de diversos gases, conforme mostrado na Tabela 2.4, onde, predominantemente, se vê o nitrogênio, cerca de 78%, e o oxigênio, 21%. Possui como características ser inodoro e incolor, atóxico e não corrosivo.

Tabela 2.4 – Composição do ar atmosférico

Componente	Símbolo	Porcentagem
Nitrogênio	N ₂	78,084
Oxigênio	O ₂	20,946
Argônio	Ar	0,934
Hidrogênio	H ₂	0,00005
Neônio	Ne	0,001818
Hélio	He	0,0005239
Criptônio	Kr	0,0001139
Xenônio	Xe	0,0000086
Dióxido de Carbono*	CO ₂	0,02-0,04

Fonte: SHREVE, 1997.

*Variável.

2.4.2 OBTENÇÃO

O ar medicinal é usualmente obtido nos hospitais através da captação do ar atmosférico, que ocorre através de compressores, com a pressão aumentada até cerca de 7 kgf/cm², sendo conhecido como "ar comprimido". Nesse caso, além dos diversos gases que compõem o ar, conforme mostrado na Tabela 2.4, têm-se quantidades variáveis de componentes sólidos e líquidos conforme o local geográfico, proximidade de centros urbanos e indústrias. Então, de maneira a tornar medicinal o ar comprimido, após passar pelo compressor, este percorre um sistema de tratamento composto por filtros e secadores para eliminação de partículas de óleo, água, bactérias e odores. Na Tabela 2.5, são mostradas as

características do ar para uso medicinal baseadas em normas internacionais, adotada pela NBR 12188 (2001)*.

Outra maneira menos comum de obtenção do ar medicinal é através da mistura de nitrogênio a 79% e oxigênio a 21%, produzidos na indústria pelo processo criogênico armazenados no hospital em tanques criogênicos. Por meio de um equipamento denominado "misturador", a mistura é realizada e o ar estéril é obtido e fornecido ao paciente, sendo, neste caso, denominado de "ar sintético".

Tabela 2.5 – Características do ar medicinal

Componentes	NBR 12188
N ₂	Balanço
O ₂	20,9%
CO	5 ppm máximo
CO ₂	350 ppm máximo
SO ₂	0,016 ppm máximo
No _x	0,0255 ppm máximo
Óleos e partículas sólidas	0,1 mg/m ³
Ponto de orvalho	-40 °C

Fonte: NBR 12188, 2001*.

Também pode ser produzido em escala industrial pelo processo criogênico e fornecido ao hospital em cilindros de alta pressão.

2.4.3 APLICAÇÕES

O ar medicinal é utilizado na terapia respiratória, em combinação com o oxigênio na administração de medicamentos através da nebulização e, quando não for possível a utilização do sistema de vácuo, para aspiração. Além disso, é utilizado como fonte primária de energia mecânica na movimentação de equipamentos pneumáticos, como serras de gesso e aparelhos de anestesia e na limpeza e secagem de equipamentos médicos.

* Ver item 3.3 do Capítulo 3.

2.5 VÁCUO

2.5.1 CARACTERÍSTICAS

A característica principal do vácuo de uso terapêutico é o fato de este ser do tipo seco, ou seja, a secreção aspirada do paciente deverá ficar retida em frascos colocados junto ao paciente, sendo especificada a ausência de “aspirado” na tubulação. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1994; KARMAN, 1994).

A NBR 12188 (2001)* estipula que este deva ter como valor mínimo uma pressão absoluta de 460 mmHg nos postos de utilização mais distantes da central onde é gerado.

2.5.2 OBTENÇÃO

O vácuo é obtido por meio de centrais de suprimento compostas por bombas, reservatórios e filtros, que formam a pressão negativa, e conduzido através de tubulações até o paciente. Outra forma de obtenção é com a utilização do ar comprimido ou oxigênio para geração do vácuo pelo princípio de Venturi, descrito com maiores detalhes no item 5.2.4 do Capítulo 5.

Poderá também ser obtido de forma descentralizada através de equipamentos elétricos que possuem frascos individuais de até cinco litros para armazenagem da secreção.

2.5.3 APLICAÇÕES

O vácuo de uso medicinal é utilizado na aspiração de secreções, sendo de extrema importância principalmente durante cirurgias de grande porte.

* Ver item 3.3 do Capítulo 3.

3 NORMATIZAÇÃO

3.1 INTRODUÇÃO

Durante o projeto, execução e manutenção dos sistemas centralizados de gases medicinais e vácuo, devem ser observadas questões relacionadas a sua segurança e funcionalidade, que são regulamentadas por recomendações normativas. Existe uma diversidade muito grande de normas, em diversos países, entretanto, neste capítulo, abordam-se as recomendações normativas nacionais elaboradas tendo como referência normas internacionais. Busca-se descrever os pontos principais apresentados por algumas normas relacionadas aos sistemas centralizados de oxigênio, óxido nitroso, ar e vácuo medicinais e regulamentações de ordem legal, tais como portarias e resoluções.

3.2 NB 254 - SISTEMAS CENTRALIZADOS DE AGENTES OXIDANTES DE USO MEDICINAL / SISTEMAS DE GASES NÃO INFLAMÁVEIS USADOS A PARTIR DE CENTRAIS EM HOSPITAIS

Esta norma foi publicada em 1977, estabelecendo os requisitos mínimos para centrais de oxigênio e óxido nitroso. Prescreve as condições gerais para as centrais de suprimento com cilindros de alta pressão e tanque criogênico, denominado de "reservatório de grande capacidade", definindo com detalhes as roscas de conexão dos cilindros de oxigênio e óxido nitroso.

Aborda também os alarmes operacionais e de emergência, definindo como obrigatória a utilização destes dispositivos em centros cirúrgicos e unidades de terapia intensiva.

Quanto à rede de distribuição, define o tipo de material e limita os locais de passagem de tubulações do tipo aparente, assim como estabelece o modo como deverão ser feitas a identificação e a sustentação; especifica também os locais para instalação de válvulas de seção e como deve ser feita sua identificação. Quanto à execução da rede de distribuição, estabelece os cuidados com a limpeza, instalação e ensaios.

Em 1992, esta norma foi renomeada como NBR 12188 e, logo após, chamada de "sistemas centralizados de gases medicinais (oxigênio, ar e óxido nitroso) e vácuo em estabelecimentos assistenciais de saúde".

3.3 NBR 12188 – SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES MEDICINAIS (OXIGÊNIO, AR E ÓXIDO NITROSO) E VÁCUO EM ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE

Esta norma veio a substituir a NB 254, sendo, em 2001, discutida e revisada por uma Comissão de Estudo (CE) formada por representantes de empresas fornecedoras de gases medicinais, fabricantes de compressores, representantes da Agência Nacional da Vigilância Sanitária (Anvisa) e do meio acadêmico, representado pela pesquisadora. Entretanto, a revisão ainda não havia sido publicada quando da conclusão deste trabalho.

À semelhança da NB 254, mas abrangendo não apenas o oxigênio e o óxido nitroso, estabelece condições gerais e específicas das centrais com suprimento primário, representadas por cilindros, tanque criogênico estacionário ou móvel, compressor de ar, dispositivo especial de mistura e sistema de vácuo; define os alarmes operacionais e de emergência, a rede de distribuição, as válvulas de seção e ensaios.

Apresenta diferenças pelo fato de não detalhar as roscas das conexões dos postos de utilização e conexões dos acessórios para cada gás e vácuo, que são definidas nas NBR 11906 (1990), NBR 13164 (1994) e NBR 13730 (1996). Também recomenda que os ensaios da instalação do sistema centralizado sejam realizados com ar medicinal e não mais com nitrogênio, reduzindo o risco de acidentes, e apresenta tabelas utilizadas para o dimensionamento dos sistemas, contendo o número de postos por local de utilização, demanda por posto de utilização e fatores de simultaneidade dos principais setores do estabelecimento assistencial de saúde.

3.4 NBR 12274 – INSPEÇÃO EM CILINDROS DE AÇO, SEM COSTURA PARA GASES

Esta norma foi publicada em 1994 com o objetivo de estabelecer inspeções e ensaios em cilindros de aço sem costura destinados ao armazenamento de gases comprimidos ou liquefeitos. As verificações são realizadas de maneira a garantir a segurança na sua utilização, sendo realizadas quando o cilindro retorna para o fornecedor de gás para ser reabastecido ou quando o intervalo definido

para o ensaio do cilindro for alcançado. O prazo estipulado para a inspeção periódica do cilindro será conforme o tipo de gás, variando de dois, cinco ou dez anos.

Estabelece também quais os itens que deverão ser avaliados durante as inspeções, descrevendo os defeitos que deverão ser observados e a avaliação final, autorizando o cilindro para o uso ou estabelecendo métodos de destruição. Define ainda um modelo de documento que será emitido, registrando dados de identificação do cilindro, bem como os valores obtidos durante o ensaio hidrostático, sendo obrigatório ser explicitada a avaliação final como “condenado” ou “aprovado”.

3.5 NBR 13164 – TUBOS FLEXÍVEIS PARA CONDUÇÃO DE GASES MEDICINAIS SOB BAIXA PRESSÃO

A norma em discussão passou a vigorar em 1994, definindo itens relacionados aos tubos flexíveis que são utilizados para realizar a conexão entre o posto de utilização ou cilindros a outro terminal, o qual poderá ser um equipamento médico, com a finalidade de conduzir gases medicinais a pressões que variam de 3 kgf/cm² a 14 kgf/cm². O objetivo da norma NBR 13164 é padronizar aspectos relacionados ao desempenho, através de ensaios de ruptura, colapamento, dilatação, dobramento, fixação, estanqueidade, entre outros, e identificação dos tubos flexíveis, definindo as cores específicas para cada gás segundo uma norma internacional de cores denominada notação Munsell. Essa padronização se faz necessário como forma de assegurar a qualidade e segurança, evitando, por exemplo, a troca acidental na utilização dos gases.

3.6 NBR 12176 – CILINDROS PARA GASES – IDENTIFICAÇÃO DO CONTEÚDO

A NBR 12176 foi publicada em 1999, padronizando aspectos relacionados à identificação de cilindros, não se restringindo a cilindros de gases medicinais, mas abrangendo os de uso industrial, de combate a incêndio e os destinados a práticas de mergulho, entre outros, excetuando-se gases liquefeitos de petróleo (GLP). Especifica as cores que deverão ser utilizadas para identificar os gases

medicinais, seguindo o padrão internacional de notação de cores, denominado padrão Munsell, as partes do cilindro e as informações que deverão ser registradas em seu rótulo.

3.7 PORTARIA Nº 1884 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE - NORMAS PARA PROJETOS FÍSICOS DE ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE

A portaria 1884 do Ministério da Saúde foi regulamentada em 1994 e, diferentemente das normas que apenas recomendam, possui caráter obrigatório, referenciando também a NBR 12188. Aborda todos os tipos de instalações envolvidas em um EAS, entre as quais, as instalações fluido-mecânicas, apresentadas no Anexo 3.

Nas instalações fluido-mecânicas, há o gás combustível, o oxigênio medicinal, ar comprimido, óxido nitroso e vácuo, sendo definidos resumidamente, os seus sistemas de abastecimento .

No sistema de abastecimento de ar comprimido, especificam-se os tipos de compressores que podem ser utilizados nas centrais de suprimento de ar comprimido medicinal, bem como o local para captação do ar.

A sua revisão, como Consulta Pública nº 674 (1997), apresenta tabelas de número de postos por local de utilização, demanda por posto de utilização e fator de simultaneidade para os principais setores do EAS, utilizadas para o dimensionamento dos sistemas.

Esta portaria foi revisada em 2001 e, foi substituída pela resolução RDC nº 50 em 2002.

3.8 NBR 13587 – ESTABELECIMENTO ASSISTENCIAL DE SAÚDE – CONCENTRADOR DE OXIGÊNIO PARA USO EM SISTEMA CENTRALIZADO DE OXIGÊNIO MEDICINAL

A NBR 13587 entrou em vigor em 1996 e estabelece os requisitos mínimos para uma central de suprimento que utiliza como suprimento primário um concentrador de oxigênio. Especifica como componentes mínimos de uma central de suprimento compressor de ar dedicado, concentrador de oxigênio, reservatório de oxigênio, suprimento auxiliar dimensionado de modo a suprir os picos de

consumo por 72 h, suprimento de emergência dimensionado para um período de 36 h e sistemas de controle, análise e medição de vazão.

Estabelece, de uma maneira geral, a localização do ponto de captação do ar, não especificando o tipo de compressor de ar que deverá ser utilizado, e recomenda a utilização de apenas um filtro de 0,3 μm com 99% de eficiência para remoção de partículas, instalado a jusante do concentrador e a montante da válvula de retenção.

Mostra-se um pouco mais rígida na especificação do compressor utilizado para comprimir o oxigênio, que é opcional, descrevendo os seus componentes (abafadores de ruído, reservatórios de óleo, selagem, sistema de resfriamento, termostato, tubulação e válvulas).

Especifica os sistemas de controle e análise, recomendando a utilização de dois analisadores de oxigênio com chaves de pureza, que impedem o fornecimento do gás quando este não atinge os níveis mínimos determinados, os pontos de amostragem localizados entre a saída do concentrador e as válvulas de isolamento, e estipula o período máximo de uma semana para calibração e ajuste das células analisadoras.

Estabelece recomendações sobre a instalação da central de suprimento, tais como localização, proteção física, limpeza, documentações que devem ser fornecidas pelo fabricante e itens que devem ser verificados antes de colocá-la em operação.

3.9 RESOLUÇÃO Nº 1355 DO CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA

Esta resolução do Conselho Federal de Medicina foi regulamentada em 1992, estabelecendo padrões mínimos para instalação e funcionamento de centrais de suprimento utilizando concentradores de oxigênio, denominadas, neste documento, de "usinas concentradoras de oxigênio".

Diferentemente do percentual mínimo estipulado pela NBR 13587 para concentração do oxigênio, segundo mostrado na Tabela 2.1, define este valor como sendo 92%, assim como o percentual máximo de argônio e nitrogênio, de 5% e 4%, respectivamente.

Define como sendo responsabilidade do diretor técnico da instituição a realização de análises periódicas, qualitativa e quantitativa, do gás produzido, assim como análises que permitam o aperfeiçoamento do sistema, realizadas por hospitais universitários.

Em relação a aspectos de segurança, faz restrição à utilização de anestésias em circuito fechado, ou seja, com reinalação dos gases administrados para o paciente, e exige a monitoração das concentrações do oxigênio através de oxímetros de linha localizados em aparelhos de anestesia.

4 SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES MEDICINAIS E VÁCUO

4.1 INTRODUÇÃO

Os sistemas centralizados de oxigênio, óxido nitroso, ar e vácuo medicinais são caracterizados quando o gás ou o vácuo é conduzido através de tubulação de uma central até os postos de utilização. Este modelo centralizado constitui-se na maneira mais econômica e segura de suprimento dos gases medicinais e vácuo em todo e qualquer EAS que, durante seus procedimentos, faça uso de gases medicinais e vácuo de forma não-eventual (MOYLE, 2000). Substitui o uso de cilindros transportáveis, evitando, sobretudo, o risco de acidentes envolvidos no seu transporte e manuseio. Assim, são compostos pela central de suprimento, rede de distribuição e postos de utilização (NBR 12188, 2001*; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1994).

4.2 CENTRAL DE SUPRIMENTO

A central de suprimento é a parte do sistema formada por equipamentos destinados à produção de gases e vácuo medicinais, tais como compressores, bombas, concentradores e sistemas de tratamento formados por filtros e secadores, ou simplesmente armazenamento de gases medicinais, em cilindros ou tanques criogênicos. Dessa maneira, tem como objetivo suprir o seu fornecimento, sendo previsto, além do suprimento primário, um secundário ou de reserva, de modo a evitar que ocorra comprometimento do abastecimento, o que poderia ameaçar o funcionamento de um EAS. Conforme o tipo de suprimento ao qual se destina e variáveis como consumo e custo, será formado por uma bateria de cilindros, tanque criogênico, por concentrador de gás, gerador de vácuo, compressor de ar, ou sistema para mistura de gases.

4.2.1 CENTRAL DE SUPRIMENTO COM TANQUES ESTACIONÁRIOS

Os tanques estacionários são equipamentos de grande porte, onde o gás está acondicionado na forma líquida através de baixas temperaturas (-183 °C) e

* Ver item 3.3 do Capítulo 3.

pressões que variam de 4 a 17 kgf/cm² (WHITE MARTINS, 1999; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1995; HOWELL, 1980). Estes são geralmente utilizados para armazenagem de oxigênio em casos de alto consumo, considerados por HOWELL (1980) como consumos superiores a 100 m³ por semana, visto que na forma líquida maiores quantidades do gás podem ser armazenadas. Ressalta-se que um metro cúbico de oxigênio líquido equivale a 861 metros cúbicos de oxigênio gasoso (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1995).

Para que o gás se mantenha no estado líquido, faz-se necessário o uso de um isolamento térmico muito eficiente. O tanque é dividido em um recipiente interno fabricado em aço inox ou níquel com soldas especiais, que são radiografadas e testadas contra vazamentos, e outro tanque externo fabricado em aço carbono, conforme mostrado na Figura 4.1. O espaço entre os dois recipientes é preenchido por vácuo e perlita, que é um material com propriedades isolantes que faz com que o ganho de calor seja minimizado quando o vácuo diminui (MACINTYRE, 1996). Entretanto, ressalta-se que nenhum isolamento pode ser perfeito e que sempre haverá perda do gás para o exterior (MOYLE, 2000).

Além disso, a capacidade útil do reservatório é cerca de 85% da sua capacidade real (MACINTYRE, 1996) e o seu funcionamento se dá através da compensação, quando ocorre queda de pressão em razão da retirada do líquido, e ativação do sistema de segurança, quando há sobrepressão, sendo, assim definidos como auto-operados. É através da pressão do gás que o líquido flui para a tubulação (BRITO, 1998).

Como componentes dos tanques criogênicos estacionários têm-se o seu sistema de segurança, sistema economizador, sistema elevador de pressão, sistema de controle e vaporizador.

a) Sistema de segurança - Os tanques criogênicos estacionários possuem como sistema de segurança válvulas de alívio e discos de ruptura que entram em funcionamento automaticamente quando a pressão interna atinge valores que, segundo BRITO (1998), chegam a 18kgf/cm² e 24,5kgf/cm², respectivamente.

Como medida de segurança, a NBR12188, 2001* estabelece que estas válvulas devem ter suas descargas direcionadas para baixo através de tubulações e para fora, quando o tanque estiver em recinto fechado.

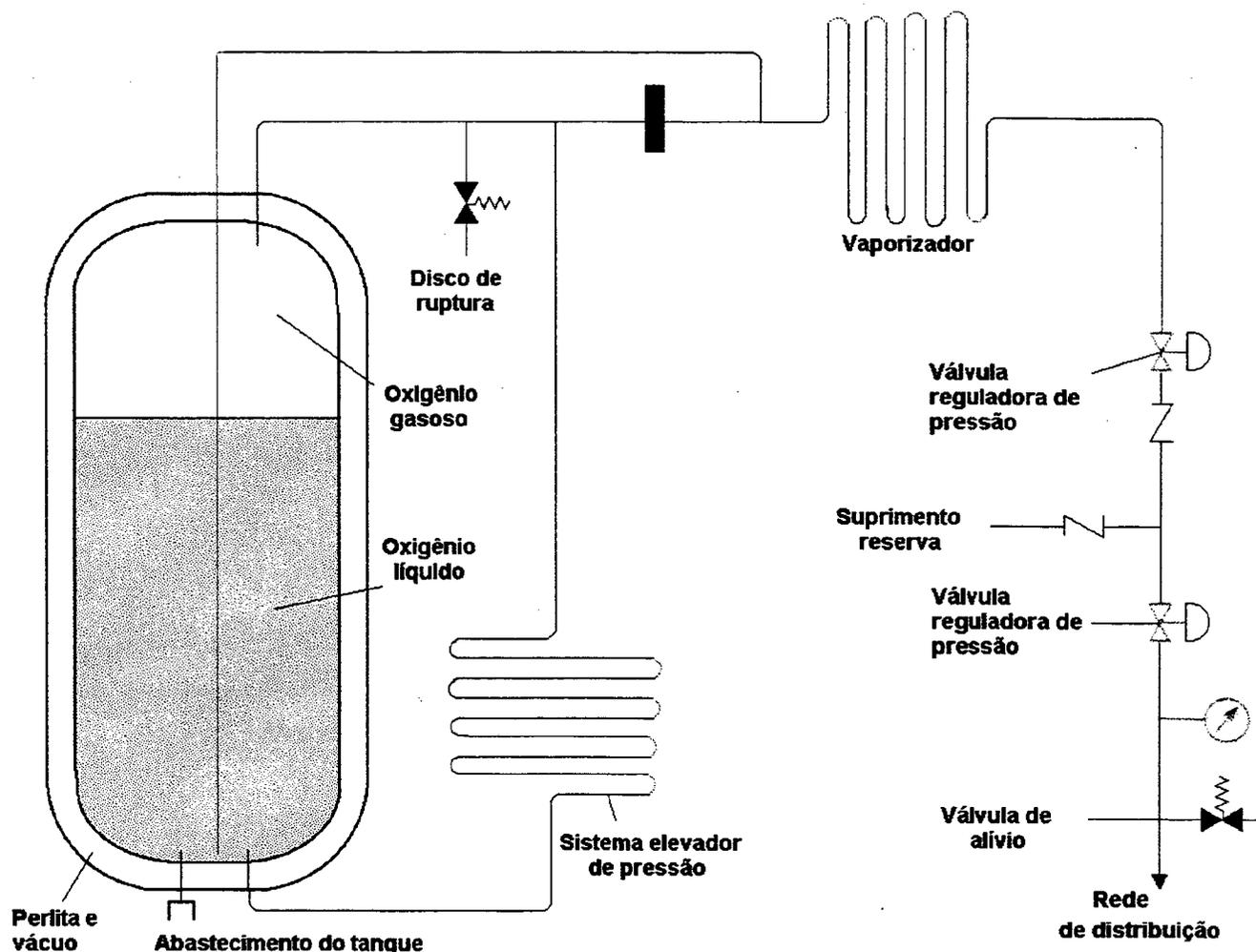


Figura 4.1 Diagrama ilustrativo de um tanque criogênico estacionário.

O tanque criogênico é constituído por paredes duplas contendo como isolante a perlita e o vácuo. O oxigênio líquido deixa o tanque, onde através da troca de calor no vaporizador passa para o estado gasoso. Logo a seguir, sua pressão é regulada através de uma válvula e este então, é direcionado para a rede de distribuição. Quando ocorre queda da pressão interna do tanque, o sistema elevador de pressão é acionado. Como sistema de segurança contra excesso de pressão possui o disco de ruptura e a válvula de alívio.

Fonte: PETTY, 1987.

* Ver item 3.3 do Capítulo 3.

b) Sistema economizador - Quando ocorre aumento da pressão interna, este sistema permite que o gás seja direcionado para a rede, ao invés de ser expelido para a atmosfera.

c) Sistema elevador de pressão – Quando há uma queda da pressão interna do tanque, parte do líquido é transformada em gás através de uma serpentina, elevando a pressão.

d) Sistema de controle ou medição – Antigos modelos de tanques criogênicos tinham o seu volume expresso pelo peso e indicado por um mostrador. Atualmente, o seu conteúdo é avaliado pela diferença de pressão entre a sua parte superior e a inferior, sendo esta última maior por causa da força da gravidade. Assim, um medidor da pressão diferencial compara as pressões inferiores com as superiores e uma escala do dial converte a diferença em forma de volume. Este medidor é calibrado para cada tanque de acordo com o seu tamanho (MOYLE, 2000).

e) Vaporizador - Os vaporizadores são tubos em forma de serpentina os quais permitem que haja troca de calor entre o líquido criogênico e o meio, de maneira que ocorra aumento de pressão e temperatura, transformando-o em gás.

A portaria 1884 (1994) estabelece que uma central que tem como suprimento primário um tanque criogênico deve possuir um suprimento reserva formado por uma bateria de cilindros, para garantir que não ocorra comprometimento no fornecimento do gás. As normas NB 254 (1977) e NBR 12188 (2001)* são ainda mais criteriosas com relação ao suprimento reserva, recomendando que este entre automaticamente em funcionamento quando ocorrer queda de pressão do tanque criogênico, devendo a equipe de manutenção ser alertada através de um alarme operacional, caso isso ocorra. Tão logo seja restabelecido o funcionamento do suprimento primário, os cilindros vazios devem ser substituídos por cilindros com carga total.

Segundo a portaria 1884 (1994) do Ministério da Saúde e a NBR 12188 (2001)*, um local adequado para instalação do tanque criogênico é tido como aquele onde há facilidade de acesso para o caminhão de abastecimento e é

restrito à circulação de pessoas e veículos. Dessa maneira, devem ser observadas distâncias mínimas, especificadas no Anexo 3, de portas, calçadas, tráfego de veículos, armazenamento de materiais inflamáveis e combustíveis, o que se torna um problema em grandes cidades, onde hospitais e clínicas estão localizados em zonas centrais, em que o espaço é reduzido.

Em casos em que não for possível respeitar as distâncias determinadas, faz-se necessária a utilização de paredes corta-fogo com resistência mínima de duas horas, que isolem principalmente a parte inferior do tanque, onde estão situadas as válvulas.

Alguns aspectos relacionados à segurança deverão ser observados em relação à utilização do gás criogênico (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1995):

- todos os equipamentos para manuseio destes sistemas devem ser mantidos limpos e isentos de material orgânico ou combustível;
- todos os tanques devem possuir dispositivos de segurança;
- o manuseio de gases liquefeitos traz riscos de queimaduras em virtude da rápida desidratação, razão pela qual é importante a utilização de equipamento de proteção individual;
- em caso de queimadura, deve-se lavar a área atingida com água morna e procurar auxílio médico imediatamente.
- o oxigênio é altamente comburente e retém-se com facilidade em madeiras e tecidos.

4.2.2 CENTRAL DE SUPRIMENTO COM CILINDROS

Os sistemas centralizados que utilizam como suprimento primário uma bateria de cilindros são utilizados nos casos de instalações pequenas e médias, as quais, segundo HOWELL (1980), são caracterizadas para consumos menores do que 100 m³ por semana. Os gases abastecidos dessa forma são geralmente o oxigênio e o óxido nitroso. O ar medicinal é pouco encontrado nesta forma por causa de seu alto custo quando comparado com seu fornecimento através de um compressor.

* Ver item 3.3 do Capítulo 3.

O oxigênio é acondicionado em cilindros na forma gasosa e o óxido nitroso, na forma líquida, pelo fato de a temperatura crítica do oxigênio ser $-118,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ e do óxido nitroso, $36,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. A temperatura crítica é a temperatura máxima na qual a substância poderá ser comprimida para se converter de um gás para líquido; abaixo desta temperatura, ela poderá existir como um vapor ou como um líquido, ou uma mistura de ambos; acima desta temperatura nenhuma quantidade de pressão poderá liquefazê-la (COLLINS, 1985).

Assim, o óxido nitroso poderá existir como um líquido ou um vapor abaixo da temperatura crítica de $36,5\text{ }^{\circ}\text{C}$; acima desta temperatura, somente poderá existir como um gás. O oxigênio somente poderá existir como líquido abaixo de $-118\text{ }^{\circ}\text{C}$, necessitando que haja um grande isolamento térmico para manter uma temperatura tão baixa, o que não é o caso dos cilindros.

Cilindros de alta pressão são utilizados para acondicionar gases como o oxigênio e o ar medicinal, com pressões que variam de 120 a 190 kgf/cm^2 , com capacidades de $0,4$ a 10m^3 (BRITO, 1998). Nesse caso, como se trabalha com a forma gasosa, os conteúdos dos cilindros podem ser estimados de acordo com a pressão medida, pois a quantidade de gás será proporcional à pressão e variações de pressão causadas por variações da temperatura ambiente não são significativas (MOYLE, 2000; LUNN, 1980).

De maneira a suportar os valores de pressões descritos, estes são fabricados a partir de tubos de aço médio manganês, aço cromo molibdênio ou aço carbono, sem costuras. Possuem como sistema de segurança o disco de ruptura, que se rompe quando ocorre elevação da pressão (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1995).

Os cilindros de baixa pressão são utilizados para o armazenamento do óxido nitroso, com uma pressão em torno de 50kgf/cm^2 . Nesses cilindros, a pressão não terá relação com o volume e manter-se-á estável até que todo o líquido do seu interior tenha se evaporado, e o valor do conteúdo medido cairá rapidamente quando este estiver próximo do final, sendo suas capacidades mais bem determinadas através de seu peso GAYNOR (1993), o qual poderá variar de $12,5$ a 150kg . São fabricados em aço inoxidável ou aço carbono ligados por solda especial. (AULER JÚNIOR, 1995; MOYLE, 2000).

Na Figura 4.2a, são especificadas as partes principais de um cilindro e que se denominam: base, corpo, calota e capacete. O gargalo e o colarinho não estão identificados, mas constituem-se na parte onde a válvula e o capacete são atarraxados, respectivamente.

Todos os cilindros, independentemente da sua pressão devem ser identificados pela cor característica de cada gás, sendo esta definida através do código internacional de cores, denominada "notação Munsell", conforme mostrado na Tabela 4.1. Além disso, devem também ser identificados através de um rótulo contendo dados, como identificação e concentração mínima do gás, recomendações de segurança para o transporte e manuseio, quantidade líquida do produto em metro cúbico para gases no estado gasoso e quilogramas para gases liquefeitos (NBR 12176, 1999).

Tabela 4.1 – Identificação dos cilindros de gases medicinais

Gás	Cor	Padrão Munsell
Oxigênio	Verde	2,5 G 4/8
Óxido nitroso	Azul-marinho	5 PB 2/4
Ar comprimido	Cinza-claro/ Verde*	N 6,5 - 2,5 G 4/8

Fonte: NBR 12176, 1999.

*O ar comprimido constitui-se numa mistura de gases e deve ter a cor cinza-clara pintada na calota e corpo do cilindro e uma faixa verde pintada no centro do corpo.

Além do padrão de cores utilizado para identificar o gás e evitar trocas acidentais na utilização dos gases, foram padronizadas as roscas de conexão para cada gás, as quais são definidas pela NBR 11725 (1986), assim como um sistema de pinos de segurança específico para gás, utilizados nos yokes dos aparelhos de anestesia, e que permitem que duas perfurações se encaixem perfeitamente caso o cilindro com o gás escolhido seja o correto (SPIEGEL, 1982).

Os cilindros devem trazer registradas em sua calota informações mínimas, tais como número de fabricação, identificação do fabricante, ano de fabricação, pressões de serviço, norma de fabricação, identificação da entidade inspetora de fabricação, conforme mostrado na Figura 4.2b; caso não possuam essas

informações, tornam-se condenados para qualquer outro procedimento. Outras informações importantes, entretanto não definem sua operacionalidade, tais como identificação do gás, capacidade em litros ou decímetro cúbico de água e tara (massa do cilindro vazio, sem válvula e capacete).

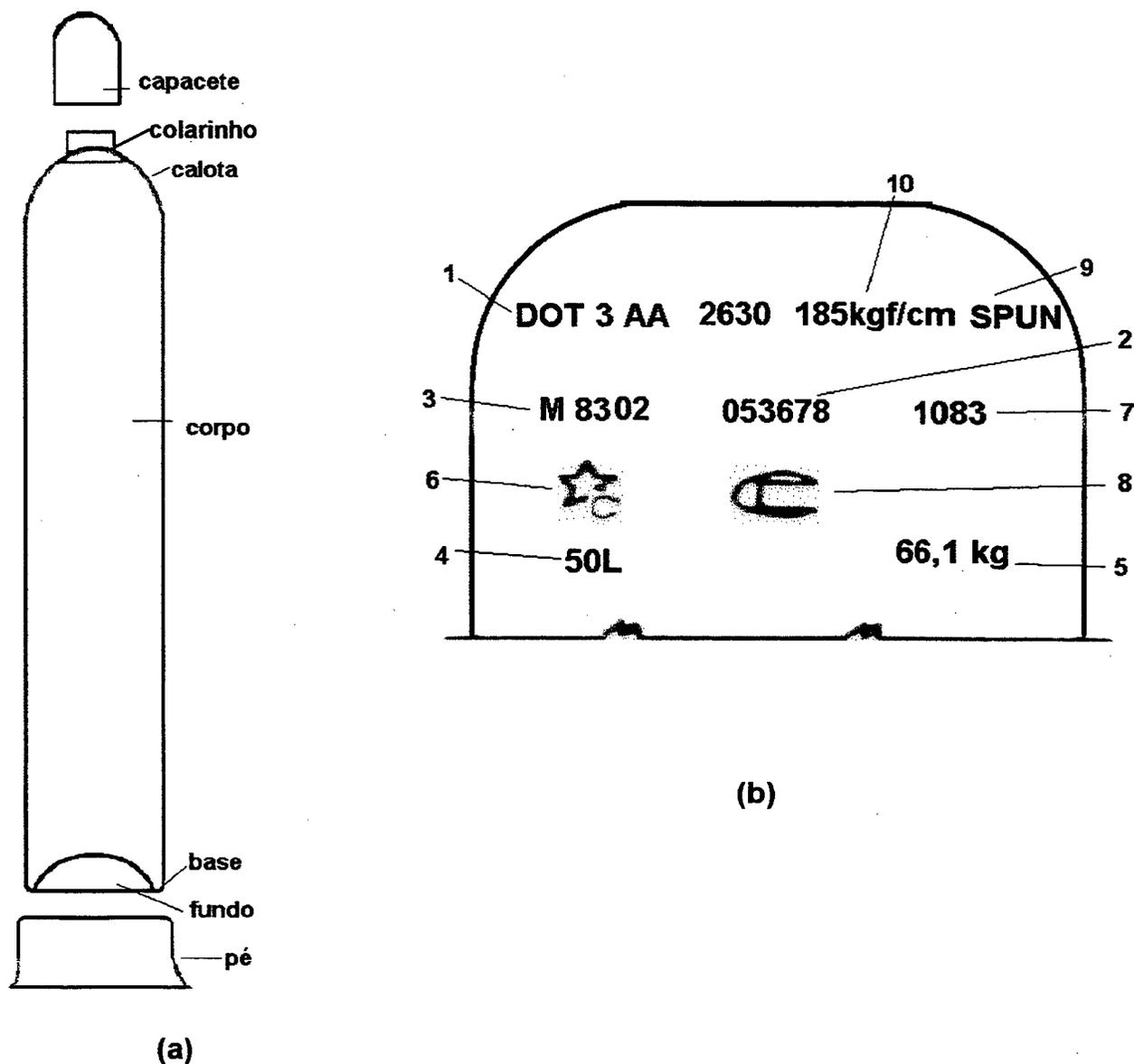


Figura 4.2 (a) Partes de um cilindro
Figura 4.2(b) Especificações de um cilindro

1. Órgão regulador (ver Glossário), tipo e material do cilindro; 2. Número de Série; 3. Número de registro do fabricante; 4. Capacidade hidráulica; 5. Tara do cilindro; 6. Símbolo do fabricante; 7. Data do último teste hidrostático; 8. Código da entidade certificadora; 9. Processo de fabricação; 10. Pressão máxima de serviço.

Fonte: NBR 12176, 1999.

Conforme a NBR 12274 (1994), as inspeções periódicas variam de intervalos de dez anos, para o oxigênio, e cinco anos, para o óxido nitroso e ar comprimido, e compreendem, além das verificações citadas, uma inspeção visual interna, pesagem, inspeção das roscas do gargalo e colarinho e ensaio hidrostático. Somente após esta rotina de inspeções e ensaios, havendo aprovação, são realizadas a sua marcação, pintura e identificação; em caso contrário, deverão ser inutilizados. Em qualquer uma das situações, deverá ser emitido um relatório de inspeção.

Grande parte dos acidentes envolvendo a utilização de cilindros ocorre durante o seu manuseio, armazenagem e movimentação. Por isso, alguns cuidados devem ser observados, tais como (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1995; WHITE MARTINS, 1999; BRITO, 1998; MCPHERSON, 1995):

- ao receber os cilindros, deve-se certificar-se de que estão com o lacre intacto; em caso contrário, deverão ser devolvidos;
- ressalta-se que oxigênio e óxido nitroso são elementos oxidantes e que aceleram a reação de combustão; portanto, deve-se ter cuidado na utilização de ferramentas, mãos ou luvas contaminadas com óleos, graxas e outras substâncias combustíveis;
- rótulos, etiquetas e adesivos identificam os cilindros e não devem ser removidos;
- cilindros sem identificação ou com identificação duvidosa devem ser devolvidos ao fabricante ou fornecedor do gás;
- as cores também servem para identificar o gás que o cilindro contém; por serem padronizadas, não devem ser alteradas;
- os cilindros devem ser mantidos longe de fontes de calor, pois este aumenta a sua pressão interna;
- devem estar sempre acorrentados, principalmente quando transportados;
- devem ser movimentados por pessoas usando equipamentos de proteção individual, tais como luvas, botas de biqueira de aço, óculos e capacete;
- a maneira correta de movimentá-los é levemente inclinados, girando-os pelo capacete e apoiados na borda de sua base. Nunca se devem movimentá-los pela válvula ou deitados e mais de um de cada vez;

- ao levantá-los da posição horizontal, isso deve ser feito pelo capacete certificando-se de que esteja bem fixado;
- quando forem conectados às centrais, devem-se verificar a conexão entre as roscas dos chicotes e as válvulas das centrais, evitando vazamentos ou acidentes;
- as válvulas devem ser abertas ou fechadas sem a utilização de ferramentas, e jamais lubrificadas;
- vazamentos podem ser identificados através da utilização de espuma de água e sabão neutro;
- nunca se devem misturar ou transferir gases de um cilindro para outro;
- apenas se remove o capacete de proteção da válvula quando este for utilizado;
- quando em uso, a válvula deve ser completa e vagarosamente aberta. A rápida passagem do gás pela válvula do cilindro e a conexão provoca uma recompressão instantânea neste espaço, gerando calor, que, na presença de contaminantes de óleo ou graxa, pode causar explosões ou fogo;
- as conexões dos cilindros são padronizadas conforme o tipo de gás que se utiliza para que não ocorram trocas acidentais, não se permitindo o uso de adaptações;
- devem ser armazenados em locais limpos, secos e ventilados, cujo piso não permitirá o acúmulo de eletricidade estática;
- devem ser protegidos do sol e da chuva, assegurando-se, dessa maneira, que etiquetas de identificação não sejam danificadas;
- caso ocorra o congelamento da válvula, o seu descongelamento deve ser feito com água à temperatura ambiente ou não superior a 55 °C;
- cilindros cheios não devem ficar no mesmo local dos cilindros vazios, que devem ser identificados;
- cilindros de oxigênio e óxido nitroso não devem ficar armazenados no mesmo local de cilindros que contenham gases inflamáveis;

Os sistemas centralizados que possuem como suprimento primário uma bateria de cilindros, assim como os demais sistemas estudados, devem garantir o

fornecimento do gás em quaisquer circunstâncias. Por essa razão, o Ministério da Saúde, através da portaria 1884 (1994), determina que, além do suprimento primário, deve-se prever um suprimento secundário também formado por cilindros. Uma das baterias é colocada em uso, ao passo que a outra tem o seu funcionamento ativado com o término do suprimento primário e conseqüente queda de pressão, fornecendo o gás à rede de distribuição sem interrupções, conforme mostrado na Figura 4.3.

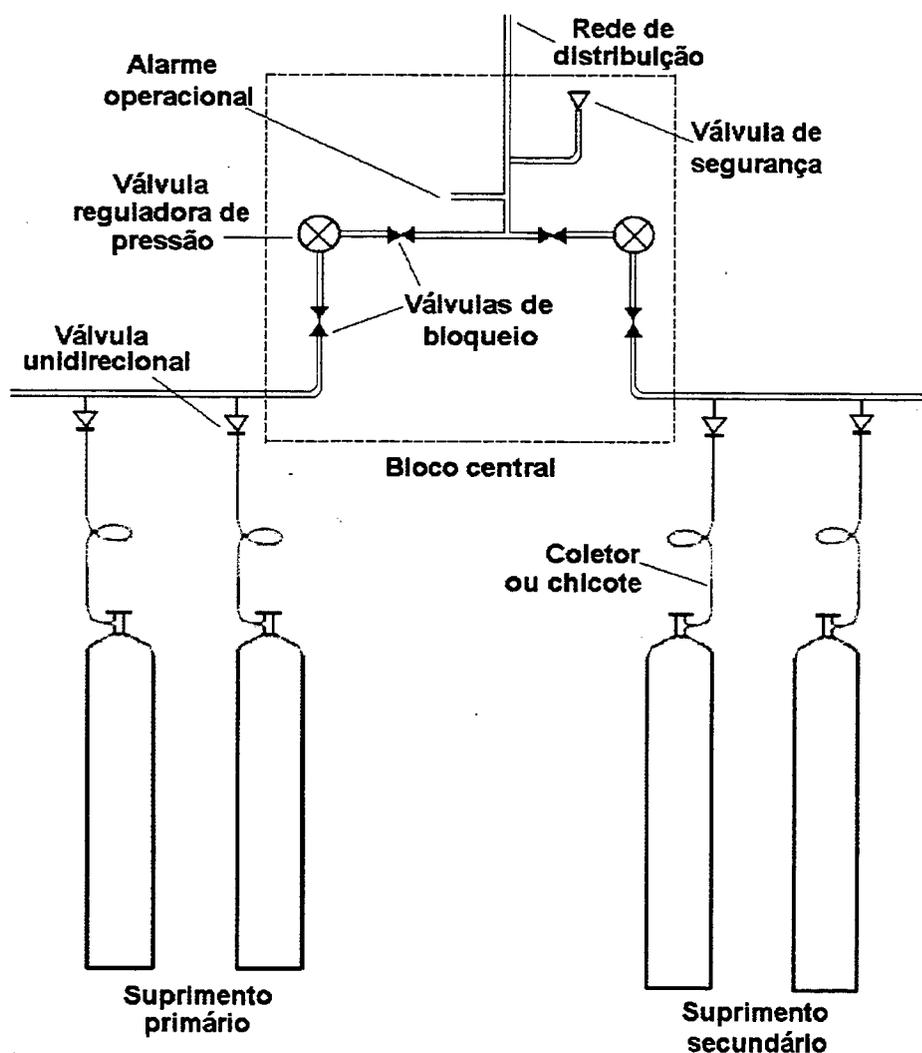


Figura 4.3 Diagrama ilustrativo de uma central de suprimento com cilindros.

Central de suprimento formada por duas baterias contendo dois cilindros que são ligados através de chicotes ao bloco central. Este é formado por válvulas reguladoras de pressão, manômetros, válvulas de bloqueio e dispositivos de segurança como alarme operacional e válvula de segurança.

Conforme as normas NB 254 (1977) e NBR 12188 (2001)*, a utilização do suprimento secundário deverá ser indicada através de um alarme sonoro e visual, que alertará a equipe de manutenção de que uma bateria de cilindros se encontra vazia.

Como as pressões internas dos gases nos cilindros são elevadas, deverão ser colocadas válvulas reguladoras de pressão compatíveis com o gás que irão trabalhar para cada conjunto de cilindros. Estas válvulas deverão reduzir a pressão de armazenamento para uma pressão de distribuição sempre inferior a 8kgf/cm^2 , sendo estas pressões monitoradas por manômetros instalados a montante e a jusante de cada bateria de cilindros (NB 254, 1977; NBR 12188, 2001*).

Imediatamente após cada válvula reguladora e entre o bloco central e cada bateria de cilindros, deverão ser instaladas válvulas de bloqueio, as quais são operadas manualmente de maneira a interromper o fluxo do gás quando houver substituição dos cilindros vazios, pequenos reparos de manutenção ou limpezas. Entre estas duas válvulas, deverão ser utilizadas válvulas de alívio de pressão que possibilitem a saída do gás para o exterior caso a pressão seja superior a $9,6\text{kgf/cm}^2$ (NBR 12188, 2001*).

4.2.3 CENTRAL DE SUPRIMENTO COM COMPRESSORES DE AR

As centrais de suprimento usualmente utilizam compressores de ar para o fornecimento de ar comprimido medicinal. A razão é o menor custo quando comparado a outras formas de abastecimento, como centrais de cilindros ou sistemas especiais de mistura.

A portaria 1884 (1994) exige o uso como suprimento secundário ou reserva, no mínimo, um outro compressor. Seu acionamento deverá ser realizado de forma manual ou automática, alternadamente ou em paralelo, e identificado através de alarme sonoro e visual. Caso não seja possível conectá-lo ao suprimento elétrico de emergência, deve-se prever um suprimento reserva de cilindros.

*Ver item 3.3 do Capítulo 3.

Em uma central que possui como suprimento primário um compressor de ar, além do suprimento secundário ou de reserva, deverá haver outros tipos de equipamentos, tais como secador, reservatórios e filtros, com o objetivo de assegurar a qualidade do ar e níveis mínimos de microorganismos patogênicos, substâncias oleosas, água, poeira e outros elementos, de maneira a tornar o ar atmosférico medicinal. A central está composta dos seguintes elementos:

a) Compressores - No mercado, existem diversos tipos de compressores, que são divididos em dinâmicos e de deslocamento positivo. Na obtenção do ar medicinal, seria mais útil a sua classificação em lubrificados ou isentos de óleo.

A portaria 1884 (1994) do Ministério da Saúde define que o ar comprimido, quando de uso medicinal, deverá ser gerado por compressores com selo de água, de membrana ou pistão com lubrificação a seco; entretanto na prática, outros tipos são utilizados. Além do tipo de compressor, o documento define que o ponto de captação de ar deve estar localizado externamente ao recinto, a 3 m de qualquer porta ou janela, 16 m da descarga de vácuo e exaustão de ventilação e a 6m acima do solo, conforme mostrado na Figura 4.4. Evita-se, dessa forma, que o ar seja captado junto ao compressor, absorvendo resíduos de óleo.

* Ver item 3.3 do Capítulo 3.

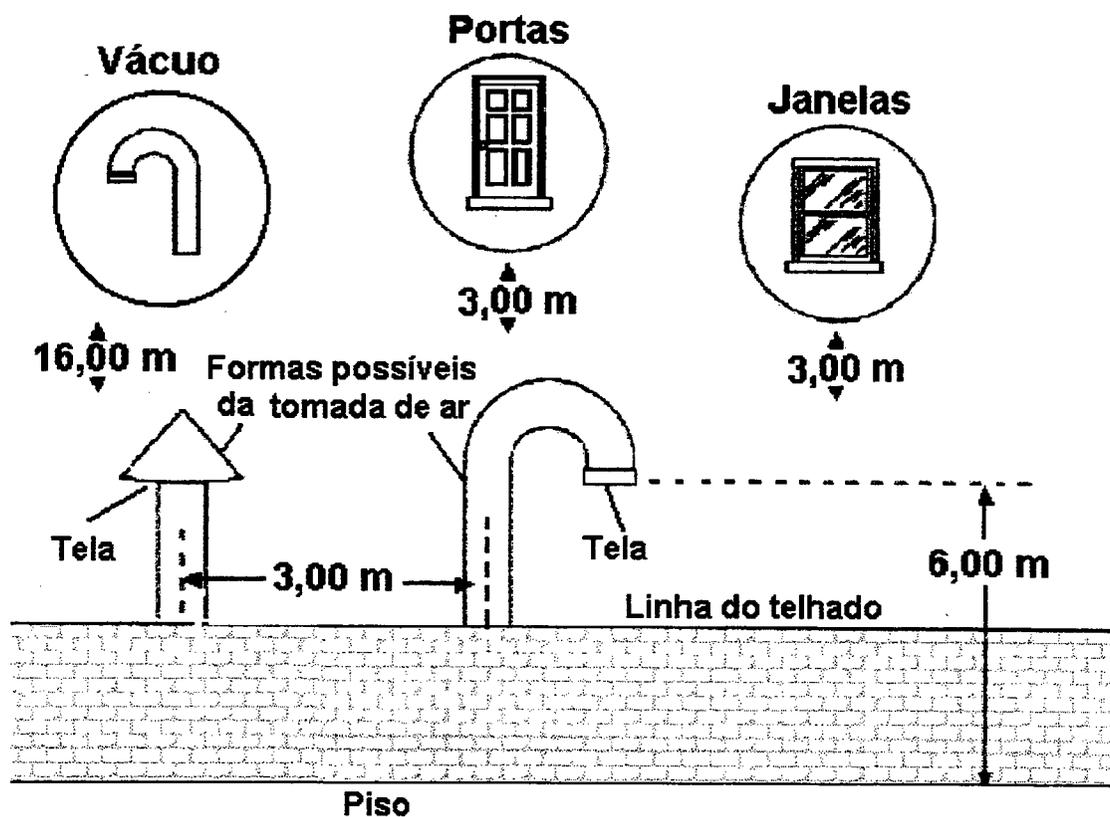


Figura 4.4 Distâncias definidas pela portaria 1884 (1994) para localização do ponto de captação de ar de uma central com compressor
 Fonte: Modificado NFPA (1999) apud Oliveira (2002)

A seguir, abordar-se-á alguns tipos de compressores, seus princípios de funcionamento, vantagens e desvantagens.

a1) Compressor selo de água – Este tipo de compressor é classificado como rotativo e consiste em uma carcaça na qual se tem um rotor com palhetas fixas, que é preenchido parcialmente com água. Através de uma força centrífuga gerada pela movimentação das palhetas, a água é lançada contra a parede da carcaça, formando um anel rotatório que funciona como pistão (ROLLINS, 1989). Este compressor é o mais indicado para obtenção de ar medicinal, pois não necessita de nenhuma lubrificação do rotor visto que não há atrito das palhetas com a carcaça e partículas e outros contaminantes ficam incorporados à água. Possui como desvantagens o alto custo inicial e o baixo rendimento, se

comparado aos compressores do tipo pistão ou parafuso lubrificados a óleo.

a2) Compressor de membrana – Neste compressor, o eixo está ligado a um diafragma flexível de borracha, couro ou plástico, e o ar é movimentado pela deformação do diafragma, que atua como pistão. Este tipo de compressor não é comum nos hospitais, pois possui um baixo rendimento se comparado com outros tipos, como pistão e parafuso.

a3) Compressor de pistão – Este tipo de compressor é classificado como alternativo, sendo mais utilizado o de dois estágios, pois a potência necessária é cerca de 15% menor para comprimir ar a 7 kgf/cm² do que o de um estágio (MACINTYRE, 1996).

a4) Compressor tipo parafuso – Este tipo de compressor é classificado como rotativo, sendo formado por dois rotores, um com lóbulos convexos, denominado de “rotor macho”, e outro com lóbulos côncavos, denominado de “rotor fêmea”, montados sobre uma carcaça. O ar é comprimido através da movimentação das engrenagens em direção à extremidade de descarga. Possui como desvantagens o atrito elevado, havendo necessidade de lubrificação que usualmente é feita com óleo; como vantagens, apresenta o baixo investimento inicial e de manutenção.

b) Resfriadores – O processo de compressão do ar gera um aumento de sua temperatura que pode chegar até 130 °C. Alguns tipos de compressores possuem o resfriador internamente, ou seja, um trocador de calor resfriado a ar ou água conhecido também como *aftercoolers*, cuja função é reduzir a temperatura do ar que sai dos compressores e, conseqüentemente, promover a etapa inicial de eliminação da água (AZEVEDO, 2000; MACINTYRE, 1996).

c) Reservatório – A função do reservatório é resfriar o ar até a temperatura ambiente e estabilizá-lo, condensando a maior parte da umidade e separando-o do óleo, sendo esses contaminantes eliminados pelos purgadores. Além disso, regulariza o trabalho dos compressores, prolongando sua vida útil; auxiliando em casos de pico de consumo, que não podem ser atendidos direta e imediatamente pelos compressores, estabilizando melhor a pressão (ROLLINS, 1989; MACINTYRE, 1996).

d) Separadores de condensado - Em geral, os separadores de condensado são filtros formados por telas metálicas ou plásticas sobrepostas, ciclones e sistemas que possuem uma área de tubulação aumentada e onde o ar tem sua velocidade reduzida, ou seu fluxo desviado de direção através de anteparos. Servem para remoção de partículas maiores, protegendo o secador e aumentando a vida útil dos demais filtros.

e) Secadores – A especificação do ar medicinal feita pela NBR 12188 (2001)* define a contaminação do ar pela água através do ponto de orvalho, conforme mostrado na Tabela 2.5. Conforme ROLLINS (1989), o ponto de orvalho é a temperatura na qual o condensado começa a formar-se quando o ar é resfriado a uma pressão constante.

É importante considerar que todo o ar atmosférico possui uma quantidade de água que poderá ser maior se a sua temperatura aumentar ou a pressão baixar e também dependerá da localização do ponto de captação do ar (MACINTYRE, 1996). Caso ocorra queda da temperatura ou aumento da pressão, a água tende a condensar-se, o que ocorre quando o ar sai do compressor a uma temperatura elevada e encontra uma superfície com temperatura mais baixa. Esta água poderá causar principalmente corrosão na rede de distribuição, provocando vazamentos, danificando equipamentos pneumáticos e possibilitando a proliferação de bactérias.

Através do resfriamento do ar, da utilização de materiais adsorventes ou membranas, secadores retiram grande parte da água do ar. Na escolha do processo mais adequado de secagem, devem-se considerar a eficiência,

investimento inicial, custos de manutenção, condições de operação e, sobretudo, o ponto de orvalho requerido, pois, quanto menor for este valor, mais eficiente será o secador.

O secador de ar por refrigeração é o mais comumente encontrado nas centrais de suprimento de ar comprimido medicinal pelo fato de possuir um custo de aquisição inferior ao do processo de adsorção ou membrana. Entretanto, possui um ponto de orvalho de 3 °C, ao passo que o tipo adsorção e membrana chegam, respectivamente, a -65 °C e -40 °C, possuindo maior eficiência (AZEVEDO, 2000). A seguir, descrevem-se os seus tipos e princípios de funcionamento.

e1) Secador de ar comprimido por refrigeração – O seu princípio de funcionamento assemelha-se ao de uma geladeira e baseia-se na transferência de calor entre um fluido refrigerante (freon) e o ar comprimido.

O ar úmido, após ter sido comprimido, passará por um filtro coalescente para remoção de partículas. A etapa inicial de secagem é feita com o direcionamento deste ar para o trocador de calor ar x ar, onde é resfriado pelo ar frio. Logo após, este passa pelo trocador de calor ar x fluido refrigerante, onde tem sua temperatura reduzida até 3 °C.

O gás refrigerante (freon) é comprimido por um compressor hermético ou semi-hermético a alta pressão, sendo convertido para o estado líquido após passar pelo condensador resfriado a ar ou à água. Sua temperatura é reduzida sensivelmente quando este passa por uma válvula de expansão termostática, sendo então injetado no trocador de calor ar x fluido refrigerante, reduzindo a temperatura do ar comprimido. Por causa da absorção de calor pelo fluido, este retorna ao compressor, com o que se inicia um novo ciclo.

Este tipo de secador limita-se pelo fato de não atingir temperaturas muito baixas (ROLLINS, 1989), sendo a mínima de 3 °C, pois temperaturas menores condensariam a água no interior dos

* Ver item 3.3 do Capítulo 3.

seus tubos, danificando o equipamento. Esta temperatura é suficiente para eliminar a água que condensa quando encontra temperaturas baixas. Entretanto, têm-se problemas quando ocorre a expansão do ar e o seu trabalho e temperatura diminuem levando a sua condensação nos postos de utilização.

e2) Secador de ar comprimido por adsorção - O secador por adsorção é composto por duas colunas que possuem um material adsorvente, como a sílica gel ou a alumina ativada, sendo o ar direcionado para uma destas e o vapor d'água é retirado por adsorção, enquanto a outra coluna é regenerada.

A regeneração do material, ou seja, a eliminação ou a evaporação da água adsorvida, é obtida com o aquecimento ou "lavagem" do material saturado com ar seco e quente -TSA (*Thermal Swing Adsorption*) ou a frio com ar seco pressurizado - PSA (*Pressure Swing Adsorption*).

A regeneração do material saturado através de TSA é feita através da passagem de cerca de 5 a 6% do ar comprimido seco e puro, que possui sua temperatura elevada de 180 a 250 °C, através de um aquecedor elétrico ou a vapor, por uma das duas colunas de adsorção, enquanto a outra está sendo utilizada. Assim, a alternância na utilização dos reservatórios é uma constante, e um ciclo possui um tempo de duração que varia de quatro a oito horas (AZEVEDO,2000).

O sistema de regeneração utilizando PSA é semelhante ao processo que foi descrito utilizando TSA. Difere apenas pelo modo como a regeneração ocorre: ao invés de ar quente passando pelo reservatório para a secagem, este é despressurizado e toda a umidade é retirada. Segundo AZEVEDO (2000), neste sistema cerca de 9 a 14% do ar comprimido seco e puro, após serem filtrados, atravessam a coluna a ser regenerada e o ciclo de operação tem uma duração de até oito minutos.

Comparando-se os dois processos, tem-se um menor consumo elétrico na utilização da regeneração a frio (PSA), mas um maior consumo do ar comprimido utilizado para a lavagem do adsorvente (AZEVEDO,2000).

e3) Secador de ar comprimido tipo membrana - O secador tipo membrana caracteriza-se por ser um equipamento com maior simplicidade operacional que os estudados anteriormente, mas mesmo assim, com capacidade de atingir um ponto de orvalho de até -40°C .

É composto por um filtro coalescente, cuja função é remover partículas sólidas, água e óleo, e um segundo filtro, formado por um aglomerado de tubos de fibras de membrana tratadas quimicamente. Após a passagem do ar comprimido pelo primeiro filtro, este passa longitudinalmente através do segundo, onde apenas a umidade atravessa lateralmente a membrana, alojando-se na sua parte externa.

f) Filtros – Os contaminantes que causam maiores problemas em circuitos de ar comprimido são a água e o óleo na forma de aerossóis ou vapores. O processo de coalescência constitui-se na aglomeração de pequenas partículas, que podem variar de 0,01 até 0,8 micra, formando partículas maiores, para, então, serem eliminadas (ROLLINS, 1989; BONICI, 2000). Os primeiros filtros coalescentes eram feitos de celulose e provocavam grandes quedas de pressão, além de serem caros. A substituição da celulose para elementos de fibra de borosilicato submicrônica proporcionou uma maior capacidade de retenção e a um baixo custo.

A formação de uma grande área superficial obtida através da plissagem do material filtrante faz com que a penetração das partículas seja intensa nos poros da superfície e logo ocorra a penetração nestes labirintos, proporcionando uma capacidade de armazenagem muito grande. Entretanto, as partículas retidas não são eliminadas do material filtrante, devendo-se substituí-los sempre que estiverem saturados.

Entretanto, os filtros coalescentes não são eficientes na remoção de odores e vapores de água e óleo, sendo necessária neste caso, a utilização de filtros de carvão ativado, denominados de “absorvedores”.

Além da água e do óleo, dependendo da localização do ponto de captação, pode haver a contaminação do ar com agentes patogênicos, os quais, podem ser eliminados através de filtros bacteriológicos, que exigem cuidado e frequência na sua substituição. Existem também os filtros bactericidas, que, além da retenção dos microorganismos, possuem a capacidade de eliminá-los.

g) Purgadores – Os purgadores são instalados nos reservatórios, filtros e secador e poderão ser do tipo manual, automático ou eletrônico. O técnico deve abrir a válvula do purgador manual para que ocorra a eliminação da água e de resíduos. Nos purgadores do tipo automático ou eletrônico, a eliminação da água e resíduos ocorre através de uma válvula solenóide automática; já no eletrônico, o acionamento da válvula é feito através de um temporizador, que permite a programação do período de eliminação da água.

4.2.4 CENTRAL DE SUPRIMENTO COM SISTEMA ESPECIAL DE MISTURA

Este tipo de central é utilizado para obtenção de ar medicinal, sendo pouco frequente por causa do custo de fornecimento dos gases envolvidos no processo de produção, se comparado ao fornecimento de ar através de compressores. Mas possui também algumas vantagens, tais como eliminação de manutenção de compressores e periféricos, redução dos riscos de infecção hospitalar, ausência de umidade e, conseqüentemente, aumento da vida útil de equipamentos que utilizam o ar medicinal, além do baixo nível de ruído (WHITE MARTINS, 1998).

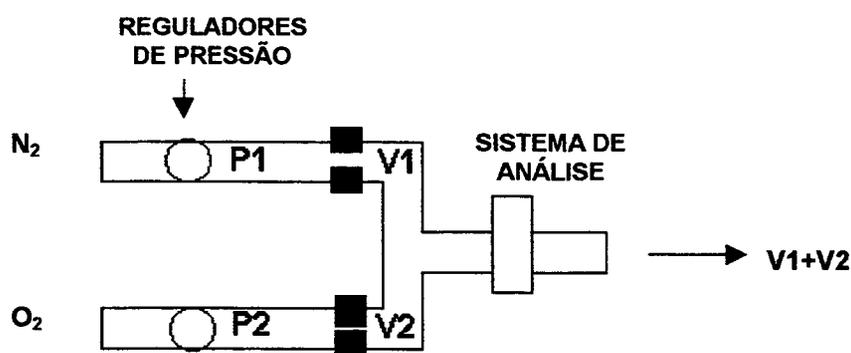
O suprimento primário deste sistema se dá por meio de tanques criogênicos de nitrogênio e oxigênio, onde o ar medicinal é obtido pela mistura de nitrogênio e oxigênio líquidos, nas concentrações de 79% e 21%, respectivamente. À semelhança dos outros sistemas estudados, como forma de

garantir o suprimento de ar, a NBR12188, 2001*, estabelece a previsão de um suprimento reserva composto de cilindros de alta pressão ou por um compressor.

O processo de mistura dos dois gases é feito com um equipamento denominado “misturador”, onde continuamente é monitorada a composição do ar produzido, havendo interrupção do fornecimento caso as proporções mínimas de oxigênio na mistura não sejam atingidas. (NBR12188, 2001).

O princípio de funcionamento do misturador de ar medicinal baseia-se na passagem dos gases componentes da mistura em duas tubulações independentes, mantidas à mesma pressão, as quais possuem orifícios calibrados com diâmetros calculados de maneira a permitir vazões proporcionais desses gases, conforme mostrado na Figura 4.5.

Como medida de segurança, o misturador possui componentes para controlar e manter constantes as pressões antes dos orifícios e controlar a vazão da mistura para o reservatório; assim, qualquer variação de pressão acima do permitido irá bloquear o misturador de maneira a não haver formação do ar em percentuais diferentes de cerca de 79% de nitrogênio e 21% de oxigênio. O sistema de análise atua como medida de segurança caso ocorra qualquer falha neste controle.



onde

$$P_1 = P_2, \text{ então } 0,21V_1 + 0,79V_2 = \text{ar medicinal}$$

Figura 4.5 Esquema de funcionamento de um misturador de ar medicinal

O nitrogênio e o oxigênio, mantidos a mesma pressão percorrem dois orifícios calibrados e com diâmetros calculados para manterem a proporcionalidade na mistura para formação do ar.

4.2.5 SISTEMA DE VÁCUO

Os sistemas de vácuo são semelhantes às centrais com compressores destinadas ao fornecimento de ar medicinal, entretanto trabalham de forma contrária, retirando o ar da rede de distribuição e deixando a pressão menor que a atmosférica.

Segundo a portaria 1884 (1994) do Ministério da Saúde e a NBR 12188, 2001*, o sistema de vácuo de um EAS deverá ser composto de um suprimento primário e um secundário, ou seja, duas bombas funcionando alternadamente ou em paralelo, com capacidade para atender individualmente 100% do seu consumo máximo provável.

Ainda, de modo a garantir a funcionalidade do sistema, faz-se necessário considerar a conexão de, no mínimo, uma das bombas ao sistema de emergência de energia elétrica e, quando isso não for possível, deve-se prever a utilização de aspiração com ar medicinal ou oxigênio.

O local escolhido para instalação da central deverá levar em consideração a restrição a pessoas estranhas à manutenção, pois, segundo BRITO (1998), o sistema possui contato com material orgânico biologicamente perigoso, o nível de ruído gerado pelas bombas deverá ser controlado, além de adequada ventilação e iluminação.

* Ver item 3.3 do Capítulo3.

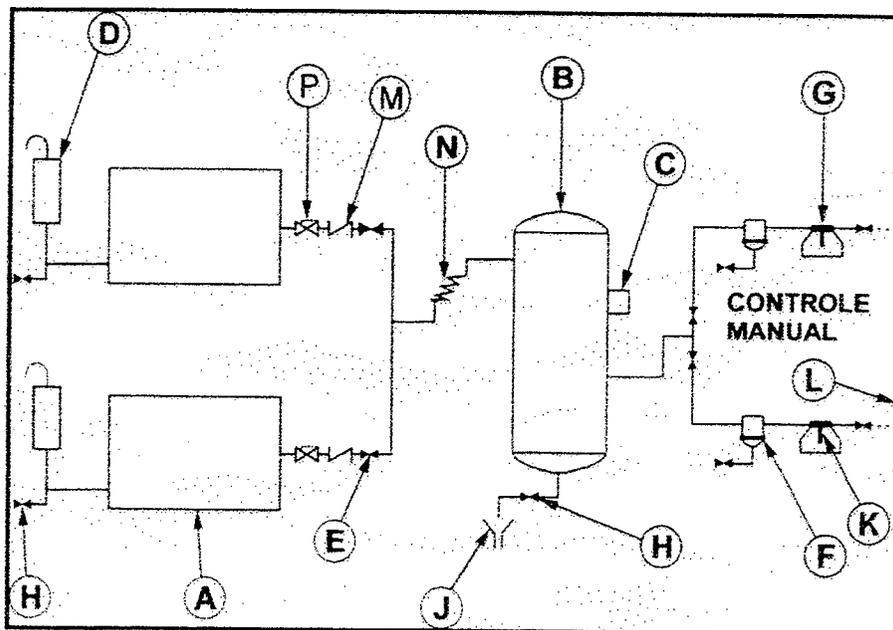


Figura 4.6 Instalação de uma central de vácuo

A. Bomba de vácuo; B. Reservatório de vácuo; C. Controlador automático de vácuo; D. Silenciador para exaustão; E. Válvula isolante; F. Filtro bacteriológico; G. Sifão de dreno; H. Válvula manual de drenagem; J. Funil coletor; K. Tubo visor de nível; L. Serviço principal de vácuo; M. Válvula de retenção; N. Mangueira; P. Pressostato.

Fonte: NBR 12188, 2001*.

Caso o sistema não possua desinfecção do gás aspirado, deverão ser instalados dois filtros bacteriológicos de $1\mu\text{m}$ a montante deste reservatório de vácuo, de modo a reter aerossóis provindos do processo de aspiração, conforme mostrado na Figura 4.6. Esses filtros devem ser manipulados por pessoal treinado para que a sua troca seja efetuada de maneira simples e segura e podem ser esterilizados por autoclavagem (NBR 12188, 2001*; HOWELL, 1980).

Neste tipo de central, é indicada a utilização de bombas do tipo anel líquido, que, apesar de possuírem um custo inicial maior, possuem manutenção e operação menos onerosas do que outros tipos de sistemas. Além disso, possuem a capacidade de remoção de bactérias, e caso aerossóis sejam aspirados até o reservatório da central vários danos serão causados em compressores do tipo alternativo. Cuidado especial apenas deverá ser dado à água do selo do compressor, que, no caso de ser recirculada, reduz o custo gerado com o

desperdício. Contudo faz-se necessária a utilização de filtros bacteriológicos no sistema, conforme Figura 4.6, para evitar a sua contaminação.

4.2.6 CENTRAL DE SUPRIMENTO UTILIZANDO EQUIPAMENTO CONCENTRADOR DE OXIGÊNIO

Uma central de suprimento deste tipo utiliza como suprimento primário um equipamento concentrador de oxigênio medicinal, sendo, dessa maneira, o oxigênio obtido através do ar medicinal.

Como nos outros tipos de centrais de suprimento, este sistema deverá possuir um suprimento secundário, denominado pela NBR 13587 (1996) de “suprimento auxiliar”, que entre em operação automaticamente no caso de falha ou em complementação ao funcionamento do concentrador, sendo formado por cilindros de alta pressão ou por um tanque criogênico.

Em virtude do oxigênio ser fundamental em alguns procedimentos, a funcionalidade do sistema deve ser garantida. Dessa forma, além do suprimento secundário, a NBR 13587 (1996) exige a utilização de um suprimento de emergência, a ser utilizado no caso de o suprimento auxiliar não atender à demanda.

As centrais de suprimento com concentradores de oxigênio são semelhantes às centrais com compressores de ar, diferindo apenas na utilização do concentrador, de maneira a produzir um produto final com outras características, ou seja, o oxigênio. A NBR 13587 (1996) estabelece como componentes mínimos de centrais deste tipo os seguintes elementos:

- compressor de ar de uso exclusivo para o fornecimento do oxigênio;
- concentrador de oxigênio;
- reservatório de oxigênio;
- suprimento auxiliar,
- suprimento de emergência;
- dispositivos de análise, controle e vazão.

Os compressores de ar utilizados nas centrais de suprimento com concentradores são geralmente do tipo parafuso, com lubrificação a óleo, o que exige um sistema de tratamento eficiente do ar. A norma que regulamenta estes

sistemas NBR 13587 (1996) não especifica o tipo de compressor que deverá ser utilizado, nem é específica quanto a sua localização, mas cuidados como os citados para a obtenção do ar na central de suprimento com compressor deverão ser levados em consideração.

Como prevenção ao risco de intoxicação do paciente, tomam-se fundamentais o controle da concentração do oxigênio através do intertravamento dos diversos componentes do concentrador e a utilização de dois analisadores de oxigênio em operação contínua, com chaves de alarme de pureza que desarmam e isolam o concentrador automaticamente quando os valores especificados na Tabela 2.1 não são atingidos. Esta análise é realizada através de oxímetros de linha, que são equipamentos destinados a medir a concentração de oxigênio em uma mistura gasosa. O método mais comum e com menor custo utiliza a célula galvânica, porém existem outros, tais como polarográfico, paramagnético, zircônio aquecido, método de Raman e espectrometria de massa (SBA, 2001; NBR13587, 1996).

Neste método, há um sensor que produz tensão através de uma reação química entre os seus elementos proporcional à concentração de oxigênio. Ressalta-se que a troca da célula de medição deverá ser realizada em um determinado número de horas de utilização, devido ao seu desgaste. Assim como deverá ser calibrada e ajustada semanalmente, em temperatura ambiente e no local da instalação (SBA, 2001; NBR13587, 1996, PETTY, 1987).

Além disso, os aparelhos de anestesia, quando utilizarem misturas com outros gases, também deverão ser providos de oxímetros de linha, não sendo permitidas anestésias em circuito fechado, ou seja, com reinalação total dos anestésicos administrados ao paciente em razão do risco de intoxicação causado pelo argônio (CFM, 1992). Um adequado sistema de monitoração da concentração do gás nas salas cirúrgicas é fundamental para controle da administração de misturas ao paciente, garantindo, dessa maneira, a sua segurança (LAWLER, 1992; SHAW, 1991).

A Sociedade Brasileira de Anestesiologia aconselha que sejam realizadas análises mensais da composição do gás fornecido, por uma ou mais entidades isentas, além de testes semanais simulando a parada do equipamento, em horário de menor utilização, verificando o funcionamento do sistema reserva.

Além disso, deve haver condições mínimas de segurança para a prática de anestesia, tais como monitorização dos pacientes com esfigmomanômetro, estetoscópio pré-cordial ou esofágico e cardioscópio; monitorização do CO₂ expirado e, de forma obrigatória, da saturação da hemoglobina (SBA, 2001).

A central de suprimento com concentrador de oxigênio deverá ter uma proteção física, de modo que o acesso seja limitado a pessoas autorizadas e construída de material não combustível. A NBR 13587 (1996) estabelece que deverá, obrigatoriamente, estar localizada acima do solo, sendo adequadamente ventilada e utilizada exclusivamente para este fim, devidamente protegida contra quedas de linhas de transmissão de energia elétrica, ou tubulações contendo líquido ou gases inflamáveis.

Antes de a central ser colocada em funcionamento, é importante a verificação de alguns itens e a realização de alguns testes, tais como fornecimento de oxigênio aceitável em um período mínimo de 24 horas, partida automática, parada forçada, verificação do equipamento de monitoração, alarmes e válvulas de bloqueio do sistema, mudança automática do suprimento auxiliar no caso de falha ou em complementação ao concentrador e acionamento automático do suprimento de emergência com indicação do alarme operacional (NBR 13587, 1996).

É importante ressaltar ainda que a utilização de uma central de suprimento com concentrador de oxigênio transfere para o hospital toda a responsabilidade pela produção, segurança e qualidade do produto. Busca-se, com isso, basicamente, a redução de custos do gás obtido, que irá variar de acordo com o preço de mercado praticado pelas empresas fornecedoras.

4.3 REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Segundo a NBR 12188 (2001)*, a rede de distribuição é o conjunto formado por tubulações de cobre ou aço inoxidável, válvulas de seção e sistemas de

* Ver item 3.3 do Capítulo 3.

alarme destinados a conduzir os gases medicinais da central de suprimento até os postos de utilização.

4.3.1 TUBULAÇÕES

Os gases e vácuo medicinais são conduzidos através de tubulações de cobre ou aço inoxidável, pois são materiais que possuem elevada resistência à corrosão.

Além do material adequado, devem-se considerar ainda as principais cargas que agem sobre a tubulação, tais como:

- Pressão interna do gás, causando atrito da tubulação nos suportes. São muito comuns e totalmente inadequadas tubulações apoiadas umas sobre as outras, o que facilita o seu rompimento. A NBR 12188 (2001)* estabelece as distâncias máximas que devem ser observadas na fixação dos suportes que sustentam a tubulação da rede de distribuição, mostradas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Distâncias entre suportes dos tubos

Diâmetro externo (mm)	Vão máximo vertical (m)	Vão máximo horizontal (m)
Até 15	1,8	1,2
De 22 a 28	2,4	1,8
De 35 a 42	3,0	2,4
Maior que 42	3,0	2,7

Fonte: NBR 12188, 2001*.

- Sobrecargas agindo sobre a tubulação, tais como peso do solo, concreto e pessoas. Deve-se observar a profundidade no caso de tubulação embutida, pois, quando há uma profundidade exagerada, há peso excessivo sobre a tubulação e, ou quando é muito pequena pode não ser suficiente para absorver os impactos. Assim, quando não houver possibilidade de tráfego sobre a tubulação, deve-se colocá-la a uma profundidade mínima de 0,80 m do piso, não havendo necessidade

de proteção com canaletas ou tubos envelope; em caso contrário, a profundidade mínima exigida é de 1,20 m, sendo obrigatória a sua proteção (NBR 12188, 2001*). Conforme mostrado na Tabela 4.3, a espessura da parede deve ser condizente com o diâmetro da tubulação.

- Vibrações e movimentos de pontos extremos da tubulação, principalmente em casos de compressores e bombas. Por essa razão, deve-se prever o assentamento destas máquinas sobre suportes de borracha, minimizando, dessa forma, os impactos.
- Deve-se considerar que, quando há descompressão rápida de gases comprimidos, ocorre uma redução da temperatura, o que pode resultar no congelamento, especialmente de válvulas.

Tabela 4.3 – Características dimensionais dos tubos da rede de distribuição

Diâmetro nominal (mm)	Diâmetro externo (mm)	Espessura mínima de parede (mm)	Peso linear (kgf/m)	Pressão de serviço (kgf/cm²)
15,00	15,00	0,70	0,281	60,00
22,00	22,00	0,90	0,533	50,00
28,00	28,00	0,90	0,685	40,00
35,00	35,00	1,10	1,047	40,00
42,00	42,00	1,10	1,264	35,00
54,00	54,00	1,20	1,780	28,00

Fonte: NBR 12188, 2001*.

O projetista deve possuir conhecimento sobre os locais adequados de passagem da tubulação, evitando locais que dificultem a manutenção ou possam promover, em casos de vazamento do oxigênio ou óxido nitroso, o contato com óleos ou graxas, como poços de elevadores; também deve verificar a utilização de tubulação aparente em áreas que contenham gases inflamáveis e calor, como setores destinados à preparação de alimentos. Quando não for possível evitar a passagem de tubulação por esses locais, deve prever uma proteção com tubos de aço, assim como em casos de tubulações expostas a danos provocados por equipamentos portáteis.

Geralmente, quando a tubulação é projetada, considera-se que o seu sentido será descendente, ou seja, do teto em direção ao piso. Esta convenção facilita a manutenção, evitando a perfuração acidental da tubulação em caso de não haver disponibilidade da documentação do projeto e também, segundo MACINTYRE (1996), permite que ocorra o arraste de algum condensado para o ramal.

De maneira a facilitar a manutenção da tubulação, deve-se identificá-la em vários pontos, seguindo as cores padronizadas na Tabela 4.4, devendo estes ser localizados: próximo às conexões, válvulas e postos de utilização, antes e depois da sua travessia em paredes e forros ou, no máximo, a 30 m de distância, conforme mostrado na Figura 4.7.

Tabela 4.4 – Cor de identificação da tubulação

Gás	Cor	Padrão Munsell
Ar Medicinal	Amarelo-segurança	5 Y 8/12
Óxido Nitroso	Azul-marinho	5 PB 2/4
Oxigênio Medicinal	Verde-emblema	2,5 G 4/8
Vácuo	Cinza-claro	N 6,5

Fonte: NBR 12188; 2001*.

Deve-se considerar também o espaçamento entre tubos paralelos, de forma a permitir a pintura e a sua inspeção, conforme os valores da Tabela 4.5 ou conforme a limitação de espaço disponível.

Outro ponto a ser observado e evitado é o cruzamento da rede de energia elétrica com a tubulação de gases e vácuo medicinais, pois em caso de curto-circuito dos fios, poderá haver o rompimento de sua isolação e a energização da tubulação, que, sendo de material de excelente condutividade elétrica, como o cobre, causará danos aos pacientes e equipamentos que estejam conectados à rede de distribuição. Este caso se assemelha à utilização da tubulação como ponto de aterramento de equipamentos eletromédicos, através de conectores do tipo “jacaré”.

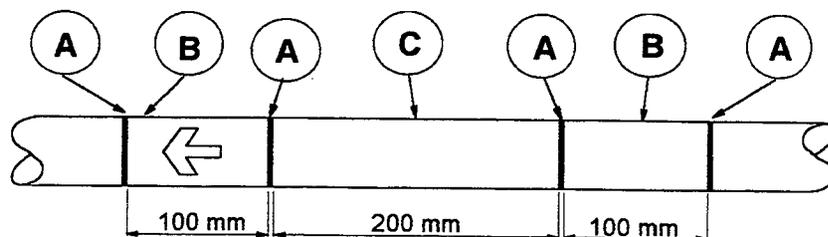


Figura 4.7 – Lay-out da faixa de identificação da tubulação

- A.** Friso de 2 a 5 mm de largura, na cor preta ou branca, conforme melhor contraste, utilizado quando as cores a sua direita e esquerda forem iguais
- B.** Cor de identificação do fluido, conforme Tabela 5.
- C.** Deve ser amarelo-segurança para os gases medicinais, identificando que o fluido está na forma gasosa ou cinza-claro para o vácuo.

Fonte: NBR 12188, 2001*.

Tabela 4.5 - Espaçamento entre tubos paralelos

Diâmetro (polegadas)	1	1 ½	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24
24	550	570	570	600	620	650	670	700	720	750	770	800	820	850
20	500	520	520	520	550	570	600	620	650	670	700	720	750	
18	470	470	470	500	520	550	570	600	620	620	650	670		
16	450	450	450	470	470	500	520	570	600	600	620			
14	400	420	420	450	450	470	500	520	550	570				
12	370	400	400	400	420	450	470	500	520					
10	350	350	350	370	370	400	420	470						
8	320	320	320	350	350	370	400							
6	270	270	270	300	300	320								
4	250	250	250	270	270									
3	220	220	220	250										
2	170	200	200											
1 ½	170	170												
1	150													

As distâncias estão indicadas em milímetros.

Fonte: TELLES; 1997.

4.3.2 VÁLVULAS DE SEÇÃO

As válvulas de seção são dispositivos que permitem abrir ou fechar o fluxo de gás ou vácuo para uma determinada área do hospital, não afetando o fornecimento das demais áreas e permitindo a realização de manutenções.

Quando for necessário o fechamento de qualquer válvula de seção do hospital, os setores afetados deverão ser comunicados de maneira a serem utilizados suprimentos de emergência através de cilindros.

Na maioria dos hospitais visitados, quando existem válvulas de seção, estas são instaladas em locais de difícil acesso, escondidas e não identificadas, o

que descaracteriza um dos objetivos para as quais são instaladas, de serem operadas em casos de emergência.

A NBR 12188 (2201)* recomenda que sejam instaladas em locais acessíveis, protegidas por caixas de seção, as quais se caracterizam por possuírem uma tampa de vidro que permite a sua abertura e a visualização da válvula. Necessitam ser identificadas com uma legenda que alerte o risco do seu fechamento, bem como o setor que atendem e o tipo de suprimento.

As válvulas devem ser localizadas de maneira a possibilitar o isolamento da central de suprimento e também de cada ramal da rede de distribuição. Quando o hospital tem a disposição vertical, a válvula deve ser instalada no mesmo andar que a atende. Em caso de setores que possuem equipamentos de suporte à vida, as válvulas de seção devem ser localizadas a montante do painel de alarme de emergência.

4.3.3 SISTEMAS DE ALARME

Os sistemas de alarme têm a função de indicar, por meio de sinais sonoros e visuais, alguma anormalidade no sistema centralizado e estão divididos em *operacionais*, que são utilizados para indicar que o suprimento secundário ou reserva das centrais de suprimento com tanque criogênico e cilindros, respectivamente, estão atuando, e de *emergência*, que deverão estar localizados nas unidades de terapia intensiva e centro cirúrgico e irão atuar quando a pressão de distribuição atingir um valor mínimo de $3,1 \text{ kgf/cm}^2$, ou a queda do sistema de vácuo for abaixo de 200mmHg da pressão atmosférica (NBR 12188, 2001*). Assim, deverão ser instalados em locais onde seja possível a sua observação constante e conectados ao sistema elétrico de emergência ou possuir baterias.

Os alarmes devem ser identificados e a pessoa que está no local de observação deve ser instruída a procurar imediatamente a manutenção do hospital, racionalizar o uso do gás que está sinalizado, providenciar o envio imediato de cilindros avulsos para os locais críticos do hospital. Além disso, no caso dos alarmes operacionais, deve verificar se houve falta do produto ou problemas técnicos com o fornecimento do suprimento primário.

4.4 POSTOS DE UTILIZAÇÃO

Os postos de utilização servem para identificar os gases provenientes da rede de distribuição, contendo o nome, símbolo e cor característicos do gás e destinados a possibilitar a conexão dos equipamentos para gasoterapia e de suporte ventilatório.

A NBR 12188 (2001)* recomenda a utilização de válvulas autovedantes, entretanto são muito comuns as válvulas comercialmente conhecidas como do tipo BI. As primeiras apresentam vantagens por possuírem um dispositivo de molas que bloqueia a passagem do gás quando não houver pressão e permite sofrer manutenção, diferentemente do outro modelo, que necessita ser fechada manualmente, apresentando desgaste com a utilização e não podendo ser reparada.

Como medida de segurança, as conexões das válvulas são padronizadas para cada tipo específico de gás, evitando que ocorra a troca acidental durante a sua utilização (ROBINSON, 1983).

5 EQUIPAMENTOS MÉDICO-ASSISTENCIAIS QUE UTILIZAM GASES E VÁCUO MEDICINAIS FORNECIDOS POR SISTEMAS CENTRALIZADOS

5.1 INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério da Saúde (1994), equipamento médico-assistencial é definido como aqueles “equipamentos que são utilizados nas ações de diagnose e terapia em ações de promoção da saúde dos pacientes”.

Assim, abordam-se neste capítulo os equipamentos médico-assistenciais que utilizam gases e vácuo medicinais provenientes de sistemas centralizados.

5.2 EQUIPAMENTOS PARA GASOTERAPIA

Os equipamentos para gasoterapia são utilizados em oxigenoterapia, aspiração, ventilação pulmonar ou anestesia e acoplados aos postos de utilização. Dentre estes cita-se: tomada dupla ou tripla, fluxômetro, umidificador, válvula reguladora e aspiradores de secreção.

5.2.1 TOMADA DUPLA OU TRIPLA

Este tipo de equipamento possui válvulas de retenção independentes, que permitem a utilização simultânea de dois ou mais terminais de saída. Normalmente, um dos seus terminais é utilizado para oxigenação, ao passo que o outro é utilizado para aspiração utilizando oxigênio ou ar medicinais.

Os problemas mais comuns neste tipo de equipamento são vazamentos e entupimentos, que ocorrem por causa de sua utilização, os quais são:

- desgaste da válvula de retenção, ocasionando vazamentos quando são conectados equipamentos para oxigenação e aspiração;
- desgaste da sua rosca de conexão no posto de utilização;
- desgaste do anel de borracha de vedação (*O-ring*).

5.2.2 FLUXÔMETRO

O fluxômetro é o equipamento destinado a medir e controlar o fluxo de gases durante a utilização terapêutica. A leitura da vazão é tipicamente feita por meio de uma esfera que sofre a ação da pressão e desloca-se através de uma

escala graduada, que, em geral, varia de 0 a 15 l/min para oxigênio e ar comprimido e, de 0 a 13 l/min, para óxido nitroso. Torna-se importante ressaltar que existem diversos tipos de fluxômetros, mas o objeto de estudo deste item é aquele destinado à administração de gases através da rede de distribuição, conectados no posto de utilização.

Possuem roscas e cores padrões específicas para cada tipo de gás, não sendo utilizados na entrada de equipamentos de ventilação pulmonar ou aparelhos de anestesia, pelo fato de necessitarem de vazões de gás acima das fornecidas pelos fluxômetros. Tais equipamentos possuem medição de fluxo interna.

Em virtude do desgaste ao longo da sua utilização e de um inadequado controle de qualidade por parte de algumas fabricantes, os problemas mais comuns encontrados nestes equipamentos são:

- rosca de conexão fora do padrão;
- perda de rosca da válvula de controle da vazão;
- desgaste do anel de borracha de vedação;
- sujeira no tubo da escala de graduação, dificultando o deslocamento da esfera;
- a esfera indica um fluxo que não existe, não partindo do zero.

5.2.3 UMIDIFICADOR

O ar medicinal, o oxigênio e o óxido nitroso devem ser conduzidos da central de suprimento pela rede de distribuição secos, de maneira a evitar a corrosão da tubulação, a contaminação e o congelamento das válvulas. Se administrado dessa forma, pode causar ao paciente o ressecamento e inflamação das vias aéreas, formação de crostas e secreções (COLLINS, 1985). Por isso, com o objetivo de umidificar o gás, utiliza-se o umidificador.

Entretanto, alguns cuidados devem ser tomados durante a umidificação, pois seus riscos incluem a infecção e intoxicação pela água (MOYLE, 2000). Assim, a Comissão de Controle de Infecção Hospitalar (CCIH) recomenda a troca total da quantidade de água armazenada no frasco no prazo máximo de 24 horas e nunca parcialmente. A desinfecção do umidificador é realizada com hipoclorito

de sódio, ou em caso de utilização em pacientes com doenças infecto-contagiosas, com glutaraldeído.

5.2.4 ASPIRADORES DE SECREÇÃO

Os aspiradores de secreção que utilizam o oxigênio e o ar medicinal para gerar vácuo através do princípio de Venturi utilizam a descoberta de Bernoulli, o qual demonstrou que, em tubos de diâmetro não uniforme, a pressão lateral de um fluido em escoamento é menor onde a velocidade é maior. Quando se aumenta a velocidade do fluxo, a pressão em um tubo lateral pode ser reduzida à pressão atmosférica ou menos, ocorrendo uma queda de pressão por causa da conversão da energia da pressão em energia cinética (COLLINS, 1985).

Outro tipo de aspirador é conhecido na rotina do hospital como “vacuômetro”, mas deve ficar claro que este termo se refere apenas ao manômetro, responsável pela medição da pressão do vácuo. Para o procedimento de aspiração, utiliza-se o manômetro em conjunto com o frasco de secreção, medindo-se e controlando-se o vácuo através de uma válvula.

Alguns cuidados devem ser considerados de maneira a evitar que as secreções penetrem na rede de distribuição e causem a sua obstrução, entre os quais:

- presença de frasco coletor com sistema de bóia de emergência junto ao posto de utilização;
- dimensões suficientes dos frascos coletores auxiliares;
- presença de sistema de bóia de emergência.

5.2.5 VÁLVULA REGULADORA DE PRESSÃO

Estas válvulas são utilizadas quando há necessidade de maior precisão na pressão de saída dos postos de utilização, quando são utilizados ventiladores pulmonares e aparelhos de anestesia.

Ressalta-se que estas válvulas estabilizam as pressões dos gases provenientes da central de suprimento e regulam a pressão para um valor

determinado, entretanto são válvulas redutoras que não possuem a capacidade de aumentar a pressão que recebem (AULER JÚNIOR, 1995); poderão ser ajustadas para uma pressão que varia de 0 a 7 kgf/cm².

5.3 VENTILADOR PULMONAR

Segundo AULER JÚNIOR (1995), ventilador pulmonar é um equipamento destinado a conduzir um determinado volume de gás até os pulmões do paciente, através da aplicação de uma pressão positiva nas suas vias aéreas ou produção de uma pressão negativa na região torácica.

Alguns modelos utilizam a energia elétrica para produzir o trabalho de ventilação pulmonar e outros, o ar comprimido. Em caso de falha de quaisquer desses suprimentos, eventualmente poderão possuir um compressor interno, que será acionado (ESPERANÇA, 1996).

O ar comprimido utilizado para funcionamento do equipamento geralmente é gerado em centrais de suprimento formadas por cilindros, misturadores ou compressores de ar e conduzido através da rede de distribuição até os postos de utilização, onde os equipamentos são conectados. Em casos emergenciais, poderão ser utilizados cilindros, entretanto em virtude da quantidade de ar necessária para o equipamento funcionar e da limitação da capacidade de armazenamento do gás, esta forma de suprimento deve ser eventual.

Em alguns casos, o problema relacionado com a presença de água no ar fornecido por centrais de suprimento com compressores é contornado com a utilização de filtros separadores de condensado junto aos postos de utilização, ou, no caso de partículas, os ventiladores pulmonares trazem, internamente, filtros, os quais devem ser trocados periodicamente.

Ressalta-se que os gases provenientes de centrais ou cilindros têm sua pressão reduzida e estabilizada por meio de válvulas reguladoras de pressão, as quais poderão ser internas ao equipamento ou acopladas aos postos de utilização, sendo a mistura de oxigênio e ar medicinal ministradas ao paciente.

Como medida de segurança, os ventiladores pulmonares são dotados de alarmes de pressão que indicam qualquer alteração sofrida pela rede de distribuição e conexões com roscas padronizadas para cada tipo de gás.

5.4 APARELHO DE ANESTESIA

O aparelho de anestesia possui como função proporcionar a administração de gases anestésicos, vapores e oxigênio para o paciente de forma controlada, além de possibilitar a sua monitoração e ventilação (DUKE, 1997).

Segundo COLLINS (1985), todos os aparelhos de anestesia são caracterizados por possuírem suprimento de gases medicinais, um meio de eliminação do dióxido de carbono do circuito, sistema inalatório, vaporizadores para anestésicos voláteis, sistemas de medição e controle de pressão e fluxo.

Como no caso de ventiladores pulmonares, a utilização de cilindros de gases medicinais deverá ser feita em situações de emergência. Desse modo, é fundamental a estocagem de alguns cilindros em um local adequado dentro dos setores que utilizam aparelhos de anestesia e ventiladores pulmonares, devendo o seu conteúdo ser inspecionado diariamente e haver o conhecimento da sua operação pela equipe clínica.

Aparelhos de anestesia possuem dispositivos de segurança, como alarmes de pressão e válvula de segurança, que impedem o fluxo de óxido nítrico caso ocorra falta de oxigênio e conexões padronizadas para cada tipo de gás. Entretanto, acidentes poderão ocorrer caso não sejam observados alguns cuidados durante a execução de uma rede de distribuição, como ligações cruzadas da tubulação dos gases medicinais, ou até mesmo internamente ao equipamento (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1995). Outros cuidados a serem observados estão relacionados a vazamentos nas conexões internas e externas do equipamento ou em fluxômetros e também a imprecisão na leitura do fluxo ocasionada pela sujeira.

6 GERENCIAMENTO DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES E VÁCUO MEDICINAIS

6.1 INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério da Saúde (1994), os sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais são classificados como equipamentos de infra-estrutura, os quais são “sistemas destinados a dar suporte ao funcionamento adequado às unidades assistenciais e aos setores de apoio”. Embora sejam estes classificados como equipamentos de infra-estrutura, os insumos deles provenientes têm aplicação direta no paciente; logo, a sua qualidade pode comprometer, além da condição física do paciente, a confiabilidade de alguns EMH. Com isso, torna-se fundamental o gerenciamento ou a assessoria aos profissionais responsáveis pelo gerenciamento dos sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais pela EC.

Dessa maneira, neste capítulo, abordam-se alguns aspectos a serem observados durante o projeto, execução e manutenção dos sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais, visando à sua funcionalidade, segurança e efetividade.

6.2 PROJETO

O projeto dos sistemas centralizados de gases medicinais e vácuo é parte inicial e fundamental no planejamento e documentação da obra. Geralmente, faz parte de um projeto integrado de uma instalação nova, sendo pouco freqüente em casos de reforma ou ampliação, dificultando, assim, o gerenciamento desses sistemas.

Torna-se importante considerar que o projetista deve ter definido que o objetivo principal de um projeto seja garantir que a construção, montagem e manutenção possam ser realizadas com segurança, confiabilidade e qualidade, considerando-se o melhor custo-benefício.

Entretanto, a elaboração do projeto não possui a rigidez dos padrões apresentados em um projeto elétrico, por exemplo, sendo que os documentos que o compõem variam conforme os padrões da empresa. Deve ser assinado por um engenheiro, que se responsabilizará junto ao Conselho Regional de Engenharia e

Arquitetura (Crea) através de uma Anotação de Responsabilidade Técnica (ART). Pode ser dividido em duas etapas: uma em que são realizados os cálculos e dimensionamento, e a outra, na qual são definidos o traçado, detalhamento e desenho.

6.2.1 CÁLCULOS E DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento do diâmetro das tubulações da rede de distribuição deveria levar em consideração a vazão do fluido, diferenças de cota existentes, pressões disponíveis, velocidades e perdas de carga admissíveis, natureza do fluido, material e tipo da tubulação (TELLES, 1994). Considerando-se que, no escoamento de um fluido, tem-se a perda de energia (perda de carga), que é dissipada com o atrito do gás contra as paredes da tubulação e viscosidade, como resultado tem-se a perda de pressão.

Entretanto, as empresas fornecedoras de gases, as quais na maioria das vezes, são as responsáveis pelos projetos, possuem uma equipe técnica que projeta as tubulações com base em tabelas ou curvas já calculadas, que relacionam o diâmetro da tubulação com a pressão ou vazão desejada, como o exemplo mostrado na Tabela 6.1.

Tabela 6.1- Quantidade de postos de utilização de oxigênio, ar medicinal e óxido nítrico em função da pressão e do diâmetro da tubulação, considerando-se uma demanda de 10 litros/min/ponto

Diâmetro da rede (mm)	Número de pontos	
	3,5 kgf/cm ²	7 kgf/cm ²
9,5	12	22
15	35	65
22	80	155
28	130	260
35	210	420
42	300	610
54	515	1040

Os hospitais possuem como característica a tendência ao crescimento, a qual deve ser considerada durante o dimensionamento da tubulação, sendo

desprezadas as variáveis definidas por TELLES (1994) e citadas anteriormente. O que ocorre em muitos casos é o superdimensionamento da tubulação, considerando-se a previsão de expansão do EAS.

Com relação ao dimensionamento das centrais de suprimento, deve-se considerar dois casos: o primeiro será o cálculo da central de um hospital que já existe, sendo realizado com base na média aritmética do consumo dos últimos doze meses, denominado pela NBR 12188 (2001)* como “consumo efetivo médio”; no outro caso, serão considerados os EAS que ainda estão em fase de planejamento e não existem fisicamente. Dessa maneira, o cálculo deverá ser feito através do consumo máximo provável, tendo-se como referência tabelas de demanda em litros/minuto por posto de utilização e fatores de simultaneidade, nas quais os valores variam conforme a especificidade do setor. Essas tabelas são apresentadas em MINISTÉRIO DA SAÚDE (1997), todavia são questionáveis por causa dos valores resultantes.

O cálculo do consumo máximo provável para cada setor é feito multiplicando-se os valores fornecidos pelas tabelas de demanda pelo número de pontos do setor e considerando-se o fator de simultaneidade.

Uma metodologia adotada na indústria de gases medicinais utiliza uma média ponderada entre o consumo efetivo médio e o consumo máximo provável, na qual os valores do primeiro e do segundo são multiplicados por 0,9 e 0,1, respectivamente, sendo somados. Os consumos são obtidos de tabelas e gráficos.

Conforme a NBR 12188 (2001)*, para o cálculo da central de suprimento com cilindros deve ser levado em consideração, além do consumo efetivo médio ou consumo máximo provável, o tempo necessário para a empresa realizar o fornecimento do gás. Caso haja dificuldade no abastecimento da central, esta deverá ser projetada para garantir por dois dias o consumo do hospital.

Para o dimensionamento do suprimento reserva de cilindros, fica considerado o que foi discutido no parágrafo anterior, não havendo recomendações quanto ao período de abastecimento, mas que seja composta por um mínimo de dois cilindros.

* Ver item 3.3 do Capítulo 3.

No caso de centrais de suprimento com concentradores, a NBR 13587 (1996) estabelece que o dimensionamento do suprimento secundário deverá ser capaz de suprir os picos de consumo por, no mínimo, 72 horas e o suprimento de emergência por, no mínimo, 36 horas. Assim, a previsão de abastecimento do suprimento secundário deverá ser feita com tanque criogênico, pois, em casos de hospitais com um grande consumo, a quantidade de cilindros necessária para atender a este período inviabilizaria a sua utilização, por causa da área necessária para abrigá-los e do investimento a ser feito neles. Essa complementação é extremamente importante porque suprirá o consumo nos momentos de pico, uma vez que seria inviável dimensionar a capacidade da central pelo pico do consumo.

O dimensionamento do reservatório, conforme MACINTYRE (1996), pode ser feito por meio das seguintes equações:

- Para os reservatórios projetados para estabilizar o ar fornecido pelo compressor, o volume deve ser calculado pela equação 6.1:

$$V = \sqrt{5 \times Q}, \text{ onde } Q = \text{m}^3/\text{min de ar livre aspirado} \quad (6.1)$$

- Pode-se, ainda, utilizar a equação 6.2:

$$V = \sqrt[3]{Q}, \text{ onde } Q = \text{m}^3/\text{hora de ar livre aspirado} \quad (6.2)$$

- Ou em caso de compressores rotativos, o reservatório deve ser dimensionado através da equação 6.3:

$$V = 0,5\sqrt{5 \times Q}, \text{ onde } Q = \text{m}^3/\text{min de ar livre aspirado} \quad (6.3)$$

A verificação do correto dimensionamento pode ser observada através do controle do número de partidas e paradas do compressor, o qual deve ser de, no máximo, 10 a cada hora (MACINTYRE 1996).

6.2.2 TRAÇADO, DETALHAMENTO E DESENHO

O projeto da tubulação será realizado tendo-se como base o projeto estrutural, feito por um profissional da engenharia civil. A partir deste, deve-se

marcar em planta todos os pontos onde será utilizado o gás ou vácuo medicinal, prevendo-se futuras ampliações.

Em seguida, define-se a localização da central de suprimento, que idealmente seria no centro geométrico dos consumos, de maneira a reduzir os custos com tubulações (MACINTYRE, 1996). Entretanto, devem-se considerar os níveis de ruído gerados pelos compressores ou bombas, locais acessíveis para o abastecimento de tanques criogênicos e cilindros, alimentação de energia elétrica e ventilação. Ainda, ao se projetar centrais de suprimento com compressores, o ar deve chegar ao compressor com a temperatura mais baixa possível, sendo a localização do ponto de captação do ar um fator considerável. Assim, a portaria 1884 (1994) do Ministério da Saúde e a NBR 12188 (2001)* estabelecem que deverá situar-se a, no mínimo, 16 metros da descarga da bomba de vácuo, caso não possua sistema de desinfecção do ar, e três metros de sistemas de exaustão e lixo.

A etapa seguinte envolve o traçado da tubulação, adotando-se legendas convencionadas arbitrariamente e específicas para cada diâmetro de tubulação, partindo do local da central de suprimento e derivando-se ramais e sub-ramais para os pontos definidos e assinalados no projeto. Devem-se observar os detalhes que foram discutidos no item 4.3.1 do Capítulo 4.

As válvulas de seção também deverão ser assinaladas na planta, lembrando-se que elas possibilitam o bloqueio da passagem de gás ou vácuo para determinados setores do hospital quando da realização de manutenção ou em casos de emergência. A NBR 12188 (2001)* recomenda que sejam instaladas válvulas de seção em cada ramal da rede de distribuição localizada no mesmo andar que a atende e também logo após a central de suprimento. Nos setores em que utilizam equipamentos de suporte a vida, como Unidade de Terapia Intensiva e Centro Cirúrgico, as válvulas de seção devem ser instaladas a montante do painel de alarme de emergência. De maneira a facilitar a manipulação pela manutenção e evitar o manuseio por pessoas estranhas, devem ser instaladas em locais acessíveis e protegidas por caixas com janelas removíveis e transparentes que possibilitem o manuseio da válvula, denominadas de “caixas de seção”. Como medida de segurança e praticidade, as caixas de seção deverão conter a

identificação do gás ou vácuo, o local a que se destina o suprimento e uma advertência.

A representação da rede de distribuição será feita através de desenhos isométricos, nos quais os trechos verticais são representados por linhas verticais e os trechos horizontais, por traços com uma inclinação de 30° sobre a horizontal, para a direita ou esquerda. Os trechos da tubulação fora de qualquer uma das três direções ortogonais são representadas por traços inclinados com ângulos diferentes de 30°, cujo valor é indicado no desenho, tendo-se como referência uma das três direções ortogonais (TELLES, 1997). Devem ser indicados no desenho, além das válvulas de seção, os painéis de alarme de emergência, o diâmetro da tubulação e as distâncias, os postos de utilização e as válvulas de redução, conforme mostrado no projeto do Anexo 5.

6.3 EXECUÇÃO

Anteriormente ao início das obras de execução do projeto, alguns cuidados referentes à limpeza da tubulação e ferramentas devem ser observados, lembrando-se que o oxigênio e o óxido nitroso são gases oxidantes e reagem com substâncias oleosas e combustíveis. Após a limpeza, faz-se necessário armazenar o material em um local adequado, tendo-se o cuidado de tampar os tubos para evitar a contaminação interna. Assim, também, durante a execução da obra, deve-se mantê-los lacrados evitando que insetos, animais ou resíduos adentrem na tubulação, provocando o seu entupimento.

Após o término da execução da tubulação, devem-se realizar os ensaios de resistência e pressão, observando a existência de vazamentos. Segundo a NB 254 (1977) e DIAMOND (1984), os testes deveriam ser feitos aplicando nitrogênio na tubulação, entretanto além do custo isso ocasionava um risco em razão da possibilidade de esquecimento da purga do gás e intoxicação dos primeiros pacientes. Hoje, a NBR 12188 (2001)* recomenda que os testes sejam realizados aplicando-se ar medicinal a cada ramal da rede de distribuição, a um valor de pressão igual a uma vez e meia a maior pressão de uso e, no mínimo, de 10 kgf/cm². Os vazamentos devem ser detectados com a aplicação de espuma de

* Ver item 3.3 do Capítulo.

água e sabão em todas as juntas, conexões, postos de utilização e válvulas e, caso sejam detectados, devem ser reparados e os ensaios repetidos.

Após a verificação e correção de vazamentos, deve-se aplicar novamente ar medicinal no valor de pressão citado anteriormente, instalando-se um manômetro em um posto de utilização e fechando-se a entrada de ar medicinal, mantendo-se esta pressão por um período de 24 horas.

Finalizados os ensaios, todos os postos de utilização devem ser abertos e a rede de distribuição, purgada com o gás para o qual foi projetada, eliminando-se o ar medicinal utilizado para o teste.

Os ensaios devem ser realizados também em caso de ampliação.

6.4 MANUTENÇÃO

A etapa da manutenção é fundamental para garantir a funcionalidade dos sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais. Haverá retorno dos investimentos com o gerenciamento pelo aumento da vida útil dos equipamentos das centrais de suprimento e dos equipamentos que as utilizam, pelo controle das perdas por vazamentos e melhor atendimento ao paciente.

6.4.1 CENTRAIS DE SUPRIMENTO

Analisando-se as centrais de suprimento conforme o tipo de suprimento primário, têm-se:

a) Centrais de suprimento com tanque criogênico - A manutenção das centrais de suprimento com tanque criogênico geralmente é de responsabilidade das empresas fornecedoras de gases. O período em que é realizada manutenção nesses sistemas varia conforme a empresa, sendo geralmente, a inspeção mensal; uma rotina mais completa é realizada trimestralmente. Cabe ressaltar que as centrais de suprimento com tanque criogênico resumem-se ao tanque, suprimento reserva com cilindros, válvulas e manômetros. Assim, pouco trabalho mecânico é realizado e os itens mais propensos à ocorrência de defeitos são as válvulas, que devem ser inspecionadas para verificação de vazamentos.

Atenção especial deverá ser dada ao controle do nível de abastecimento do tanque, pois a falta do produto representa um risco à vida dos pacientes. A

medição do nível do oxigênio é dada através de um manômetro diferencial, que mede a pressão do oxigênio gasoso na parte superior do tanque e a pressão do oxigênio líquido na parte inferior. As conversões de pressão para volume de oxigênio são realizadas através de tabelas que levam em consideração o tamanho e o formato do tanque. Este método dificulta o controle da quantidade de gás que é consumido pelo hospital, pois não leva em consideração as perdas do tanque criogênico, sendo o controle realizado através da nota fiscal emitida pela empresa ou da leitura do abastecimento.

Existem outras formas de medição, como a instalação de um indicador de nível dentro do tanque, o qual por meio de um sinal de fax emite os dados para um computador, que pode monitorá-lo à distância através de um *software* específico; outro método de monitoração seria pela pesagem do tanque. Entretanto, assim como no controle pelo manômetro, não se obteriam os dados reais do consumo do hospital, pois os dados obtidos seriam relativos ao abastecimento do tanque.

Uma alternativa seria a instalação de um medidor de fluxo na entrada da rede de distribuição do hospital, que possa monitorar e armazenar os dados de fluxo para a análise em quaisquer períodos necessários.

Outros cuidados mais simples, mas não menos importantes, dizem respeito à observação da limpeza do local e do tanque criogênico, assim como à pintura e à conservação.

Quanto ao suprimento reserva, deve-se procurar manter os cilindros protegidos da ação do tempo e devidamente pintados, de maneira a minimizar a oxidação. A NBR 12188 (2001)* recomenda que inspeções trimestrais sejam realizadas nos cilindros de maneira a verificar suas válvulas, cargas, condições de operação e conservação.

Quanto aos alarmes operacionais, diz-se que estão sujeitos a falha oculta, pois, caso não sejam verificados periodicamente e a falha ocorra, apenas será observada no momento de emergência. Portanto, devem ser testados para a verificação do seu correto acionamento.

b) Centrais de suprimento com cilindros - Assim como na central de suprimento com tanque criogênico, a manutenção é de responsabilidade das empresas fornecedoras de gás e segue um cronograma específico.

A central de suprimento com cilindros é composta de duas baterias de cilindros, válvulas e manômetros. Inspeções devem ser realizadas nas conexões, para verificar a existência de vazamentos, nos manômetros indicadores da pressão da bateria de cilindros, nos manômetros indicadores da pressão da rede de distribuição e nas válvulas, além de serem verificadas as condições de conservação dos cilindros. A limpeza do recinto da central deve ser observada, assim como o acionamento automático das baterias de cilindros e do alarme operacional.

c) Centrais de suprimento com compressores de ar e concentradores - Neste item, abordar-se-ão estes dois tipos de centrais pela semelhança de seus componentes, tais como compressores, secadores, filtros e reservatórios. No caso de centrais com concentradores, tem-se apenas este componente acrescentado. As manutenções destas centrais de suprimento são realizadas pela equipe de manutenção do hospital ou por empresas terceirizadas.

Nas centrais de suprimento com compressores de ar e concentradores, atenção especial deve ser dada à manutenção do compressor, pelo fato de estar mais sujeito a problemas mecânicos. No caso de compressores lubrificados a óleo, as manutenções são realizadas em períodos menores do que os isentos de óleo, sendo controlados por meio de um horímetro que indicará o tempo de funcionamento do compressor. Os itens trocados e inspecionados em cada compressor dependerão do seu tipo. Como exemplo, na Tabela 6.2 são mostradas as verificações realizadas em um compressor do tipo parafuso lubrificado a óleo.

Nos compressores isentos de óleo, a troca dos itens é realizada em períodos maiores, que podem ser de 8000 horas para compressores com anéis de Politetrafluoretileno (PTFE), e estes possuem um custo maior quando comparados aos itens de compressores com lubrificação a óleo.

Nos compressores do tipo anel líquido, a água utilizada para o funcionamento do compressor poderá ser recirculada em uma caixa d'água

visando à redução do consumo, embora este não seja o procedimento mais adequado, pois partículas e microorganismos ficarão retidos na água. Caso a água não seja recirculada, o compressor deverá possuir um sensor de fluxo que indique quando há interrupção do fornecimento de água, pois isso pode ocasionar a sua danificação.

Tabela 6.2 – Itens verificados em um compressor parafuso lubrificado a óleo

Descrição	Período (horas)
Verificação da tensão das correias	150
Troca das correias	1000
Verificação do nível do óleo	150
Verificação do filtro de ar	150
Troca do filtro de ar	2000
Drenagem do condensado	150
Verificação da temperatura de trabalho	150
Troca de óleo	1000
Troca do filtro de óleo	1000
Limpeza do radiador	1000
Troca do rolamento	20000
Verificação da solenóide de alívio	3000
Verificação do pressostato	2000
Verificação do transdutor de pressão	2000
Verificação painel elétrico	2000

O compressor que forma o suprimento secundário poderá funcionar em conjunto com o suprimento primário, sendo o seu acionamento realizado por meio de um pressostato que monitora a pressão do reservatório e coloca o compressor em funcionamento automaticamente quando há queda de pressão. Outra forma de controle da alternância do funcionamento dos compressores poderá ser feita através do tempo de horas trabalhadas, feito por um horímetro. Segundo, BRITO (1998), recomenda-se que, em caso de acionamento manual, haja uma alternância do funcionamento dos compressores no máximo após 200 horas ou 30 dias. Entretanto, KARMAN (1994) e HOWELL (1980) recomendam que esta

alternância seja semanal. Este tipo de cuidado é justificado pelo mesmo motivo de o equipamento estar sujeito ao tipo de falha oculta, conforme descrito para os alarmes operacionais.

A manutenção dos filtros das centrais é um dos fatores que influenciarão diretamente na qualidade do ar medicinal. Em alguns hospitais, a troca dos filtros é realizada tendo-se como base seus períodos de utilização em horas. Entretanto, a saturação do filtro dependerá do local de captação do ar e da quantidade de contaminantes sólidos aos quais este estará exposto, visto que estas partículas restringem a passagem do fluxo de ar aumentando a queda de pressão. Dessa maneira, é também adequada a utilização de manômetros diferenciais para monitoração da pressão do filtro, indicando o período de troca.

A queda de pressão no filtro é a variável que indica o final da sua vida útil em virtude da adesão de partículas a sua superfície, promovendo o seu entupimento. Sua capacidade de retenção de partículas é constante até aproximadamente 75% da sua vida útil, a partir do que a queda de pressão atinge valores acima de 550 mbar e sua troca deverá ser realizada. Assim, impedir-se-ão a redução da qualidade do ar e o aumento de custos de energia gerados pela obstrução à passagem do ar.

Em relação aos secadores, a manutenção também dependerá do tipo utilizado, sendo o mais comumente encontrado nos hospitais estudados, o secador por refrigeração, por apresentar um custo de aquisição e manutenção menor. Entretanto, para obtenção do ponto de orvalho recomendado pela NBR 12188 (2001)* para o ar medicinal, seria necessária a utilização de secador do tipo adsorção.

No secador por refrigeração deve ser observada a existência de vazamentos do gás refrigerante, a temperatura indicada de ponto de orvalho, as temperaturas de entrada e saída da água para refrigeração e as temperaturas do ar na entrada e saída do secador.

No secador tipo adsorção, o elemento adsorvente deve ser trocado em períodos que variam conforme a umidade do ambiente onde está o secador e as condições dos filtros que o antecedem. A recomendação de alguns fabricantes é de que a troca seja anual.

Todos os secadores, filtros e reservatórios devem possuir sistemas de eliminação da água através de purgadores, que, preferencialmente, deverão ser automáticos ou eletrônicos, caso contrário, um técnico deverá abrir as válvulas diariamente. Pode ocorrer que haja a impregnação de sujeira e trancamento da válvula, sendo indicado, neste caso, a limpeza com água ou ar comprimido.

Deve-se ter o cuidado de que a água eliminada pelos purgadores seja direcionada para fora do recinto da central, pois, do contrário, o ambiente será extremamente úmido. O controle da umidade do ar deve ser realizado, o que pode ser feito através da instalação de um higrômetro no reservatório de ar tratado.

Quanto à central de suprimento com concentrador, todos os itens discutidos anteriormente devem ser considerados e serão determinantes no tempo de vida útil do elemento adsorvente do concentrador, que será danificado caso ocorra sua contaminação com óleo ou umidade. Outro componente importante do concentrador é a célula analisadora da concentração de oxigênio, cuja troca é recomendada após 1800 horas de uso, em razão do seu desgaste, e deverá ser calibrada semanalmente em temperatura ambiente e no local da instalação (SBA, 2001; NBR13587, 1996).

Para a realização de manutenções ou troca de alguns componentes da central de suprimento, deve-se prever que sejam realizadas sem que ocorra interrupção do fornecimento do ar medicinal ou oxigênio, através de válvulas instaladas isolando os seus componentes. A interrupção do fornecimento do suprimento pode ser fatal e deve ser evitada. Por isso, os compressores deverão estar ligados ao suprimento elétrico de emergência ou o hospital deverá possuir um suprimento reserva de cilindros, no caso de fornecimento de ar medicinal.

No caso do fornecimento de oxigênio através de centrais com concentradores, devem ser observados os suprimentos auxiliar e de emergência, ficando sob responsabilidade do hospital verificar e registrar diariamente o seu conteúdo. A utilização do suprimento auxiliar evita a adequação do sistema gerador de energia elétrica para atender à demanda da usina em caso de falha do abastecimento de energia. Por outro lado, estaria constantemente lançando na rede de distribuição oxigênio a uma concentração diferenciada.

A utilização do suprimento de emergência não deve ser suprimida, pois este é uma garantia de funcionalidade de um sistema que, caso venha a falhar, coloca em risco a vida dos pacientes.

Em qualquer um dos tipos de centrais, o acionamento do suprimento reserva deve ativar um alarme operacional, preferencialmente o setor da manutenção, indicando que há algum problema.

d) Sistema de vácuo - Os sistemas de vácuo geralmente são formados por bombas de anel líquido, reservatório e filtro. A grande maioria dos hospitais estudados faz a recirculação da água para funcionamento das bombas através de uma caixa d'água; entretanto, os aerossóis provenientes do processo de aspiração podem contaminá-la, sendo discutível esse procedimento. Uma maneira de contorná-lo é com a utilização de filtros bacteriológicos instalados anteriormente ao reservatório, sendo necessário que a pessoa responsável pela sua manutenção tenha conhecimento do risco a que está exposto.

Apesar de o reservatório conter pressão negativa e de o sistema de vácuo utilizado pelo hospital ser do tipo seco, alguns aerossóis podem ficar armazenados, devendo ser prevista a utilização de purgadores. Quando é realizada a limpeza da rede de distribuição, deve-se prever a drenagem da secreção que ficará retida no reservatório.

Deve-se ter cuidado na descarga da central, a qual deve ser sinalizada por uma placa advertindo para o risco de contaminação e dirigida para o exterior do recinto e a 3 metros de qualquer entrada (NBR 12188, 2001)*.

Assim como no caso da central com compressor de ar, deve ser feita a alternância do funcionamento das bombas, realizada automaticamente através de um vacuostato que faz o acionamento quando há queda da pressão do vácuo, ou manualmente.

6.4.2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Os problemas que ocorrem na rede de distribuição de gases medicinais são vazamentos, geralmente verificados nos postos de utilização e pontos de solda. Entretanto, nestes últimos não é muito comum, se o trabalho de soldagem

é feito por profissionais qualificados e os ensaios posteriores à execução e discutidos no item 6.3 são realizados com atenção e cuidado. Segundo MACINTYRE (1996), as perdas por vazamentos em instalações antigas e descuidadas pode representar de 25 a 30% da capacidade total do compressor, representando um desperdício muito grande de energia. Ainda para este autor, em instalações industriais, valores admissíveis para essas perdas ficam em torno de 5%.

Para a verificação de vazamentos, tecnologias de ponta podem ser utilizadas, como inspeção com ultra-som ou métodos menos onerosos, entretanto há métodos mais simples, como injeção de gás na tubulação com todos os postos de utilização fechados, com o que é feita a monitoração da pressão.

No caso da tubulação de vácuo, são comuns problemas de entupimento ocasionados por motivos discutidos no item 5.2.4 do Capítulo 5. Isso deve ser evitado ao máximo, pois é uma atividade insalubre para quem realiza a manutenção.

KARMAN (1994) recomenda o desentupimento através da injeção de pressão na rede de distribuição por meio de uma mangueira com ar comprimido. Em alguns hospitais, a desobstrução da rede de distribuição é feita com um detergente enzimático utilizado na limpeza de material cirúrgico.

No Centro Local de Engenharia Clínica (Celec) do Hospital Governador Ramos, com a adaptação de um aspirador de secreção, foi desenvolvido um equipamento que injeta o detergente enzimático com pressão, tendo-se obtido bons resultados. Neste hospital, são realizadas manutenções preventivas mensais com este aparelho, evitando que haja o ressecamento da secreção.

Existem casos em que a secreção se impregna de tal forma que nenhum resultado é obtido com os procedimentos antes descritos, exigindo que seja cortada e trocada a tubulação. Entretanto, fica difícil definir o ponto exato onde ocorreu a obstrução, a qual geralmente se dá nos pontos de desvio de direção da tubulação e onde tubulações aparentes facilitam o trabalho. Entretanto, essa situação deve ser evitada através da orientação do corpo médico e de enfermagem.

6.4.3. POSTOS DE UTILIZAÇÃO

O gerenciamento dos postos de utilização pode ser menosprezado pela sua simplicidade, entretanto é uma das etapas mais significativas para a redução de custos. Segundo BENAÏM et al. (1994), a rotina de inspeção nos postos de utilização deve ser realizada semanalmente para verificação de vazamentos e para o correto funcionamento.

Grande parte dos vazamentos ocorre na utilização dos equipamentos para gasoterapia, em razão dos problemas discutidos no item 5.2 do Capítulo 5 e, também, do manuseio destes equipamentos pela equipe clínica, como conexões malfeitas. Neste caso, é fundamental a orientação *in loco* de uma equipe da engenharia clínica para verificação e esclarecimentos.

Para os postos de utilização de gases medicinais podem ser realizados ensaios para verificação de pressão estática e dinâmica. O teste para medição da pressão estática pode ser realizado adaptando-se um manômetro ao posto de utilização dos gases medicinais, e a leitura do valor de pressão deve estar no mínimo entre 3,4 e 3,8 kgf/cm². (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1995).

O ensaio para pressão dinâmica pode ser realizado associando-se um fluxômetro em série com o posto de utilização, sendo o fluxo ajustado para um valor igual a 100 litros/minuto, monitorando-se a pressão através de um manômetro. Os valores mínimos recomendados para pressão dinâmica devem estar entre 2,7 e 3,0 kgf/cm², segundo o NFPA (1999 apud MINISTÉRIO DA SAÚDE, 1995).

7 ESTUDO DE CASO – VERIFICAÇÃO DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES E VÁCUO MEDICINAIS EM HOSPITAIS DE SANTA CATARINA

7.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, realiza-se uma análise dos sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais de quatro hospitais públicos e quatro privados de Santa Catarina. Esta verificação foi realizada com base nas recomendações normativas e regulamentações nacionais abordadas no Capítulo 3 no período de setembro/2001 a fevereiro/2002. Os dados coletados foram avaliados de maneira a verificar as desconformidades mais comuns, apresentar uma metodologia de modo a quantificar o seu grau de risco e respectivas propostas de melhorias.

7.2 METODOLOGIA DE PESQUISA

Após o estudo dos diferentes tipos de sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais encontrados nos EAS, dos seus elementos constituintes e dos itens observados nas recomendações e regulamentações normativas discutidos nos capítulos anteriores, foram elaborados formulários de pesquisa, alguns dos quais podem ser vistos no Anexo 6.

Quanto à avaliação das centrais de suprimento, os formulários foram divididos conforme o tipo de suprimento primário que as compõe, ou seja, cilindros, tanque criogênico, compressor, concentrador, misturador e sistema de vácuo, além da rede de distribuição.

No caso de centrais de suprimento com cilindros, tanque criogênico, compressor, misturador e sistema de vácuo e rede distribuição, os itens avaliados estão previstos na NBR 12188 (2001), assim como na portaria 1884 (1994) do Ministério da Saúde, discutidas nos itens 3.3 e 3.7 do Capítulo 3. De outro modo, para centrais de suprimento com concentrador, foram observados os itens relacionados na NBR 13587 (1996), assim como na resolução nº 1355 (1992) do Conselho Federal de Medicina, abordadas nos itens 3.8 e 3.9 do Capítulo 3.

A avaliação considerou tecnologias de mesmo tipo, observando centrais com o mesmo suprimento primário, entretanto de marcas e realidades distintas, sendo pesquisados quatro hospitais públicos atendidos pela Secretaria de Estado

da Saúde e quatro hospitais particulares. Nesta pesquisa optou-se, por questões éticas, por não nomear os hospitais que participaram do estudo de caso.

Os hospitais públicos analisados estão todos situados na Grande Florianópolis, e cada um possui um Centro Local de Engenharia Clínica (Celec) responsável pelo gerenciamento de equipamentos médico-hospitalares. Os sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais são gerenciados pelas equipes de manutenção do hospital, por profissionais de empresas contratadas ou de empresas fornecedoras de gases. A seguir, descrevem-se algumas características mais específicas de cada instituição de maneira a situar o leitor, identificando-os, de modo fictício, por letras.

Hospital A – É um hospital geral que possui cerca de 250 leitos e é classificado, segundo o Ministério da Saúde (1977), como de grande porte; por ter sido fundado há 36 anos, alguns de seus andares foram e estão sendo reformados. Segundo dados da Secretaria de Estado da Saúde (SES), em 2001 teve um consumo efetivo médio de oxigênio de 14.000 m³.

Hospital B – O hospital B é uma maternidade e possui pouco mais de cem leitos, tendo sido fundado no ano de 1955. Neste hospital não foi possível efetuar a análise do sistema de vácuo em virtude de sua desativação há mais de três anos, por problemas relacionados ao entupimento da tubulação. Conforme dados da SES, a instituição possui um consumo efetivo médio de oxigênio de 4.500 m³.

Hospital C - É um hospital de médio porte com cerca de cem leitos e apenas uma sala cirúrgica, utilizada eventualmente (Ministério da Saúde, 1977). Apesar disso possui um consumo efetivo médio de oxigênio de 8.000 m³, pois possui como característica o atendimento a pacientes com doenças infecto-contagiosas e pulmonares. Foi fundado no ano de 1943.

Hospital D – Este hospital, na verdade, engloba dois hospitais, um com especificidade em cardiologia e outro hospital geral. Foram avaliados juntos, pois o fornecimento de gases e vácuo medicinais é feito como se fossem apenas um. Dessa maneira, possuem o maior consumo efetivo médio de oxigênio dentre os

hospitais gerenciados pela SES, cerca de 22.500 m³, com um total de dez salas cirúrgicas e aproximadamente trezentos leitos, tendo sido fundado há 15 anos.

Dentre os hospitais particulares analisados, um está situado em Florianópolis e os demais, nas cidades próximas. Em seqüência, são descritos com mais detalhes.

Hospital E – Este hospital está situado em Florianópolis, sendo classificado pelo Ministério da Saúde (1977) como de grande porte, com duzentos leitos, e de atendimento geral. Possui mais de duzentos anos e há cerca de dois anos, passou a utilizar uma central com concentrador para o abastecimento de oxigênio.

Hospital F – É um hospital de grande porte, com cerca de 360 leitos, que passa no momento (2001), por uma ampliação. Localizado em Tubarão, possui como característica o atendimento geral e há mais de cinco anos utiliza o abastecimento de oxigênio através de uma central com concentrador.

Hospital G – É um hospital geral de grande porte, com aproximadamente 160 leitos, localizado em Blumenau, tendo sido fundado há mais de oitenta anos.

Hospital H – Este hospital está situado em Joinville, sendo caracterizado como de médio porte pelo Ministério da Saúde (1977), com pouco mais de cem leitos, e de atendimento geral. Foi fundado no ano de 2001.

A visita aos hospitais foi realizada pela pesquisadora, acompanhada do responsável pela equipe de manutenção da instituição, a qual registrou os dados coletados nos respectivos formulários. Posteriormente, foram elaboradas as planilhas baseadas no FMECA para um dos hospitais do estudo de caso, que serão descritas com maiores detalhes no item 7.4 e no Anexo 7.

As etapas utilizadas na condução do estudo de caso estão ilustradas na Figura 7.1.

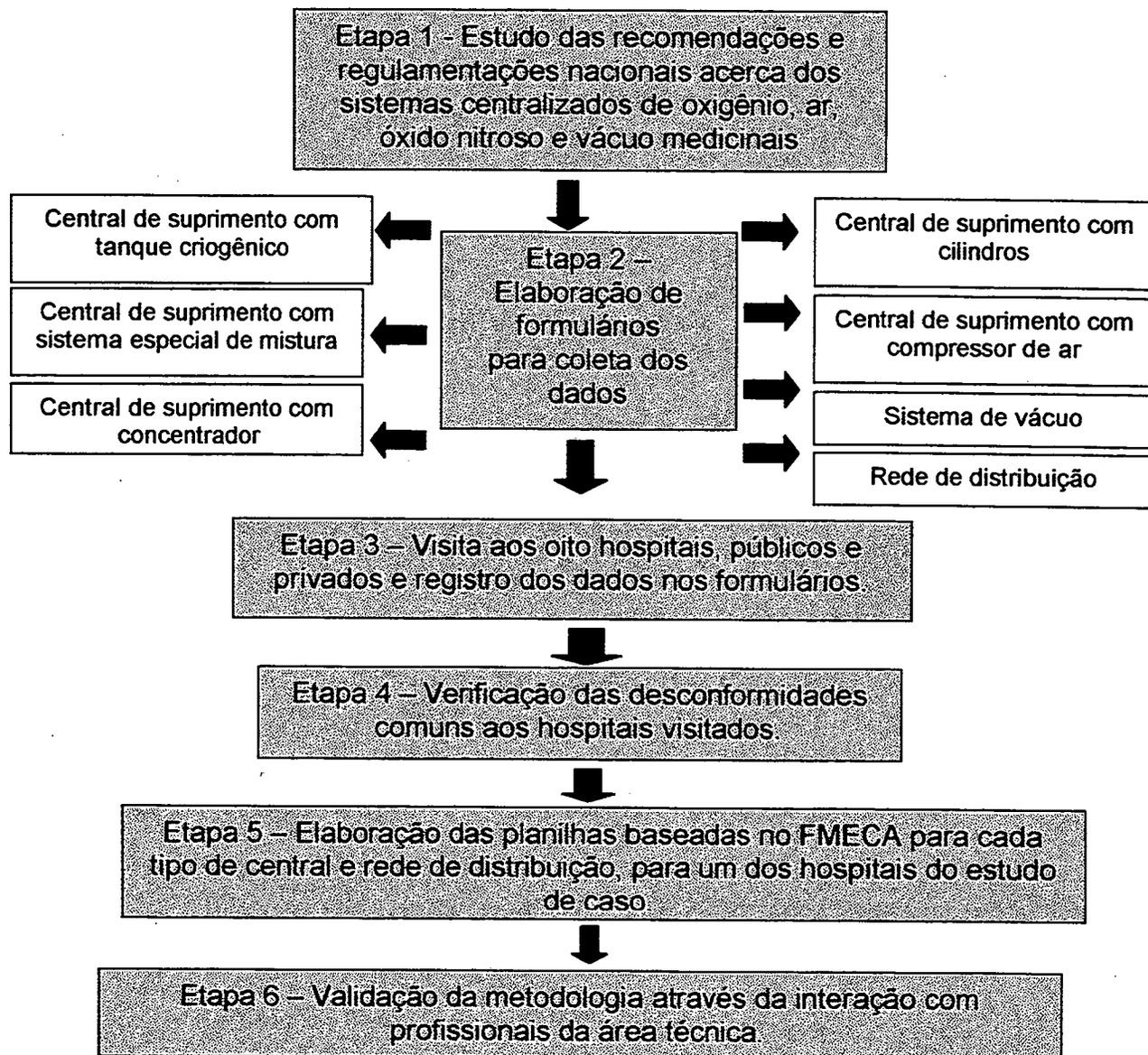


Figura 7.1 Fluxograma das etapas da metodologia adotada no estudo de caso.

7.3 RESULTADOS

Analisando os resultados conforme o tipo de suprimento primário que compõe as centrais de suprimento e também a rede de distribuição, tem-se:

a) Central de suprimento com cilindros – As centrais de suprimento com cilindros avaliadas servem para o suprimento de óxido nitroso. Nestas centrais, as manutenções são realizadas pelas equipes técnicas das empresas fornecedoras de gás.

O primeiro item avaliado diz respeito à existência de suprimento primário e secundário na central, havendo a desconformidade do Hospital "C", onde existe apenas uma sala cirúrgica que é usada eventualmente.

No item seguinte inspecionado, o acionamento do suprimento secundário, deve ser automático ao término do suprimento primário, fornecendo o gás sem interrupção para o paciente. Entretanto, houve a desconformidade em 100% dos hospitais visitados, tanto nos públicos como nos privados, visto que o suprimento secundário de cilindros é colocado em funcionamento manualmente.

Outro item em que não foi observada a conformidade de nenhum dos hospitais foi com relação à fixação dos cilindros. Apenas no Hospital "D", observou-se a existência de correntes para este fim, entretanto não estavam sendo utilizadas. Uma das empresas fornecedoras de gás apresenta um cabo de aço colocado junto ao coletor para evitar que haja o seu rompimento em caso de queda do cilindro.

A NBR 12188 (2201)* recomenda que, durante a estocagem de cilindros, estes sejam mantidos com o capacete de proteção das válvulas, para evitar o rompimento de sua válvula em caso de queda, e que sejam identificados como cheios ou vazios. Este item foi avaliado, existindo conformidade com relação ao uso do capacete em todos os hospitais visitados. Entretanto, com relação à caracterização do conteúdo do cilindro como cheio ou vazio, são utilizadas placas nos cilindros que estão em uso na central de suprimento em 50% dos hospitais públicos e em nenhum dos privados. Os cilindros que estão estocados, quando cheios, possuem um lacre da empresa produtora do gás.

Com relação à segurança, um dos itens relacionados pela NBR 12188 (2001)* aponta a proibição do ato de fumar no interior do recinto das centrais de suprimento com cilindros, o que deve ser advertido por meio de placas de avisos. Entretanto, em 100% dos hospitais visitados não se observou qualquer aviso de advertência quanto ao perigo de fumar no interior da central.

Assim também, houve a desconformidade de todos os hospitais avaliados em relação à utilização de alarmes operacionais, que servem para alertar a manutenção de que o suprimento secundário está em funcionamento.

b) Central de suprimento com tanque estacionário – As centrais com suprimento primário composto de tanque estacionário, discutidas com detalhes no item 4.2.1 do Capítulo 4, servem para o fornecimento de oxigênio para o hospital. Assim como no caso das centrais com cilindros, a manutenção é responsabilidade das equipes técnicas das empresas que fornecem o gás.

Na pesquisa, foram analisados quatorze itens em quatro hospitais públicos e dois privados. Um dos pontos críticos está relacionado à localização do tanque criogênico, visto que apenas no hospital “D” são respeitadas as distâncias estipuladas pela NBR 12188 (2001)* e pela portaria 1884 (1994) do Ministério da Saúde, definidas no Anexo 3. Em todos os outros hospitais, o tanque criogênico fica junto ao estacionamento de carros e circulação de pessoas, não possuindo estruturas contra-fogo que o isolem.

Outro item diz respeito ao funcionamento do suprimento reserva de cilindros, que deveria entrar automaticamente quando houvesse queda da pressão do tanque, sendo sinalizado por um alarme operacional. Apenas nos hospitais “C” e “G”, quando ocorre algum problema com o tanque criogênico, o suprimento de cilindros é acionado automaticamente; entretanto, assim como nos demais hospitais, não existem alarmes que indiquem o seu funcionamento.

c) Central de suprimento com compressor de ar – Na pesquisa referente a centrais de suprimento de ar, o primeiro item avaliado, e talvez o mais importante, diz respeito ao tipo de compressor utilizado. A NBR 12188 (2001)* não faz qualquer especificação quanto ao tipo de compressor que deva ser utilizado no fornecimento de ar medicinal. Entretanto, o Ministério da Saúde através da portaria 1884 (1994), especifica que devam ser utilizados compressores do tipo anel líquido, chamado de “selo de água”, de “membrana” ou de “pistão com lubrificação a seco”. Dos quatro hospitais públicos avaliados, 75% não utilizam compressores adequados; apenas o Hospital “D” os utilizam. O problema não é menos crítico nos hospitais privados, onde apenas o Hospital “H” utiliza compressor com lubrificação a seco.

Outro equipamento tão importante quanto o compressor em uma central de suprimento de ar medicinal é o secador, pois é o responsável por grande parte da

* Ver item 3.3 do Capítulo 3.

retirada da água presente no ar. Todos os hospitais que foram avaliados possuem secadores em suas centrais de ar medicinal, entretanto apenas os hospitais “C” e “F” possuem secadores do tipo adsorção, os quais garantem o ponto de orvalho exigido pela NBR 12188 (2001)*, que é de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Na pesquisa, foi investigada também a localização do ponto de captação de ar. Conforme a portaria 1884 (1994), este deve ser localizado externamente ao recinto da central e a uma distância de seis metros em relação ao solo, o que, entretanto, não foi observado em nenhum dos hospitais avaliados. No mesmo documento, também é feita a recomendação de que seja respeitada a distância mínima de 16 metros do sistema de vácuo. Relativamente a isso, o hospital “B” respeita a recomendação, pois possui o seu sistema de vácuo desativado; nos hospitais “D” e “E”, foi observada esta distância.

Nos hospitais avaliados com relação a centrais com compressores, todos possuem um suprimento secundário formado por outro compressor equivalente e, além deste, três hospitais possuem uma central reserva de cilindros. Entretanto, em nenhum foi observada a presença de alarmes operacionais que indiquem o acionamento do suprimento reserva.

d) Central de suprimento com concentrador – Centrais de suprimento com concentrador para fornecimento de oxigênio medicinal é uma tecnologia discutível, conforme visto com mais detalhes no item 4.2.6 do Capítulo 4. No estado de Santa Catarina, apenas hospitais privados possuem centrais de suprimento com concentradores utilizando o sistema PSA. Neste estudo de caso, a pesquisa foi realizada nos hospitais “D” e “E”, avaliando dois fabricantes distintos. Nas duas avaliações, os itens que apresentaram desconformidades foram:

- os postos de utilização dos setores, como unidade de terapia intensiva, centro cirúrgico e centro obstétrico não, têm identificação de que o oxigênio fornecido possui uma concentração inferior à usualmente utilizada (deveria trazer estampado O_293);
- a central, além do oxigênio, fornece ar medicinal para o hospital. Segundo a NBR 13587 (1996), o compressor de ar utilizado em uma

central com concentrador deve ser dedicado, ou seja, utilizado exclusivamente para a geração do oxigênio;

- assim como na pesquisa dos outros tipos de centrais, não se observou a presença de alarmes operacionais que indiquem o funcionamento do suprimento reserva.
- o dimensionamento do suprimento auxiliar e de emergência não é suficiente para atender ao hospital em um prazo de 24 horas, sendo que a NBR 13587 (1996) recomenda 72 e 36 horas, respectivamente;
- apenas alguns aparelhos de anestesia possuem oxímetros de linha para monitoração da concentração do oxigênio;
- em nenhum dos hospitais estudados, são realizadas análises qualitativas ou quantitativas periódicas do gás produzido, conforme recomenda o Conselho Federal de Medicina, através da resolução nº 1355 (1992);
- o controle da concentração do oxigênio é realizado por apenas uma célula analisadora de oxigênio, quando são recomendadas duas. A sua confiabilidade é questionável, pois o período máximo de calibração, que, segundo a NBR 13587 (1996), deve ser de uma semana, na rotina do hospital é extrapolado para quinze dias ou mais;
- o recinto onde está instalada a central não possui ventilação adequada, sendo observados superaquecimento de compressores, o que resulta em um maior consumo de óleo e dificuldade de controle dos resíduos no ar. Aspectos relacionados à segurança do local são desconsiderados, pois não são observados extintores de incêndio, placas de segurança e hidrante.

Apenas no Hospital "E" o acionamento do suprimento auxiliar e de emergência é realizado automaticamente.

e) Central de suprimento com sistema especial de mistura – Centrais de suprimento que utilizam sistema especial de mistura são ainda menos comuns do que centrais com concentradores. Estima-se que estas devam existir em apenas três hospitais do estado, com a tendência de serem substituídas pelas

centrais com compressores de ar, que possuem um custo de operação mais reduzido. Assim, não foram investigadas nesta pesquisa.

f) Sistema de vácuo – Na análise do sistema de vácuo, o Hospital “B” não participou da pesquisa pelo fato do seu sistema ter sido desativado em razão do entupimento da rede de distribuição, o que indisponibilizou a sua utilização. Nos demais hospitais analisados, as bombas são do tipo anel líquido e apenas nos hospitais “A” e “D” não funcionam conectadas ao sistema de emergência de energia elétrica.

A água utilizada para o funcionamento da bomba, apenas nos hospitais “A”, “F” e “H” não é recirculada, não existindo qualquer tipo de filtro bacteriológico, desinfecção do ar aspirado ou tratamento da água. Do mesmo modo, é desconhecida a necessidade de rotinas de limpeza do reservatório e de cuidados com a descarga da central, não sendo, em nenhum dos hospitais respeitada a distância mínima de três metros de portas ou janelas, ou sequer havendo a existência de placas sinalizadoras e de advertência para o risco.

g) Rede de distribuição - A rede de distribuição foi avaliada em quatro hospitais públicos e em quatro privados. Dos hospitais públicos pesquisados, apenas no Hospital “D” não se observaram pontos de cruzamento da tubulação. Situação contrária foi observada nos hospitais privados, visto que apenas no Hospital “G” foi observada esta desconformidade, que pode resultar no rompimento da tubulação e vazamentos. Também foi constatada a prática de aterramento de equipamentos eletromédicos nas válvulas dos postos de utilização.

Quanto à identificação da tubulação, foi avaliada a utilização correta de cores para cada gás ou vácuo e se a tubulação estava identificada em todos os pontos necessários. Apenas os hospitais “G” e “H” estavam conforme com este item; os demais apresentavam troca de cores ou nenhuma diferenciação das cores da tubulação.

O Hospital “H” foi o único em que se observaram as válvulas de seção para os suprimentos de oxigênio, ar, óxido nitroso e vácuo instaladas em caixas de

seção com legendas identificando o gás ou vácuo, o setor suprido e advertindo para a manipulação de pessoas estranhas.

Os hospitais públicos apresentaram alguns setores com postos de utilização muito antigos, os quais possuem identificação ilegível ou com as cores diferentes das especificadas atualmente para cada gás. Observou-se, na única sala cirúrgica do Hospital "C", um posto de utilização que estava identificado como vácuo, mas que foi adaptado com uma mangueira para fornecer ar medicinal.

A distância exigida de 1,5 m do solo para localização dos postos de utilização foi respeitada, entretanto a adaptação do espaço nos hospitais públicos prejudicou o acesso para a realização de manutenção de alguns postos, assim como acarreta o risco de dano causado por equipamentos.

Dos hospitais públicos analisados, foi observada a presença de alarmes de emergência no setor de manutenção para o oxigênio, óxido nitroso, ar comprimido e vácuo apenas no Hospital "D". No Hospital "B", existe alarme de emergência apenas para oxigênio. Nos demais, "A" e "C", os alarmes encontram-se desconectados da rede elétrica ou não são observados.

Dos hospitais particulares analisados, existem alarmes de emergência para todos os gases estudados localizados nos principais setores, sendo que no Hospital "H" estão conectados ao sistema de energia elétrica.

7.4 APLICAÇÃO DO FMECA NA QUANTIFICAÇÃO DE RISCOS E NO AUXÍLIO AO GERENCIAMENTO

A Análise de Efeitos, Modos de Falha e Criticalidade (FMECA) é uma técnica baseada na prevenção dos problemas e identificação de soluções, considerando o grau de risco da falha. Segundo SAKURADA (2001), o grau de risco, denominado de "criticalidade", é um fator baseado no produto da ocorrência com a severidade da falha.

Ressalta-se que o FMECA é uma ferramenta mais eficaz quando discutido por uma equipe multidisciplinar, podendo, neste caso, ser formada por profissionais do corpo clínico e de enfermagem, manutenção, engenheiros clínicos e outros. Entretanto, pode ser efetuada individualmente, gerando, neste caso, custos e chances de detecção das conseqüências menores (PALADY, 1997).

Neste estudo, optou-se por desenvolver uma metodologia mais específica e resumida, baseada no FMECA. Assim, os passos utilizados nesta metodologia serão detalhados e indicados na Tabela 7.1.

Tabela 7.1 Etapas da elaboração das planilhas baseadas no FMECA

FMECA – Análise de Efeitos, Modos de Falha e Criticalidade					
1 – Cabeçalho					
2 – Desconformidades verificadas	3 – Conseqüências Efeitos	4 - Severidade	5 – Ocorrência	6 – Como corrigir ?	7 - NPR

1- **Cabeçalho** – No cabeçalho, são especificados o tipo de sistema para o qual será desenvolvida a planilha, o nome do EAS, a data e nome do responsável ou dos membros da equipe que está desenvolvendo o trabalho.

2- **Desconformidades verificadas** – Nesta coluna, são apontadas as desconformidades encontradas no sistema para a qual a planilha está sendo desenvolvida, verificadas previamente através do formulário de pesquisa.

3- **Conseqüências/Efeitos** – Com base na experiência da equipe ou de quem conduz o trabalho, nesta coluna definem-se as possíveis conseqüências e efeitos que possam resultar da desconformidade verificada.

4- **Severidade** – Após a enumeração das conseqüências e efeitos resultantes das desconformidades, quantifica-se, para cada uma destas, a sua gravidade, utilizando-se como referência a escala de severidade explicitada na Tabela 7.2. Caso a planilha tenha sido elaborada por uma equipe, os valores resultantes serão a média dos valores de cada membro da equipe.

5- **Ocorrência** - A ocorrência define a probabilidade de o efeito gerado pela desconformidade vir a ocorrer. Pode ser mais bem definida questionando-se “com que freqüência esta conseqüência ou efeito ocorre?”, utilizando-se como referência os valores apontados na Tabela 7.3. Assim como para a coluna

anterior, caso a planilha tenha sido elaborada por uma equipe, os valores de ocorrência serão a média dos valores sugeridos por cada membro.

6- **Como corrigir?** – Nesta coluna, são apontadas ações que possam minimizar ou corrigir a desconformidade encontrada.

Tabela 7.2- Descrição da Escala de Severidade

Efeito não percebido pelo cliente.	1
Efeito bastante insignificante, percebido pelo cliente; entretanto, não faz com que o cliente procure o serviço.	2
Efeito insignificante, que perturba o cliente, mas não faz com que procure o serviço.	3
Efeito bastante insignificante, mas perturba o cliente, fazendo com que procure o serviço.	4
Efeito menor, inconveniente para o cliente; entretanto, não faz com que o cliente procure o serviço.	5
Efeito menor, inconveniente para o cliente, fazendo com que o cliente procure o serviço.	6
Efeito moderado, que prejudica o desempenho do projeto, levando a uma falha grave ou a uma falha que pode impedir a execução das funções do projeto.	7
Efeito significativo, resultando em falha grave; entretanto, não coloca a segurança do cliente em risco e não resulta em custo significativo da falha.	8
Efeito crítico que provoca a insatisfação do cliente, interrompe as funções do projeto, gera custo significativo da falha e impõe um leve risco de segurança (não ameaça a vida nem provoca incapacidade permanente) ao cliente.	9
Perigoso, ameaça a vida ou pode provocar incapacidade permanente ou outro custo significativo da falha que coloca em risco a continuidade operacional da organização.	10

Fonte: PALADY, 1997.

7- **NPR –Número de Prioridade de Risco** – O NPR é obtido através do produto da severidade (coluna 4) pela ocorrência (coluna 5) e serve para priorizar as ações a serem implementadas. Tradicionalmente, a priorização acontece para os valores de RPN mais altos, entretanto podem ser feitas levando-se em consideração os custos a serem investidos ou a correção das desconformidades

que possuem graus de severidades mais altos. Segundo PALADY (1997), o método de priorização adotado dependerá da equipe, sendo característico com a realidade de cada EAS.

Autores como PALADY (1997) e SAKURADA (2001) acrescentam o índice de detecção no cálculo do NPR. A detecção representa a probabilidade da consequência gerada em virtude de a desconformidade ser detectada antes de acontecer e foi desprezada neste trabalho por se entender que apenas a severidade e a ocorrência permitem definir o grau de risco da desconformidade.

Tabela 7.3 - Escala de Avaliação de Ocorrência

Extremamente remoto, altamente improvável.	1
Remoto, improvável.	2
Pequena chance de ocorrência.	3
Pequeno número de ocorrências.	4
Espera-se um número ocasional de falhas.	5
Ocorrência moderada.	6
Ocorrência freqüente.	7
Ocorrência elevada.	8
Ocorrência muito elevada.	9
Ocorrência certa.	10

Fonte: PALADY, 1997.

Na Tabela 7.4, apresenta-se como exemplo a planilha baseada no FMECA, elaborada para centrais de suprimento com cilindros para o Hospital "A", resultante da análise de mais três profissionais, além da pesquisadora, com experiência no assunto em questão e na rotina deste hospital. A aplicação da metodologia para as demais centrais e rede de distribuição é apresentada no Anexo 7.

A partir dos resultados obtidos com a aplicação do formulário de pesquisa para o Hospital "A", apresentados no item 7.3, obtém-se a primeira coluna da Tabela 7.4.

A segunda coluna foi obtida através da experiência dos profissionais que aplicaram a metodologia, prevendo-se todos os efeitos e conseqüências resultantes da primeira coluna.

Apesar da severidade dos efeitos e de as conseqüências geradas pelas desconformidades, mostradas na terceira coluna, apresentarem valores altos e até máximo, as ocorrências, apresentadas na quarta coluna, possuem índices baixos, resultando em um NPR baixo (última coluna), considerando-se um valor máximo de 100. Constata-se também que as ações para corrigir os efeitos que possam ser decorrentes das desconformidades podem ser alcançados com um baixo investimento ou ações simples, como sinalização, treinamento e restrição de acesso ao local.

Analisando-se a planilha obtida através da metodologia baseada no FMECA para uma central de suprimento com tanque criogênico, a maioria dos índices de severidade obtidos foram os maiores da escala. Entretanto, os valores do NPR podem ser considerados baixos, pois os efeitos gerados pelas desconformidades nunca ou muito raramente foram registrados. Assim como no caso de centrais com cilindros, as desconformidades podem ser corrigidas com ações que não requerem grandes investimentos.

Para uma central com compressores destinada ao fornecimento de ar medicinal, assim como para as demais centrais discutidas, os índices de severidade foram bastante altos. Neste caso, alguns valores de NPR encontrados foram elevados, pois tais efeitos gerados por essas desconformidades são comuns na rotina dos hospitais estudados. Todavia, as ações propostas são simples e não requerem um alto investimento para minimizar ou corrigir os problemas encontrados, como por exemplo, a mudança na localização do ponto de captação de ar ou a ventilação adequada do ambiente.

Os valores de NPR para um sistema de vácuo apresentaram índices variados, sendo os mais críticos obtidos em razão de as escalas de severidade e ocorrência serem elevadas. Esses riscos são representados pela contaminação do ar da central e despercebidos pela sua invisibilidade ou desinformação das pessoas envolvidas na sua manutenção ou operação. Assim, como para os demais sistemas avaliados, podem ser corrigidos com ações simples e de baixo investimento.

A elaboração da planilha baseada no FMECA para central de suprimento com concentrador não foi realizada porque o Hospital A não possui este tipo de central. Entretanto, aqueles que possuem, podem aplicar a metodologia proposta no Capítulo 7, seguindo o item 7.4.

No caso de aplicação do FMECA para análise da rede de distribuição, a maioria dos índices encontrados foram relativamente baixos, caracterizando como menos críticas as desconformidades encontradas. Entretanto, dificultam o gerenciamento e a manutenção e podem ser corrigidas através da identificação da tubulação, do cuidado em evitar pontos de cruzamento, da instalação de válvulas de seção em caixas de seção devidamente identificadas e do uso de alarmes de emergência.

Tabela 7.4 Planilha de FMECA para central de suprimento com cilindros

FMECA – Análise de Efeitos, Modos de Falha e Criticalidade						
Tipo de sistema: CENTRAL DE SUPRIMENTO COM CILINDROS						
Data: 15/02/2002						
Tipo de suprimento: Óxido Nitroso						
Página: 1/1						
Hospital: Hospital A						
Responsável: Rubia Alves, Sandro Vieira, Luís Glowacki, Joel Dias						
DESCONFORMIDADES VERIFICADAS	CONSEQÜÊNCIAS	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	COMO CORRIGIR?	Número de Prioridade de Risco	NPR
O acionamento do suprimento secundário ocorre de forma manual.	1. Interrupção no fornecimento do gás durante o procedimento anestésico. 2. Queda de pressão.	8 6	2 4	1. Acionamento automático do suprimento secundário através da queda de pressão do suprimento primário. 2. Inspeção diária	16 24	
Não há alarme operacional indicando que a rede está recebendo gás do suprimento secundário	Falta do gás durante o procedimento anestésico.	8	1	1. Instalação de um alarme operacional sonoro e visual em um local visível à equipe de manutenção.	8	
Não há um aviso indicando que é proibido fumar.	Risco de incêndio, explosão, danos ao operador.	10	1	1. Instalação de um aviso de advertência quanto ao perigo de fumar. 2. Treinamento de operadores. 3. Acesso restrito de pessoas ao local da central	10	
Os cilindros não estão fixados adequadamente.	Queda do cilindro causando ferimento.	9	2	1. Acesso restrito de pessoas ao local da central. 2. Fixação dos cilindros através de correntes.	18	

8 DISCUSSÕES, CONCLUSÕES E PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

8.1 DISCUSSÕES

Atualmente, estruturas de EC ainda não são diretamente responsáveis pelo gerenciamento dos sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais, sendo isso responsabilidade das equipes de manutenção dos hospitais, das empresas fornecedoras de gases ou de empresas terceirizadas. Assim, o projeto, a execução e manutenção ficam prejudicados por diversas limitações de ordem financeira, técnica ou motivacional, que, ainda, são agravados pela inexistência de controle e fiscalização de órgãos que possuem esta responsabilidade ou da definição de quem seriam os responsáveis.

Em seguida ressaltam-se alguns pontos observados no decorrer deste trabalho que mostram claramente o quão críticas são algumas questões relacionadas a esta tecnologia, assim como algumas propostas de melhorias e observações que auxiliarão no gerenciamento implementado ou coordenado por equipes de engenharia clínica.

Revisão NBR 12188

Algumas recomendações feitas pela NBR 12188 (2001) são vistas com descaso na rotina de alguns EAS, tais como o extravio e desprezo das tampas plásticas para proteção das válvulas autovedantes fornecidas pelo fabricante para quando estas não estiverem sendo utilizadas; assim como a utilização de adaptações nas conexões das válvulas dos postos de utilização, permitindo que os equipamentos possam ser intercambiáveis. Nesse caso, maior custo é gerado mandando-se fazer uma peça de adaptação do que comprando um equipamento apropriado.

Outras recomendações foram mantidas na revisão da NBR 12188 (2001), mas, com o avanço da tecnologia, foram substituídas na rotina do corpo médico e de enfermagem, como é o caso dos alarmes de emergência, que foram substituídos pelos alarmes dos equipamentos de monitoração, e das etiquetas de

identificação de “cheios” ou “vazios” dos cilindros, substituídas pelos lacres do fabricante. Tais procedimentos são percebidos com descaso, entretanto devem ser adotados como mais uma forma de controle e segurança na utilização dos gases.

Procedimentos de aspiração de secreções

Na rotina dos EAS é muito comum a aspiração de secreções utilizando-se gases como o ar medicinal e o oxigênio. Segundo KARMAN (1994) e MOYLE (2000), este tipo de aspiração deverá ser utilizado como último recurso, pois, caso seja utilizado o oxigênio, haverá grande desperdício deste gás para geração do vácuo, além do ruído gerado durante o procedimento e do risco de contaminação do ambiente. Entretanto, em muitos casos este é o único recurso disponível por causa da inexistência do sistema de vácuo ou da rede de distribuição ou de equipamentos apropriados.

Assim também KARMAN (1994) defende que, independentemente de ser utilizado vácuo ou gás durante o procedimento de aspiração, deve ser utilizado um frasco de cinco litros em série com o aspirador acoplado ao posto de utilização, de maneira a permitir uma maior capacidade de aspiração e impedir que secreções sejam succionadas para a rede de vácuo. Entretanto, isso é discutível pela CCIH, pois poderá se tornar um meio de cultura para microorganismos.

A desinformação do corpo médico e de enfermagem com relação ao cuidado em evitar que secreções, ao invés de ficarem retidas nos frascos, sejam levadas até a central, pode resultar na contaminação da rede de distribuição de vácuo e causar a sua obstrução pela cristalização da matéria orgânica, criando condições de risco principalmente para a equipe de manutenção responsável pelo trabalho de limpeza.

Subdimensionamento de sistemas centralizados

Quanto ao fornecimento de ar e oxigênio, caso a rede de distribuição ou a central de suprimento sejam subdimensionadas, isso se torna um problema para

o funcionamento de equipamentos que dependem desses suprimentos. Esse quadro faz parte da realidade de muitos EAS, em virtude da falta de planejamento e documentação de suas ampliações, sendo que, em alguns casos, o problema é minimizado com o armazenamento do ar em reservatórios internos ao equipamento ou, em casos extremos, com a criação de centrais de suprimento complementares para o abastecimento de alguns setores, como unidades de terapia intensiva.

Gerenciamento deficiente de centrais de suprimento com compressores de ar

O que foi observado no decorrer da pesquisa é que a preocupação de órgãos fiscalizadores, como a Vigilância Sanitária ou a Organização Nacional de Acreditação, com o controle da qualidade da água para hemodiálise, a energia elétrica e a utilização de EMH ainda não se faz presente em relação aos gases e vácuo medicinais.

O Ministério da Saúde, desde 1994, através da portaria 1884, define que centrais de suprimento com compressores para obtenção do ar medicinal devam ser compostas por compressores do tipo selo d'água, membrana ou pistão com lubrificação a seco. Na pesquisa realizada nos hospitais, 75% não atendem a esta recomendação. Entretanto, segundo os fabricantes, deve ser considerado que os sistemas de filtragem encontrados atualmente podem agir com eficiência na eliminação de contaminantes a um custo relativamente baixo, tanto que a NBR 12188 (2001)* não faz qualquer ressalva quanto ao tipo de compressor utilizado, mas define as características que o ar obtido deve ter para ser especificado como medicinal. A problemática relacionada a isso está em avaliar as características do ar e a eficiência do sistema de filtragem, já que, em locais distantes dos grandes centros urbanos, como São Paulo e Rio de Janeiro, existe a dificuldade de acesso a laboratórios capacitados para realização deste tipo de análise, e o controle da troca de filtros, quando acontece, é feito com base no tempo, sem levar em consideração as condições ambientais em que estes se encontram.

Outra recomendação feita pelo Ministério da Saúde, e avaliada na pesquisa realizada, está relacionada à localização do ponto de captação de ar. Em nenhum

dos hospitais analisados, a captação é realizada externamente como recomendado ou a 6 metros do solo, e em apenas em dois hospitais particulares foi respeitada a distância de 16 metros do sistema do vácuo. Isso talvez se caracterize como um detalhe que deve ser desconsiderado por quem elabora e executa o projeto, entretanto está relacionado diretamente com a qualidade do ar, pois o fato de o ar ser captado externamente permite que seja renovado e fresco, evitando a impregnação de resíduos de óleo provenientes do compressor e a contaminação com agentes patogênicos provenientes do sistema de vácuo. Outro problema encontrado diz respeito à falta de ventilação adequada do recinto que abriga as centrais de suprimento com compressores de ar, resultando no sobreaquecimento das máquinas e na redução da eficiência destes equipamentos e do sistema de filtragem.

Problemas causados em EMH pela falta de controle de qualidade do ar medicinal

A inexistência de controle de qualidade do ar medicinal obtido através de centrais de suprimento formadas por compressores lubrificados a óleo, a captação do ar feita próxima ao vácuo em um ambiente úmido, filtros saturados ou secadores ineficientes propiciam a contaminação do ar com óleo, água e agentes patogênicos (NUNES,1997), conforme discutido anteriormente. Isso ocasiona a danificação de componentes internos de equipamentos como ventiladores pulmonares, tais como diafragmas, sensores de pressão, foles, fluxômetros, misturadores e válvulas, gerando custos com manutenções e a indisponibilidade do equipamento, os quais, em alguns casos, podem ser maiores do que o investimento no controle da qualidade do ar.

Desperdício de oxigênio

Em alguns casos, o problema relacionado à qualidade do ar é contornado com a substituição do ar medicinal pelo oxigênio medicinal para realização do trabalho mecânico de equipamentos pneumáticos. Isso, além de caracterizar uma

forma de desperdício, torna-se um risco pelo fato de o oxigênio ser oxidante e reagir quando em contato com substâncias oleosas.

Cadastramento de equipamentos – Passo inicial na implementação do GTMH

Segundo CALIL (1998), para maior controle e efetividade no gerenciamento de EMH de maneira geral, o conhecimento da quantidade e das condições em que operam estes equipamentos é passo inicial e fundamental para a implementação de ações gerenciamento. Os equipamentos para gasoterapia nos hospitais analisados no estudo de caso, assim como nos demais visitados ao longo do trabalho, não possuem nenhuma forma de controle, terminando por vezes sendo extraviados. Assim, é necessário o cadastramento dos equipamentos para gasoterapia e postos de utilização com a elaboração de um histórico, para que, posteriormente, sejam implementados ensaios de funcionalidade.

Análise do FMECA – Centrais de suprimento com cilindros e tanque criogênico

Na aplicação do FMECA para a central de suprimento com cilindros e tanque criogênico analisados neste trabalho e mostrados na Tabela 7.4 e no Anexo 7, os valores resultantes de NPR foram baixos, pois, apesar de alguns índices de severidade das desconformidades terem sido máximos, os registros de ocorrência das conseqüências geradas pelas desconformidades foram apenas eventualmente ou nunca observados. Observou-se que na rotina do hospital A, para o qual a planilha foi elaborada, assim como para os demais, os profissionais responsáveis pela manutenção desses sistemas tem conhecimento do grau de severidade alcançado pelas desconformidades e procuram cercar-se de cuidados, evitando que ocorram. Entretanto, poderiam ser melhor gerenciados e apresentarem maior segurança com as medidas propostas, que são simples e de baixo custo, como pela instalação de placas de sinalização, instalação de alarme operacional, estoque de cilindros em salas adequadas, acionamento automático

do suprimento reserva ou secundário por diferença de pressão, entre outros. Neste caso, como os valores de NPR foram baixos e as desconformidades podem ser resolvidas com certa facilidade, o melhor método de priorização seria levar em consideração os custos envolvidos, os quais são baixos; logo, a priorização não tem destaque como em sistemas mais onerosos. Cabe ressaltar que o método de priorização vai depender da equipe, assim como o resultado da planilha será característico também da realidade do hospital e do tipo de suprimento a que se destina a central.

Análise do FMECA – Centrais de suprimento com compressores de ar

A central com compressor de ar analisada para o Hospital A, apresentou alguns valores de NPR altos. Isso ocorre porque os índices de severidade das desconformidades encontradas foram altos e trazem conseqüências que tem sido observadas na rotina do Hospital, como a baixa qualidade do ar comprimido medicinal e sobreaquecimento dos equipamentos. Não se pode afirmar que tais problemas trazem conseqüências que estariam relacionadas diretamente com o risco da vida do paciente, pois não foi possível a realização de análises quantitativas e qualitativas de amostras do ar para verificação da sua relação com a infecção hospitalar. Entretanto, a verificação da situação da central de suprimento com compressores de ar do Hospital A e dos demais analisados no estudo de caso não deixa dúvida quanto aos riscos associados ao fornecimento de ar que se destina ao uso terapêutico. O gerenciamento adequado desses sistemas, incluindo ações de baixo investimento, como a mudança no ponto de captação do ar, a instalação de manômetros diferenciais nos filtros para monitoração da vida útil e a ventilação adequada da central, traria um aumento da relação custo-benefício e maior qualidade para o paciente.

Análise do FMECA – Sistemas de vácuo

A aplicação da metodologia baseada no FMECA na elaboração da planilha para o sistema de vácuo do Hospital A, resultou no maior valor de NPR, dentro todos os sistemas analisados. Isso aconteceu devido o índice de severidade e a

conseqüência terem sido alto e máximo, respectivamente. Os altos índices de severidade apontados são resultantes do ambiente insalubre em que se encontra o sistema de vácuo, pelo fato de destinar-se a aspiração de todo tipo de secreção gerado pelo paciente e conseqüentemente apresentar resíduos de matéria orgânica. A ocorrência também alcançou índices altos pelo sistema não apresentar qualquer tipo de filtro, tratamento do ar, da água ou limpeza do reservatório, pois apesar de não ter sido realizado amostras para comprovação da contaminação do ar a inexistência destes cuidados não deixa dúvidas quanto a isso. As ações propostas para minimizar esse problema são facilmente aplicáveis e com custos relativamente baixos.

Análise do FMECA – Rede de distribuição

A elaboração da planilha do FMECA para rede de distribuição do hospital A apresentou valores não muito altos, entretanto dificulta a manutenção e o gerenciamento. Os problemas encontrados podem ser facilmente corrigidos pela instalação de válvulas de seção que permitam, no mínimo, o isolamento de um setor para a realização de manutenção ou auxiliem em caso de emergência sem a necessidade de interrupção no fornecimento dos gases ou vácuo para todo o hospital. Diferentemente da cultura existente nos hospitais, de que estas válvulas não possam ser instaladas em locais acessíveis sob o risco de manipulação indevida, as válvulas de seção devem ser facilmente identificadas e operáveis em caso de emergência, sendo dispostas em caixas de seção. De maneira a facilitar a manutenção e evitar acidentes, a identificação da tubulação é mais uma medida simples, assim como as anteriormente citadas, que facilita o gerenciamento dos sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais.

Rede de distribuição – Falta de gerenciamento

Segundo MACINTYRE (1996), as perdas por vazamentos em instalações antigas e malconservadas de ar comprimido resultam de 25 a 30% da capacidade total do compressor, sendo esse quadro de desperdício observado principalmente em hospitais públicos, onde não são realizadas manutenções programadas para

verificação de vazamentos. Este problema pode ser estendido para a rede de distribuição de vácuo, na qual a ausência de manutenções periódicas, também observada em hospitais particulares, resulta na baixa eficiência do sistema, evidenciado através de pressão negativa insuficiente para o processo de aspiração e no maior trabalho das bombas. Quando se estima o percentual de perdas por vazamentos antes discutido, percebe-se o montante que é perdido em gases como o oxigênio e o óxido nitroso. Analisando-se como exemplo o consumo de oxigênio de oito hospitais públicos de Santa Catarina, segundo dados fornecidos pela Secretaria de Estado da Saúde (SES), ter-se-ia, por hipótese, cerca de R\$1.000.000,00 desperdiçados apenas com este gás em 2002. Esse percentual estimado pode ser considerado mínimo, pois não estão sendo consideradas outras formas de desperdício, tais como a realização de procedimentos inadequados, como aspiração e nebulização com oxigênio, em virtude de à indisponibilidade de equipamentos, como aspiradores para ar comprimido e vacuômetro; ou a situação crítica da maioria dos equipamentos para gasoterapia utilizados na rotina dos hospitais públicos, que se encontram sucateados; ou, ainda, a ineficiência de rede de distribuição de vácuo. Foram levantados os dados de oito hospitais públicos de Santa Catarina e verificou-se um total de 1731 postos de utilização de oxigênio, 935 de ar medicinal e 847 de vácuo, demonstrando a inexistência de postos de utilização de ar medicinal e vácuo em alguns setores dos hospitais. Todos esses pontos discutidos reforçam a idéia de gerenciamento deficiente e de que os investimentos realizados seriam facilmente recuperáveis, além de trazer maior qualidade no atendimento ao paciente.

Geração do oxigênio através de centrais com concentradores na busca de redução de custos

Outra alternativa adotada pelos hospitais para redução de custos com a utilização do oxigênio está na geração do gás *in loco* através de centrais de suprimento com concentradores. Segundo os fornecedores de gás, o preço do metro cúbico do oxigênio está diretamente relacionado ao consumo e ao frete; dessa maneira, hospitais de pequeno porte localizados longe de grandes centros

são os mais prejudicados. Entretanto, deve ficar claro que a implantação de centrais de suprimento com concentradores deve ser feita posteriormente, e não em substituição ao correto gerenciamento dos sistemas e para redução de custos, com o que muitas variáveis de risco serão assumidas. No estado de Santa Catarina, apenas os hospitais particulares adotam esta tecnologia, em sua maioria classificados como de pequeno porte. Com a avaliação realizada no estudo de caso, observou-se que muitas recomendações feitas pela NBR 13587 (1996) e pelo Conselho Federal de Medicina não são cumpridas visando a redução de custos, tais como monitoração deficiente da concentração do gás produzido, que é realizado através de uma célula analisadora, quando são exigidas duas; a inexistência desses sistemas nas salas cirúrgicas; suprimentos auxiliar e de emergência prevendo o abastecimento por menos de 24 horas, quando o exigido é de 72 e 36 horas, respectivamente, além de não serem realizadas análises qualitativas e quantitativas do oxigênio, entre outras. Na verdade, quando as empresas que fabricam esta tecnologia apresentam os cálculos do metro cúbico do gás gerado, muitas variáveis não são consideradas, tais como a depreciação, os equipamentos de monitoração, suprimento reserva e auxiliar, entre outras, fazendo com que, ilusoriamente, o custo seja de centavos de real. Dúvidas relacionadas ao fornecimento de oxigênio através de concentradores que utilizam o sistema PSA são muitas; o que fabricantes e consumidores desta tecnologia devem considerar é mais a confiabilidade do sistema do que apenas a redução de custos, pois deste sistema depende a vida de muitos pacientes.

Programa de racionalização do uso do oxigênio

No ano de 2000, teve início, em um hospital público da Grande Florianópolis, um programa de gerenciamento dos sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais implementado pelo Celec. Dadas as condições da central de suprimento de ar comprimido medicinal, era comum a presença de óleo e água no ar, ocasionando problemas nos EMH ou a elevação do consumo do oxigênio. A central de suprimento foi substituída, a maioria das válvulas dos postos de utilização foi substituída, pois apresentavam vazamentos, e a rede de

ar comprimido e vácuo foi estendida para todos os setores do hospital. O programa previu inspeções semanais dos postos de utilização, verificando-se a presença de vazamentos. Nesta primeira etapa do trabalho, foi observada a redução do consumo de oxigênio, entretanto os resultados mais significativos viriam na segunda etapa, através da compra de equipamentos para gasoterapia e da utilização do oxigênio apenas quando extremamente necessário. Decorridos seis meses da solicitação de compra do material, por causa da morosidade e outras limitações, as peças não foram adquiridas e o trabalho ainda não pode ser concluído. Outra dificuldade encontrada está em monitorar e quantificar o valor de consumo reduzido com a aplicação dessas medidas. Atualmente, o controle do consumo de oxigênio nos hospitais é feito com base no abastecimento do tanque criogênico, não sendo consideradas as perdas. Em alguns casos, não se tem nem mesmo esse acompanhamento, e os únicos dados são os constantes nas notas emitidas pelas empresas fornecedoras de gás.

Ressalta-se que, para que programas de racionalização do uso correto do oxigênio tenham resultados satisfatórios, além do investimento em equipamentos, em centrais de suprimento e em rede de distribuição, o engenheiro clínico responsável pela coordenação do programa e a equipe técnica devem orientar, conscientizar e motivar o corpo clínico e de enfermagem. Segundo VENDITTO (1990), com a aplicação de um programa semelhante, alcançou-se uma redução de 30% do consumo de oxigênio.

8.2 CONCLUSÕES

O papel da engenharia clínica não está vinculado estritamente ao EMH, mas também envolve o conhecimentos dos aspectos clínicos associados com a tecnologia. Dessa maneira, como proposto nos objetivos específicos, foram abordadas, de forma sucinta, as aplicações mais importantes do oxigênio, óxido nitroso, ar e vácuo medicinais, bem como as suas principais características e formas de obtenção.

Esta pesquisa teve origem na problemática vivenciada na rotina do Celec, visto que o resultado do mau gerenciamento desses sistemas se reflete nos prejuízos causados aos EMA, ocasionados pelos gases provenientes de tais sistemas. Assim, neste trabalho discutiram-se os problemas mais comuns envolvidos com EMH, tais como ventilador pulmonar, aparelho de anestesia e equipamentos para gasoterapia.

Um dos objetivos do trabalho foi pesquisar e apresentar as principais recomendações e regulamentações nacionais relacionadas a esses sistemas. Mais do que isso, a ocasião promoveu a oportunidade de participação e contribuição na revisão da principal recomendação nacional relacionada aos sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais, a NBR 12188. A interação com profissionais da área provindos dos mais diversos órgãos (fornecedores de gases, fabricantes de compressores, Vigilância Sanitária) e de diversas partes do Brasil, relatando as mesmas dificuldades vivenciadas na região pesquisada, demonstra que os problemas encontrados podem estar relacionados à desinformação técnica, à carência de investimentos em pesquisa científica e em especialização na área.

A pesquisa normativa desenvolvida embasou o estudo de caso e possibilitou a análise de sistemas centralizados de alguns hospitais deste estado. A detecção das desconformidades apresentadas permitiu propor ações que possam ser implementadas promovendo a sua adequação ao uso e maior efetividade dessa tecnologia.

Neste trabalho, foi proposta a utilização de uma metodologia baseada no FMECA, de maneira mais simplificada, como uma ferramenta que vem contribuir para o gerenciamento. Assim, os modos de falha do sistema foram substituídos

pelas desconformidades previamente detectadas através dos formulários de pesquisa, utilizando-se como referências as recomendações e regulamentações normativas. Mais do que uma maneira de simplificar o trabalho, a metodologia aplicada pode ser vista como uma forma de redução de custos, pois o tempo da equipe envolvida nas discussões seria menor e o trabalho, desenvolvido de maneira mais objetivo e puntual. Neste trabalho, aplicou-se a metodologia para o hospital A, de maneira a exemplificar, mas esta pode ser discutida e aplicada para todos os sistemas, em quaisquer EAS. Cabe ressaltar que a eficiência da aplicação do FMECA dependerá da qualificação das equipes disponíveis nos hospitais para desenvolver e coordenar a aplicação das ações propostas, assim como o resultado da planilha e a metodologia de priorização serão características para cada EAS e do tipo de sistema analisado.

Os resultados obtidos com o estudo de caso evidenciam a deficiência no gerenciamento dos sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais nos hospitais analisados. A situação torna-se mais crítica porque, independentemente de serem públicos ou privados, algumas desconformidades concentram-se no tipo de tecnologia. Tem-se como exemplo o acionamento manual do suprimento secundário nas centrais de suprimento com cilindros, que está relacionada com a empresa fornecedora de gás, detentora de uma certa tecnologia e independente do tipo de hospital. Outras desconformidades observadas estão relacionadas com a desinformação técnica, como é o caso da não-utilização de alarmes operacionais ou da instalação de válvulas de seção em locais inacessíveis e sem identificação. As equipes de manutenção ou mesmo empresas (que se dizem) especializadas na execução de projetos de rede de distribuição de gases e vácuo medicinais não possuem conhecimento dessas necessidades. Poder-se-ia utilizar como justificativa o fato da NBR 12188 (2001)* ainda não ter sido regulamentada, entretanto essas exigências decorrem do ano de 1977, através da NB 254.

Cabe lembrar que, atualmente, no Brasil existe norma regulamentadora apenas para sistemas de oxigênio e óxido nítrico, sendo os demais suprimentos abrangidos na revisão que será regulamentada talvez a partir deste ano. Talvez venha a contribuir para a situação em que esses se encontram a falta de padronização relacionada a esses sistemas, como, por exemplo, nos casos de

dimensionamento e projeto, visto que cada empresa os executa à sua maneira e de acordo com sua experiência; ou a indefinição sobre a responsabilidade pela fiscalização das condições em que estes operam e do acompanhamento dos testes e ensaios. Almeja-se que programas, como a Tecnovigilância da Anvisa ou o projeto de GTMH do IEB-UFSC, com a contribuição deste trabalho venham a alertar quanto aos riscos envolvidos e o aumento de custos em razão de falhas ou inexistência de gerenciamento. Isso poderia ser resolvido com equipes de engenharia clínica gerenciando ou auxiliando no gerenciamento desta tecnologia, pelo fato de possuírem características multidisciplinares exigidas neste caso, tais como conhecimentos da utilização clínica dos gases, de mecânica, elétrica, física, química, além das demais tecnologias hospitalares dependentes deste tipo de suprimento, como os EMA.

A sistematização dos conhecimentos adquiridos no decorrer da pesquisa e apresentados nesta dissertação permitirá melhor gestão, efetividade e qualidade da tecnologia médico-hospitalar, representada nos sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais, nos suprimentos provenientes destes sistemas, nos EMA e, sobretudo, na qualidade e segurança da assistência ao paciente.

8.3 TRABALHOS PROPOSTOS

Acerca da problemática discutida sobre centrais de suprimento com concentradores, propõe-se um estudo mais detalhado e científico desta tecnologia, tanto do tipo PSA como PVSA, envolvendo questões técnicas, operacionais e financeiras. Também se sugere a comparação e pesquisa de rendimentos de diversos tipos de compressores e sistemas de monitoração da concentração do gás que sejam mais efetivos e confiáveis.

É necessária igualmente, a realização de análises qualitativas e quantitativas de amostras do oxigênio produzido nas centrais acima citadas, bem como do ar medicinal obtido nas centrais de suprimento com compressores, para comparação de diferentes sistemas de filtragem e a investigação desses suprimentos como vetores de infecção hospitalar.

* Ver item 3.3. do Capítulo 3.

Propõe-se, ainda, que sejam elaborados procedimentos de calibração de equipamentos para gasoterapia, tais como fluxômetro e válvulas reguladoras, e pesquisas sobre a influência desta ação na redução do consumo dos gases.

Sugere-se, por fim, um estudo mais detalhado de câmaras hiperbáricas, que são equipamentos pouco comuns, razão pela qual se exigem maiores esclarecimentos sobre esta tecnologia.

GLOSSÁRIO

- Absorção:** Fixação de uma substância, geralmente líquida ou gasosa, no interior da massa de outra substância, em geral sólida, e resultante de um conjunto complexo de fenômenos de capilaridade, atrações eletrostáticas, reações químicas, etc.
- Adsorção:** Fixação das moléculas de uma substância na superfície de outra substância.
- Aerossól:** Solução coloidal em que a fase dispersora é gasosa e a fase dispersa é sólida ou líquida.
- Anóxia:** Baixo teor de oxigênio.
- Calombo:** Qualquer deformação para o exterior da parede do cilindro.
- Centro geométrico:** Ponto cujas coordenadas são as médias das coordenadas dos pontos de uma figura geométrica.
- Coalescência:** O fenômeno de crescimento de uma gotícula de líquido pela incorporação em sua massa de outras gotículas com as quais entra em contato.
- Colabamento:** Adesão da superfície interna de um material de borracha ou látex.
- Comburente:** Que ou aquilo que alimenta a combustão.
- Condensação:** O fenômeno da passagem dum vapor para o estado líquido.
- Cota:** Número que exprime, em metros ou noutra unidade de comprimento, a distância vertical de um ponto a um eixo ou ponto.
- Diafragma:** Membrana elástica usada para provocar ou para detectar e transmitir vibrações.
- Difusão:** Processo espontâneo de transporte de massa num sistema físico-químico, por efeito de gradientes de concentração.
- Disco de ruptura:** Disco metálico, parte de um dispositivo de segurança, projetado para romper e permitir o escape de gás dentro de limites pré-determinados de pressão, a fim de impedir a ruptura do recipiente.
- DOT:** Abreviação de *Department of Transportation* – Departamento de Transportes nos EUA, que regula a movimentação de materiais perigosos.
- Efetividade:** É o grau em que uma determinada intervenção, procedimento, regime ou serviço produz um resultado benéfico, quando empregado no mundo real, em uma população definida; é o resultado verdadeiramente observado nas condições de uso.
- Eficácia:** É o grau em que uma determinada intervenção, procedimento, regime ou serviço produz um resultado benéfico, em condições ideais de observação; trata-se de um resultado de laboratório.
- Eficiência:** É o efeito alcançado em relação ao esforço despendido em termos de recursos e de tempo; é o rendimento dos recursos utilizados; é o resultado obtido, tendo em conta os insumos empregados. É a capacidade de obter a maior melhoria possível nas condições de saúde ao menor custo possível.
- Eletricidade estática:** Designação comum aos fenômenos em que estão envolvidas cargas elétricas em repouso.
- Estanqueidade:** Sem fenda ou abertura por onde entre ou saia líquido; tapado.
- Falha Oculta:** É a falha que ao acontecer não é evidente ao operador do sistema ou do equipamento, quando no desempenho normal de suas atribuições.
- Farmacopéia:** Livro oficial em que se reúnem fórmulas e preceitos relativos à preparação de medicamentos e à sua identificação, e se arrolam os medicamentos aprovados pelo Estado.
- Fluxo:** Número de partículas que atravessam uma área por unidade de tempo.
- Fole:** Utensílio destinado a produzir vento para ativar uma combustão ou limpar cavidades.
- Força centrífuga:** Força inercial que atua no sistema e é dirigida no sentido oposto ao do eixo de rotação.
- Gás:** Fluido compressível em que as interações moleculares são bastante fracas, a agitação térmica é permanente e notável e não existe organização espacial.
- Higrômetro:** Qualquer instrumento destinado a medir a umidade do ar ou de um gás.
- Horímetro:** Qualquer instrumento destinado a medir tempo.
- Insalubre:** Que origina doença; doentio.
- Jusante:** O sentido em que correm as águas de uma corrente fluvial.
- Liquefação:** Passagem de uma substância do estado gasoso ao estado líquido.
- Longitudinalmente:** Colocado no sentido do comprimento, ao comprido.
- Manômetro:** Instrumento para medir pressões.
- Manômetro diferencial:** Instrumento destinado a medir a diferença de pressão entre dois pontos.
- Montante:** Direção de onde correm as águas de uma corrente fluvial.
- Oxidante:** Qualquer substância que promove a oxidação de outra substância ou íons de hidrogênio. Os oxidantes mantêm ou, em alguns casos, promovem a combustão.

Perfusão: Passagem de líquido através de um órgão.

Pneumopatia: Qualquer doença pulmonar.

Ponto de ebulição: Temperatura em que, sob pressão constante, um líquido está em equilíbrio com bolhas de vapor.

Ponto de orvalho: Temperatura em que o ar úmido se torna saturado de vapor de água quando resfriado sob pressão constante.

Posto de utilização: Qualquer um dos pontos terminais da rede distribuição de gases medicinais ou vácuo constituído de: conexão específica do gás/vácuo, roscada ou de engate rápido; válvula autovedante; identificação do gás/vácuo; indicação da fonte principal de oxigênio: PSA-OXIGÊNIO 93% ou OXIGÊNIO para tanque criogênico ou central de cilindros.

Pressão: Numa superfície sujeita à ação de uma força de módulo constante perpendicular a ela, o quociente da força pela área da superfície.

Pressão absoluta: É a soma da pressão atmosférica com a pressão manométrica.

Pressão atmosférica: É a pressão exercida pela atmosfera terrestre em qualquer ponto da mesma e que é igual ao produto da massa da coluna de ar que tem por base a unidade de área, no ponto dado, vezes a aceleração da gravidade no mesmo ponto.

Pressão de distribuição: Pressão dinâmica sempre inferior a 8kgf/cm^2 , que permite a distribuição segura do oxigênio aos postos de utilização e a conexão de aparelhos para tratamento de pacientes, podendo necessitar de dispositivos para regulação de pressão ou dosificação.

Pressão dinâmica: Componente da pressão devida ao movimento de um fluido, e igual ao produto da massa volumar do fluido pela metade do quadrado da velocidade.

Pressão estática: Componente da pressão num fluido em movimento que se exerce sobre uma superfície que se move com o fluido.

Pressão manométrica: É qualquer pressão superior à pressão atmosférica, considerando-a como referencial zero na medição.

Pressão parcial: Numa mistura de gases ideais, pressão que cada gás teria se ocupasse, isoladamente e na mesma temperatura, todo o volume da mistura.

Pressostato: Dispositivo eletromecânico que atua, fechando contatos elétricos em temperaturas pré-ajustadas.

Purgar: Purificar; limpar.

Ramal: Derivação da rede de distribuição que alimenta diretamente um ou mais postos de utilização.

Rede de distribuição: Conjunto de tubulações, válvulas e dispositivos de segurança que se destina a conduzir gases ou prover sucção (vácuo), através de ramais, aos locais onde existem postos de utilização apropriados.

Rotor: Parte móvel de um sistema que gira sobre seu próprio eixo.

Serpentina: Conduto metálico que dá numerosas dobras sobre si mesmo e dentro do qual circula um fluido que opera trocas de calor com o meio ambiente.

Simultaneidade: Que ocorre ou é feito ao mesmo tempo ou quase ao mesmo tempo que outra coisa.

Suprimento reserva: Bateria(s) de cilindros de gás(es) ou tanque(s) criogênico(s) ou compressor(es) de ar para uso imediato e automático em substituição ao suprimento primário e/ou secundário, não destinado(s) a operação normal e não entrando em rodízio com os demais tipos de centrais de suprimento.

Suprimento secundário: Bateria(s) de cilindro(s) de gás(es) ou tanque(s) criogênico(s) ou gerador(es) de vácuo ou compressor(es) de ar para uso imediato e automático em substituição e/ou complementação ao suprimento primário, em sistema de rodízio.

TLV: abreviação de "Threshold Limit Value"- valor limite. Refere-se a condições do ar ambiente com concentrações de substância e representa condições sob as quais acredita-se que a quase totalidade de trabalhadores possa ser repetidamente exposta, dia após dia, sem efeito adverso.

Temperatura crítica: Temperatura acima da qual um gás real não pode ser liquefeito por compressão isotérmica.

Temporizador: Circuito que tem a função de ligar e desligar outro circuito num instante de tempo prefixado.

Terapêutica: Parte da medicina que estuda e põe em prática os meios adequados para aliviar ou curar os doentes.

Termostato: Dispositivo destinado a manter constante a temperatura dum sistema.

Vacuostato: Dispositivo destinado a manter constante a pressão negativa dum sistema.

Vapor: Gás em temperatura inferior à crítica.

Vazão: Volume dum fluido que, numa unidade de tempo, se escoar através de uma determinada seção

transversal de um conduto ou curso de água.

Viscosidade: Resistência que todo fluido real oferece ao movimento relativo de qualquer de suas partes, atrito interno de um fluido

Volátil: Que pode ser reduzido a gás ou vapor.

ANEXOS

ANEXO 1

TABELAS DE CONVERSÃO DE UNIDADES DE PRESSÃO E VAZÃO

TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES DE PRESSÃO

dyn/cm ²	Pa	lbf/ft ²	mbar	mmHg	InH ₂ O	mH ₂ O	InHg	lbf/in ²	kgf/cm ²	bar	atm
1	0,1000	2,089 x10 ⁻³	1 x10 ⁻³	7,501 x10 ⁻⁴	4,015 x10 ⁻⁴	1,020 x10 ⁻⁵	2,953 x10 ⁻⁵	1,450 x10 ⁻⁵	1,020 x10 ⁻⁶	1 x10 ⁻⁶	9,869 x10 ⁻⁷
10	1	0,02089	0,0111	7,501 x10 ⁻³	4,015 x10 ⁻³	1,020 x10 ⁻⁴	2,953 x10 ⁻⁴	1,450 x10 ⁻⁴	1,020 x10 ⁻⁵	1 x10 ⁻⁵	9,869 x10 ⁻⁶
478,8	47,88	1	0,4788	0,3591	0,1922	4,882 x10 ⁻³	0,01414	6,944 x10 ⁻³	4,882 x10 ⁻⁴	4,788 x10 ⁻⁴	4,726 x10 ⁻⁴
1000	100	2,089	1	0,07501	0,4015	0,0102	0,02953	0,01450	1,020 x10 ⁻³	1 x10 ⁻³	9,869 x10 ⁻⁴
4333	133,3	2,785	1,333	1	0,5352	0,0136	0,03937	0,01934	1,360 x10 ⁻³	1,333 x10 ⁻³	1,316 x10 ⁻³
2491	249,1	5,202	2,491	1,868	1	0,0254	0,07356	0,03613	2,540 x10 ⁻³	2,491 x10 ⁻³	2,458 x10 ⁻³
9,806 x10 ⁴	9806	204,8	98,06	73,57	39,37	1	2,896	1,423	0,100	0,0981	0,0968
3,386 x10 ⁴	3386	70,73	33,86	25,40	13,60	0,3453	1	0,4912	0,03453	0,03386	0,03342
6,895 x10 ⁴	6895	144	68,95	51,71	27,68	0,7031	2,036	1	0,07031	0,06895	0,06805
9,807 x10 ⁵	9,807 x10 ⁴	2048	980,7	735,6	393,7	10	28,96	14,22	1	0,9807	0,9678
1 x10 ⁶	1 x10 ⁴	2089	1000	750,0	401,5	10,20	29,53	14,50	1,020	1	0,9869
1,013 x10 ⁶	1,013 x10 ⁵	2116	1013	760,0	406,8	10,33	29,92	14,70	1,033	1,013	1

TABELA DE CONVERSÃO DE UNIDADES DE VAZÃO

litros/h	ml/s	US gal/h	m ³ /d	l/min	US gal/min	m ³ /h	ft ³ /min	l/s	ft ³ /s	10 ⁶ gal/d	m ³ /s
1	2778	0,2642	0,024	0,01667	4,404 x10 ⁻³	1 x10 ⁻³	5,886 x10 ⁻⁴	2,778 x10 ⁻⁴	9,810 x10 ⁻⁴	5,279 x10 ⁻⁶	2,778 x10 ⁻⁷
3,6	1	0,9507	0,0864	0,06	0,01585	3,6 x10 ⁻³	2,119 x10 ⁻³	1 x10 ⁻³	3,532 x10 ⁻⁵	1,901 x10 ⁻⁵	1 x10 ⁻⁶
3,785	1,051	1	0,0908	0,06308	0,01667	3,785 x10 ⁻³	2,228 x10 ⁻³	1,051 x10 ⁻³	3,713 x10 ⁻⁵	2,0 x10 ⁻⁵	1,051 x10 ⁻⁶
41,67	11,57	11,01	1	0,6944	0,1835	0,04167	0,02452	0,01157	4,087 x10 ⁻⁴	2,220 x10 ⁻⁴	1,057 x10 ⁻⁵
60	16,67	15,85	1,44	1	0,2642	0,06	0,3531	0,01667	5,886 x10 ⁻⁴	3,168 x10 ⁻⁴	1,667 x10 ⁻⁵
2271	63,09	60	5,451	3,785	1	0,2271	0,1337	0,06309	2,228 x10 ⁻³	1,199 x10 ⁻³	6,309 x10 ⁻⁵
1000	277,8	264,2	24	16,67	4404	1	0,5886	0,2778	9,810 x10 ⁻³	5,279 x10 ⁻³	2,776 x10 ⁻⁴
1699	471,9	448,6	40,78	28,31	7,479	1,699	1	0,4719	0,01667	8,969 x10 ⁻³	4,719 x10 ⁻⁴
3600	1000	951,1	86,4	60	15,85	3,6	2,119	1	0,03531	0,01901	1 x10 ⁻³
1,019 x10 ⁵	2,832 x10 ⁴	2,692 x10 ⁴	2446	1699	448,9	101,9	60	28,32	1	0,5382	0,02832
1,894 x10 ⁵	5,261 x10 ⁴	5,004 x10 ⁴	4546	3157	834,1	189,4	111,5	52,61	1,858	1	0,05261
3,6 x10 ⁶	1 x10 ⁸	9,511 x10 ⁵	8,64 x10 ⁴	6 x10 ⁴	1,585 x10 ⁴	3600	2119	1000	353,1	19,01	1

ANEXO 2

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS GASES

OXIGÊNIO

1. Identificação

Produto: OXIGÊNIO

Nome Químico: OXIGÊNIO

Sinônimos: Não aplicável

Fórmula: O₂

Peso Molecular: 32

Nome Comercial: Oxigênio

2. Dados Físicos

Ponto de Ebulição, 760mmHg: -182,96°C (-29,4° F)

Ponto de Congelamento: -218,4°C (-361,1° F)

Densidade (água=1): 1,326 kg/m³

Massa específica: 1,326 kg/m³

Densidade do vapor (ar=1): 1,105

Solubilidade em água (% em peso): 0,0491

Percentagem de matéria volátil em volume: 100

Aparência e odor: Gás incolor e inodoro a pressão e temperatura normais.

NITROGÊNIO

1. Identificação

Produto: NITROGÊNIO

Nome Químico: NITROGÊNIO

Sinônimos: Não aplicável

Fórmula: N₂

Peso Molecular: 28,01

Nome Comercial: Nitrogênio

2. Dados Físicos

Ponto de Ebulição, 760mmHg: -195,8°C (-320,4° F)

Ponto de Congelamento: -209,9°C (-345,8° F)

Massa específica: 1,153 kg/m³

Densidade do vapor (ar=1): 0,967

Solubilidade em água (% em peso): 0,023

Percentagem de matéria volátil em volume: 100

Aparência e odor: Gás incolor e inodoro a pressão e temperatura normais; sem gosto.

ÓXIDO NITROSO

1. Identificação

Produto: ÓXIDO NITROSO

Nome Químico: ÓXIDO NITROSO

Sinônimos: Monóxido Dinitrogênio, Óxido de Nitrogênio, Anidrido Ácido Hiponitroso, Gás Hilariante, Protóxido de Azoto

Grupo Químico: Anidrido ácido

Fórmula: N₂O

Peso Molecular: 44,0128

Nome Comercial: Óxido Nitroso

2. Dados Físicos

Ponto de Ebulição, 760 mmHg: -88,5°C

Ponto de Congelamento: -90,8°C

Massa específica: 1,8337 kg/m³

Densidade do vapor (ar=1): 1,5297 @21.1 °C

Solubilidade em água, % em peso: 1,3

Percentagem de matéria volátil em volume: 100

Coefficiente de Evaporação (Acetato de Butila=1): Não aplicável

Aparência e odor: Gás incolor a pressão e temperatura normais; odor levemente doce.

AR MEDICINAL

1. Identificação

Produto: AR

Nome Químico: AR

Sinônimos: Ar sintético, Ar reconstituído, Ar comprimido, Ar medicinal

Grupo Químico: Não aplicável

Fórmula: Mistura de N₂ e O₂

Peso Molecular: 28,975

Nome Comercial: Ar Medicinal

2. Dados Físicos

Ponto de Ebulição, 760 mmHg: -194,3°C

Ponto de Congelamento: -216,2°C

Massa específica: 1,2003 kg/m³

Densidade do vapor (ar=1): 1,00

Solubilidade em água, % em peso: 0,0292 a 0°C

Percentagem de matéria volátil em volume: 100

Coefficiente de Evaporação (Acetato de Butila=1): Alto

Aparência e odor: Gás incolor a pressão e temperatura normais; inodoro e insípido.

ANEXO 3

**PORTARIA 1884/1994 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE - NORMAS PARA PROJETOS
FÍSICOS DE ESTABELECIMENTOS ASSISTENCIAIS DE SAÚDE
INSTALAÇÕES FLUÍDO-MECÂNICAS**

7.3. INSTALAÇÕES FLUÍDO-MECÂNICAS (F)

Todos EAS ficam condicionados à norma da ABNT Sistemas centralizados de gases medicinais e vácuo em estabelecimento de saúde, além desta norma.

7.3.1. Vapor (FV)

A aquisição, instalação e utilização de caldeiras têm de atender às normas da ABNT – NB 55/75 e NB 284/76.

• CONSUMO

O consumo total é calculado com base nos consumos de todos os equipamentos e das pressões de serviço.

As unidades funcionais que possuem equipamentos que demandam vapor são a cozinha, lactário e nutrição enteral, central de material esterilizado e lavanderia.

7.3.2. Gás combustível (FG)

• SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

São dois os sistemas de abastecimento:

- . gás encanado ou gás de rua; e
- . gás liquefeito de petróleo (GLP).

O primeiro existe em algumas cidades ou áreas de cidades de grande porte e é geralmente atendido por concessionária. O segundo é abastecido por cilindros localizados no interior do EAS.

Dependendo do consumo, os cilindros são descentralizados ou centralizados. Quando o consumo for superior a 1kg/h, adota-se o sistema centralizado em cilindros transportáveis e, quando for superior a 30kg/h, adota-se o sistema centralizado em cilindros estacionários. O dimensionamento da central é função do consumo e da regularidade do abastecimento.

• CONSUMO

O consumo total é calculado com base nos consumos parciais das diversas unidades e ambientes:

7.3.3. Oxigênio Medicinal (FO)

• SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

São três os sistemas de abastecimento:

- . cilindros transportáveis;
- . centrais de reservação; e
- . centrais de produção de oxigênio.

O primeiro é usado no caso de baixo consumo, e o abastecimento é descentralizado em pequenos cilindros transportáveis até os pontos de utilização.

O segundo sistema é centralizado e utilizado no caso de maior consumo. Nesse caso, o oxigênio é conduzido por tubulação da central de oxigênio até os pontos de utilização. São dois os tipos de centrais:

. *Centrais de suprimento com cilindros* - contêm oxigênio no estado gasoso mantido em alta pressão. Devem ter duas baterias de cilindros que alternadamente fornecem o gás à rede de distribuição sem interrupção. A capacidade da central deve ser dimensionada de acordo com o fator de utilização previsto e a frequência do fornecimento. Tem de ser no mínimo igual ao consumo normal de dois dias, a não ser nos casos de fornecimento mais freqüente ou mais dilatado. O ambiente onde está instalada a central não pode ter ligação direta com locais de uso ou armazenagem de agentes inflamáveis, nem pode ser usado como depósito para agentes anestésicos inflamáveis. Tem de estar protegido de incineradores, caldeiras e outras fontes de calor, de tal forma que não haja possibilidade dos cilindros e demais equipamentos da central atingirem uma temperatura acima de 54°C. Da mesma forma deve ficar afastado de transformadores, contactores, chaves elétricas e linhas abertas de condutores de energia elétrica, além de depósitos de inflamáveis.

. *Centrais de suprimento com tanque criogênico* - contêm o oxigênio no estado líquido e que é convertido para o estado gasoso através de um sistema vaporizador; esse tipo de instalação tem uma central de cilindros como reserva para atender a possíveis emergências, com um mínimo de dois cilindros, e ambos dimensionados de acordo com o fator de utilização proposto e a frequência do fornecimento. O tanque tem de estar localizado acima do solo, ao ar livre ou em um abrigo à prova de incêndio, protegido das linhas de transmissão de energia elétrica, receptores e tubulações de líquidos e gases inflamáveis. Quando ao ar livre, tem de ficar a uma distância mínima de 22,0 m em uma direção e 11,0 m na outra, formando entre si um ângulo de aproximadamente 90°, de qualquer construção até as paredes que confinam o tanque (não incluindo estrutura corta-fogo que tenha resistência mínima ao fogo de 2 horas e menor que 3,5 m de altura). Além disso, devem ser obedecidas as distâncias mínimas indicadas na tabela a seguir:

TABELA - DISTÂNCIAS MÍNIMAS

Edifício com estrutura de madeira	15,0 m
Edifício com estrutura diferente de madeira	0,5 m
Abertura de parede de estrutura adjacente (este procedimento deve ser adotado apenas para reguladores de pressão, dispositivos de vapor de alívio de pressão, vaporizadores, tubulações e interligações)	3,0 m
Lugares públicos, tais como largos, praças, lazer etc	15,0 m
Calçadas ou estabelecimentos	3,0 m
Limite da propriedade vizinha	1,5 m

Essas distâncias não se aplicam onde houver estrutura contra-fogo com resistência mínima ao fogo de 2 horas, que interrompam a "linha de visada" entre componentes sem isolamento da instalação criogênica e adjacências. Em tais casos, a instalação criogênica deve ter uma distância mínima de 0,5 m (ou maior se for necessário para a manutenção do sistema) da estrutura de proteção.

O terceiro sistema é constituído de máquinas acionadas por energia elétrica que obtêm o oxigênio medicinal a partir do ar atmosférico através de peneiras moleculares. O sistema é empregado em situações de alto consumo e necessita de um outro tipo de sistema como reserva. A central de suprimento deve ser obrigatoriamente localizada acima do solo, ao ar livre, ou em um edifício à prova de incêndio ou em construção de material não combustível, adequadamente ventilado e usado exclusivamente para esse fim. O local selecionado deve ser tal que a central não possa estar sob ou exposta a quedas de cabos de linhas de transmissão de energia elétrica, tubulações contendo qualquer classe de líquido inflamável ou combustível, ou tubulações contendo gases inflamáveis. Finalmente deve ser colocada em uma base apropriada de tal maneira que permita fácil acesso de equipamentos de suprimento e de pessoas.

CONSUMO

O consumo total é calculado com base nos consumos parciais das diversas unidades e ambientes do EAS, sendo:

Sala de inalação do ambulatório – um ponto quando canalizado, ou portátil.

Unidade de Internação Geral – um ponto para cada dois leitos e um ponto por leito isolado.

Unidade de Internação Geral de Recém-nascido – um ponto para cada quatro berços e um ponto por incubadora.

Unidade de Internação Intensiva – um ponto por incubadora/berço ou leito.

Centro Cirúrgico – um ponto por sala de cirurgia e um ponto por incubadora/berço ou leito na sala de indução anestésica e na sala de recuperação pós anestesia.

Centro Obstétrico – dois pontos (um para o anestesista e outro para o RN) em cada sala de parto e sala de cirurgia e um ponto por leito na sala de indução anestésica e na sala de recuperação pós-anestésica.

7.3.4. Ar Comprimido (FA) (1)

• SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

São dois os sistemas, independentes, de ar comprimido no EAS:

. Ar comprimido medicinal - utilizado para fins terapêuticos. Deve ser isento de óleo e de água, desodorizado em filtros especiais e gerado por compressor com selo de água, de membrana ou de pistão com lubrificação a seco.

. Ar comprimido industrial - utilizado para limpeza e acionamento de equipamentos. É gerado por compressor convencional.

Ambos os sistemas, em função do consumo, podem ser atendidos de forma descentralizada, através de equipamentos colocados junto ao ponto de utilização, ou de forma centralizada, através de equipamento central.

Ar comprimido medicinal : a central de suprimento deve conter no mínimo, um compressor e um suprimento reserva com:

- a) outro(s) compressor(es), preferencialmente idêntico(s); ou
- b) cilindros.

No caso de central com suprimento reserva de compressor(es), cada compressor deve ter capacidade de 100% do consumo máximo provável com possibilidade de funcionar automaticamente ou manualmente, de forma alternada ou em paralelo, em caso de emergência. Pressupõe, portanto, a existência de suprimento de energia elétrica de emergência. No caso de central de suprimento reserva de cilindros, têm de ser instalados, no mínimo, dois cilindros, e seu dimensionamento é função do consumo e frequência do fornecimento.

A sucção dos compressores de ar medicinal tem de ser localizada do lado de fora da edificação, captando ar atmosférico livre de qualquer contaminação proveniente de sistemas de exaustão, tais como fornos, motores de combustão, descargas de vácuo hospitalar, removimento de entulhos / lixo, etc.

- a) o ponto de captação de ar tem de ser localizado a uma distância mínima de 3,00m de qualquer porta, janela, entrada de edificação ou outro ponto de captação;
- b) o ponto de captação de ar tem de, também, ser localizado a uma distância mínima de 16,00m de qualquer exaustão de ventilação, descarga de bomba de vácuo ou "vent" sanitário, mantendo ainda uma distância de 6,00m acima do solo;
- c) a extremidade do local de entrada de ar tem de ser protegida por tela e voltada para baixo;
- d) caso haja disponibilidade de ar com qualidade igual ou melhor do que a do ar atmosférico externo (ar já filtrado para uso em sistemas de ventilação de centros cirúrgicos, por exemplo), esta fonte alternativa pode ser utilizada pelos compressores de ar medicinal.

CONSUMO

O consumo total é calculado com base nos consumos parciais das diversas unidades e ambientes dos EAS, sendo:

Ar Comprimido Medicinal

Sala de inalação do ambulatório – um ponto.

Unidade de internação geral – um ponto para cada dois leitos e um ponto por leito isolado.

Unidade de Internação geral de recém-nascido – um ponto para cada quatro berços e um ponto por incubadora.

Unidade de internação intensiva – um ponto por incubadora/berço ou leito.

Centro Cirúrgico e Centro Obstétrico – um ponto em cada sala de cirurgia e um ponto por incubadora/berço ou leito na sala de indução anestésica e na sala de recuperação pós-anestésica.

A quantidade do ar comprimido medicinal armazenado deve ser dimensionada de acordo com o consumo previsto.

7.3.5. Vácuo (FV)

• SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

São dois os sistemas independentes de vácuo no EAS:

- . *Vácuo clínico* - utilizado para fins terapêuticos, deve ser do tipo seco, isto é, o material é coletado junto do paciente.
- . *Vácuo de limpeza* - utilizado para fins não terapêuticos.

Ambos os sistemas, em função do consumo, podem ser atendidos de forma descentralizada, através de equipamentos colocados junto ao ponto de utilização, ou de forma centralizada, através de equipamento central.

No que se refere ao vácuo clínico, o sistema central tem de ser operado por, no mínimo, duas bombas, preferencialmente idênticas. Cada bomba tem de ter capacidade de 100% do consumo máximo provável, com possibilidade de funcionar alternadamente ou em paralelo em caso de emergência. Pressupõe, portanto, a existência de suprimento de energia elétrica de emergência. Caso contrário, deve ser previsto no centro cirúrgico e na unidade de internação intensiva qualquer tipo de sistema de suprimento autônomo de emergência.

Um reservatório de vácuo deve ser previsto em todos os sistemas de vácuo hospitalar, a fim de que as bombas não tenham de operar continuamente sob baixa demanda.

As instalações de vácuo destinadas às unidades para doenças infecto-contagiosas e/ou laboratórios de patologia clínica têm de ter suas ramificações independentes da instalação central. Para aspiração cirúrgica somente pode ser utilizado o sistema de vácuo clínico com coleta do produto aspirado em recipiente junto ao ponto de utilização.

CONSUMO

O consumo total é calculado com base nos consumos parciais das diversas unidades e ambientes do EAS, sendo:

Vácuo Clínico

Unidade de internação geral – um ponto para cada dois leitos e um ponto por leito isolado.

Unidade de Internação geral de recém-nascido – um ponto para cada quatro berços e um ponto por incubadora.

Unidade de internação intensiva – um ponto por incubadora/berço ou leito.

Centro Cirúrgico – um ponto em cada sala de cirurgia e um ponto por incubadora/berço ou leito na sala de indução anestésica e na sala de recuperação pós-anestésica.

Centro Obstétrico – um ponto em cada sala de parto, sala de cirurgia, sala de indução anestésica e sala de recuperação pós-anestésica.

O consumo dos pontos de utilização nas Unidades de Internação Geral, Central de Material Esterilizado é de 1,5 m³/hora, e nas Unidades de Internação Intensiva, Atendimento Imediato, Centro Cirúrgico e Centro Obstétrico é de 3,5 m³/hora.

Vácuo de Limpeza

Sala de necropsia da Anatomia Patológica

Oficinas de Manutenção

O consumo dos pontos de utilização é de 1,5 m³/hora.

7.3.6. Óxido nitroso (FN)

• SISTEMAS DE ABASTECIMENTO

O sistema de abastecimento pode ser centralizado ou descentralizado. O primeiro é utilizado no caso de alto consumo onde o óxido nitroso é conduzido por tubulação, dos cilindros da central até os pontos de utilização. O segundo é utilizado no caso de baixo consumo e o abastecimento é descentralizado em cilindros transportáveis até os pontos de utilização.

CONSUMO

Os pontos de consumo são basicamente o Centro Cirúrgico, o Centro Obstétrico e a Unidade de Radiologia. Deve ser previsto o consumo de 15 l/minuto por ponto.

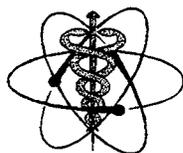
.....

ANEXO 4

**EXEMPLO DE UM PROJETO DE UM SISTEMA CENTRALIZADO DE OXIGÊNIO,
ÓXIDO NITROSO E AR MEDICINAL**

ANEXO 5

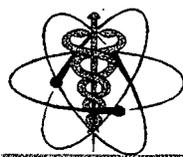
EXEMPLOS DE FORMULÁRIOS DE PESQUISA


IEB-UFSC

 Universidade Federal de Santa Catarina
 Departamento de Engenharia Elétrica

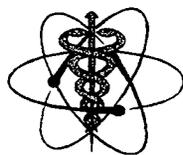
Instituto de Engenharia Biomédica

Nome do hospital:			Data:		
Indique as categorias/especialidades em que a EAS se enquadra					
Hospital Geral		Hospital Infantil	Maternidade	Cardiologia	Pneumologia
Hospital Universitário		Hospital Privado	Hospital Público	Oncologia	
Tipo de suprimento:					
Empresa fornecedora:					
Consumo efetivo médio:					
Número de leitos:		Número salas cirúrgicas:		Número de pontos:	
É realizada manutenção preventiva na central de suprimento com cilindros? <input type="radio"/> Sim <input type="radio"/> Não					
A manutenção, preventiva ou corretiva da central de suprimento é realizada por: <input type="radio"/> empresa fornecedora <input type="radio"/> equipe do hospital <input type="radio"/> terceiros <input type="radio"/> assistência técnica					
Componentes principais do sistema:					
Considerações gerais:					
Central de suprimento com cilindros					
a	A central possui duas baterias de cilindros, suprimento primário e secundário.				O Sim O Não
b	O acionamento do suprimento secundário é automático, fornecendo o gás sem interrupção.				O Sim O Não
c	A capacidade da central garante o suprimento para 2 dias.				O Sim O Não
d	Os cilindros estão adequadamente fixados.				O Sim O Não
e	Os cilindros estocados estão com os capacetes de proteção das válvulas.				O Sim O Não
f	Os cilindros estocados estão identificados como cheios e vazios.				O Sim O Não
g	A central está localizada a no mínimo 3 metros de transformadores e condutores sem isolamento.				O Sim O Não
h	Há um aviso indicando que é proibido fumar.				O Sim O Não
i	Todas conexões elétricas dentro das centrais estão localizadas em posições fixas.				O Sim O Não
j	A bateria de cilindros está conectada a uma válvula reguladora de pressão capaz de reduzir a pressão de estocagem para uma pressão inferior a 8 kgf/cm ² , e capaz de manter a vazão máxima do sistema centralizado, de forma contínua.				O Sim O Não
k	Próximo à válvula reguladora de pressão há um manômetro a montante, indicando a pressão de cada bateria de cilindros, e um outro a jusante, indicando a pressão na rede.				O Sim O Não
l	Há uma válvula de bloqueio, a ser operada manualmente, entre o bloco central e cada bateria de cilindros, e uma outra válvula de bloqueio imediatamente após cada válvula reguladora de pressão.				O Sim O Não
m	Há uma válvula de alívio de pressão imediatamente após a válvula reguladora de pressão e antes da válvula de bloqueio.				O Sim O Não
n	Há um alarme operacional sonoro e visual que indique quando a rede deixa de receber de um suprimento primário de gás e passa a receber de um suprimento secundário.				O Sim O Não

**IEB-UFSC**
 Universidade Federal de Santa Catarina
 Departamento de Engenharia Elétrica
Instituto de Engenharia Biomédica

Nome do hospital:				Data:		
Indique as categorias/especialidades em que a EAS se enquadra						
Hospital Geral		Hospital Infantil		Maternidade	Cardiologia	Pneumologia
Hospital Universitário		Hospital Privado		Hospital Público	Oncologia	
Tipo de suprimento:						
Empresa fornecedora:						
Consumo efetivo médio:						
Número de leitos:		Número salas cirúrgicas:		Número de pontos:		
É realizada manutenção preventiva na central de suprimento com concentrador? O Sim O Não						
A manutenção, preventiva ou corretiva da central de suprimento é realizada por: O empresa fornecedora O equipe do hospital O terceiros O assistência técnica						
Componentes principais do sistema:						
Considerações gerais:						
Central de suprimento com concentrador						
a	Os médicos e usuários sabem que o oxigênio proveniente deste sistema é uma mistura com teor de oxigênio igual ou superior a 90%.				O Sim O Não	
b	Os postos de utilização localizados em UTI, berçário, CC e CO estão identificados com o dizer O ₂ 93.				O Sim O Não	
c	A central fornece ar comprimido medicinal para o hospital.				O Sim O Não	
d	A central possui no mínimo: compressor de ar; concentrador de oxigênio, tanque-pulmão de oxigênio; suprimento auxiliar, suprimento de emergência; sistema de controle, análise e medidor de vazão.				O Sim O Não	
e	A central de suprimento é capaz de automaticamente ativar o suprimento auxiliar ou de emergência.				O Sim O Não	
f	O suprimento de emergência quando acionado emite um alarme operacional.				O Sim O Não	
g	O volume do suprimento auxiliar com o tanque-pulmão supre o consumo por pelo menos 72 horas.				O Sim O Não	
h	O suprimento auxiliar pode ser recarregado sem interrupção de seu fornecimento e sem a utilização do suprimento de emergência.				O Sim O Não	
i	O suprimento de emergência é capaz de suprir o consumo de pico por pelo menos 36 horas.				O Sim O Não	
j	É utilizado o sistema de anestesia em circuito aberto.				O Sim O Não	
k	Os aparelhos de anestesia são providos de oxímetros de linha				O Sim O Não	
l	Periodicamente é efetuado uma análise qualitativa e quantitativa da composição dos gases				O Sim O Não	
m	A localização da sucção do compressor evita contaminantes perigosos em potencial.				O Sim O Não	
n	Existem filtros que assegurem o grau de pureza do gás.				O Sim O Não	
o	Este compressor está instalado externamente a prédios ou recintos fechados, distantes de locais de circulação de pessoas.				O Sim O Não	

p	Os diversos componentes do concentrador são intertravados e incluem dois analisadores de oxigênio em operação contínua.	O Sim O Não
q	A amostragem é feita entre a saída do concentrador e as válvulas de isolamento	O Sim O Não
r	Os analisadores são aferidos no período máximo de uma semana.	O Sim O Não
s	O concentrador possui chaves de alarme de pureza que desarmam e isolam o concentrador automaticamente quando a produção atingir nível mínimo de pureza	O Sim O Não
t	O sistema de controle é projetado de modo que a falha em um dos suprimentos (concentrador, auxiliar ou de emergência) não afeta a operação dos outros suprimentos.	O Sim O Não
u	O EAS verifica e registra diariamente o conteúdo dos sistemas auxiliar e de emergência.	O Sim O Não
v	O EAS mantém um procedimento a ser seguido caso seja acionado um alarme da unidade.	O Sim O Não
w	Alarmes operacionais estão posicionados em local de contínua vistoria do pessoal da manutenção	O Sim O Não
x	Os alarmes possuem sinalizadores que indicam que estão energizados e habilitados a operar.	O Sim O Não
y	A base onde está localizada a central de suprimento e a cobertura são de materiais não combustíveis.	O Sim O Não
z	A central está localizada acima do solo, em um abrigo à prova de incêndio, adequadamente ventilado e usado para este fim.	O Sim O Não
A	A central está protegida de possíveis quedas de cabos de linhas de transmissão, tubulações contendo gases e líquidos inflamáveis.	O Sim O Não
B	A empresa responsável pelo projeto forneceu documentação do fabricante de todos os componentes do sistema, garantia, certificado de treinamento do operador, procedimentos de emergência, desenho de instalação e montagem.	O Sim O Não
C	O local onde está a central possui sistemas de segurança, como extintores de incêndio, adesivos de identificação, placas de segurança, hidrante.	O Sim O Não


IEB-UFSC

 Universidade Federal de Santa Catarina
 Departamento de Engenharia Elétrica

Instituto de Engenharia Biomédica

Nome do hospital:				Data:		
Indique as categorias/especialidades em que a EAS se enquadra						
Hospital Geral		Hospital Infantil		Maternidade	Cardiologia	Pneumologia
Hospital Universitário		Hospital Privado		Hospital Público	Oncologia	
Tipo de suprimento:						
Empresa fornecedora:						
Consumo efetivo médio:						
Número de leitos:		Número salas cirúrgicas:		Número de pontos:		
É realizada manutenção preventiva na central de suprimento com compressor? <i>O Sim O Não</i>						
A manutenção, preventiva ou corretiva da central de suprimento é realizada por: <i>O empresa fornecedora O equipe do hospital O terceiros O assistência técnica</i>						
Componentes principais do sistema:						
Considerações gerais:						
Central de suprimento com compressor de ar						
a	O compressor é isento de óleo, sendo do tipo selo de água, membrana ou pistão com lubrificação a seco.				O Sim O Não	
b	Possui suprimento secundário com outro compressor equivalente ou reserva de cilindros.				O Sim O Não	
c	Cada compressor possui capacidade de 100% do consumo máximo.				O Sim O Não	
d	Os compressores estão conectados ao suprimento elétrico de emergência ou o hospital possui suprimento reserva de cilindros.				O Sim O Não	
e	O suprimento reserva de cilindros possui um mínimo de 2 cilindros e o dimensionamento é em função do consumo efetivo médio do hospital.				O Sim O Não	
f	O sistema de compressores possui secador.				O Sim O Não	
g	O secador garante um ponto de orvalho de -40°C , sendo de adsorção ou membrana.				O Sim O Não	
h	O ponto de ar está localizado externamente.				O Sim O Não	
i	O ponto de captação de ar está localizado a 16m da descarga da bomba de vácuo, exaustão de ventilação ou suspiro sanitário.				O Sim O Não	
j	O ponto de captação de ar está localizado a uma distância de 6 m acima do solo.				O Sim O Não	
k	Possui dispositivo automático de forma a evitar o fluxo reverso através dos compressores fora de serviço.				O Sim O Não	
l	Os compressores possuem disjuntores, dispositivos de partida de motor com proteção contra sobrecarga, revezamento manual e automático das unidades e ativação automática de suprimento secundário.				O Sim O Não	
m	O sistema de secagem e filtragem são instalados de maneira a permitir o isolamento de cada conjunto, mantendo a continuidade de operação do sistema na eventualidade de falha de um conjunto em serviço.				O Sim O Não	
n	A central possui alarme sonoro e visual que indique o acionamento do suprimento reserva.				O Sim O Não	

ANEXO 6**EXEMPLOS DE PLANILHAS BASEADAS NO FMECA**

FMECA – Análise de Efeitos, Modos de Falha e Criticalidade

Tipo de sistema: **CENTRAL DE SUPRIMENTO COM TANQUE CRIOGÊNICO** Data: 15/02/2002
 Tipo de suprimento: **Oxigênio** Página: 1/1
 Hospital: **Hospital A**
 Responsável: **Rubia Alves, Sandro Vieira, Luís Glowacki, Joel Dias**

DESCONFORMIDADES VERIFICADAS	CONSEQÜÊNCIAS	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	COMO CORRIGIR?	NPR Número de Prioridade de Risco
Não há alarme operacional indicando o funcionamento do suprimento reserva.	1. Interrupção no fornecimento do oxigênio resultando na morte do paciente.	10	2	1. Instalação de um alarme operacional junto a manutenção. 2. Inspeção diária.	20
O tanque não obedece às distâncias mínimas de 15 m de edifício de madeira e lugares públicos, 3m de calçadas e 1,5 m da propriedade vizinha.	1. O oxigênio é altamente comburente e pode acelerar a combustão. 2. Dificuldade no abastecimento. 3. Manuseio por pessoas não autorizadas.	10 6 10	2 4 2	1. Presença de uma parede contra-fogo isolando a parte inferior do tanque. 2. Instalação em local com acesso restrito.	20 24 20

FMECA – Análise de Efeitos, Modos de Falha e Criticalidade

Tipo de sistema: **CENTRAL DE SUPRIMENTO COM COMPRESSOR DE AR**

Data: 15/02/2002

Tipo de suprimento: **Ar medicinal**

Página: 1/2

Hospital: **Hospital A**

Responsável: **Rubia Alves, Sandro Vieira, Luis Glowacki, Joel Dias**

DESCONFORMIDADES VERIFICADAS	CONSEQÜÊNCIAS	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	COMO CORRIGIR?	NPR Número de Prioridade de Risco
O secador de ar é do tipo refrigeração, não garantindo um ponto de orvalho de -40 °C.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Presença de água no ar medicinal, 2. Danificação de equipamentos e tubulação e proliferação de bactérias. 	<p>9</p> <p>9</p>	<p>6</p> <p>3</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Controle rigoroso na troca dos filtros. 2. Presença de purgadores automáticos ou inspeção diária para remoção da água dos filtros e reservatórios. 3. Instalação de um secador do tipo adsorção. 	<p>54</p> <p>27</p>
O ponto de captação está localizado internamente.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Captação de um ar saturado, realizado em um ambiente sem ventilação e extremamente quente, levando a ineficiência do compressor e sistema de filtragem. 	7	10	<ol style="list-style-type: none"> 1. O ponto de captação do ar deve ser localizado externamente, a 6 metros do solo. 2. O recinto da central deve ser possuir muita ventilação. 	70

FMECA – Análise de Efeitos, Modos de Falha e Criticalidade

Tipo de sistema: **CENTRAL DE SUPRIMENTO COM COMPRESSOR DE AR**

Data: 15/02/2002

Tipo de suprimento: Ar medicinal

Página: 2/2

Hospital: Hospital A

Responsável: Rubia Alves, Sandro Vieira, Luis Glowacki, Joel Dias

<p>O ponto de captação está localizado no mesmo ambiente do sistema de vácuo</p>	<p>1. Contaminação do ar medicinal com agentes patogênicos.</p>	<p>9</p>	<p>8</p>	<p>1. A central deve ser localizada, no mínimo, a 16 m do sistema de vácuo. 2. Utilização de filtros bactericidas.</p>	<p>72</p>
<p>O ponto de captação não está localizado a 6 m do solo.</p>	<p>1. Contaminação do ar com partículas e poeira.</p>	<p>8</p>	<p>6</p>	<p>1. Instalação do ponto de captação a 6 m do solo.</p>	<p>48</p>
<p>O compressor de ar possui lubrificação a óleo.</p>	<p>1. Ar medicinal contaminado com óleo, causando danos ao paciente e equipamentos.</p>	<p>9</p>	<p>4</p>	<p>1. Controle rigoroso na troca dos filtros da central. 2. Captação do ar realizada externamente. 3. Substituição do compressor lubrificado por um isento de óleo ou de anel líquido.</p>	<p>36</p>
<p>Em caso de suprimento reserva com cilindros, não existe alarme operacional que indique o seu funcionamento.</p>	<p>1. Interrupção no fornecimento de ar medicinal.</p>	<p>10</p>	<p>3</p>	<p>1. Instalação de um alarme operacional.</p>	<p>30</p>

FMECA – Análise de Efeitos, Modos de Falha e Criticalidade

Tipo de sistema: SISTEMA DE VÁCUO

Data: 15/02/2002

Tipo de suprimento: Vácuo

Página: 1/1

Hospital: Hospital A

Responsável: Rubia Alves, Sandro Vieira, Luís Glowacki, Joel Dias

DESCONFORMIDADES VERIFICADAS	CONSEQÜÊNCIAS	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	COMO CORRIGIR?	NPR Número de Prioridade de Risco
A central não possui filtros bacteriológicos a montante do reservatório.	1. Contaminação do reservatório, da água de acionamento da bomba e do recinto da central por aerossóis.	8	10	1. Utilizar filtros bacteriológicos ou, ainda, bactericidas. 2. Não utilizar água recirculada para acionamento da bomba. 3. Realizar a limpeza dos reservatórios regularmente.	80
A descarga do ar aspirado é feita internamente, não respeitando a distância de 3m de portas, janelas, abertura do edifício	1. Contaminação do ar ambiente da central.	8	8	1. Utilizar um sistema de desinfecção do ar aspirado, como o ozônio. 2. Localizar o ponto de descarga para o exterior do recinto.	64
Não existe uma placa de aviso colocada junto ao ponto de descarga do ar aspirado.	1. Contato com ar contaminado por pessoas desavisadas.	8	5	1. Instalar uma placa alertando para o risco. 2. Permitir o acesso restrito de pessoas. 3. Treinamento.	40
As bombas não estão conectadas ao suprimento elétrico de emergência.	1. Em caso de falta de energia elétrica, a central de vácuo fica inoperante.	6	4	1. É utilizada a aspiração com oxigênio ou ar medicinal. 2. Conectar, no mínimo, uma bomba ao suprimento elétrico de emergência.	24

FMECA – Análise de Efeitos, Modos de Falha e Criticidade

Tipo de sistema: REDE DE DISTRIBUIÇÃO Data: 15/02/2002

Tipo de suprimento: Óxido Nitroso/Oxigênio/Ar/Vácuo Página: 1/2

Hospital: Hospital A

Responsável: Rubia Alves, Sandro Vieira, Luís Glowacki, Joel Dias

DESCONFORMIDADES VERIFICADAS	CONSEQÜÊNCIAS	SEVERIDADE	OCORRÊNCIA	COMO CORRIGIR?	NPR Número de Prioridade de Risco
As válvulas de seção não estão localizadas em locais acessíveis.	1. Em caso de emergência, dificuldade no fechamento da válvula.	6	3	1. Instalação de válvulas de seção em caixas de seção em locais acessíveis e identificados.	18
	2. Dificuldade na manutenção.	6	4		24
As válvulas de seção não são protegidas e identificadas em caixas de seção.	1. Em caso de emergência, dificuldade no fechamento da válvula.	6	3	1. Instalação de válvulas de seção em caixas de seção em locais acessíveis e identificados.	18
	2. Dificuldade na manutenção.	6	4		24
Há pontos de cruzamento da tubulação.	1. Rompimento da tubulação ocasionando vazamentos.	7	3	1. Evitar o cruzamento da tubulação.	21
A tubulação não está devidamente identificada.	1. Dificuldade de identificação em caso de manutenção	4	4	1. Identificação da tubulação em todos os pontos necessários.	16
	2. Troca da tubulação, podendo resultar na morte do paciente.	10	2		20
Não são todos os ramais da rede de distribuição que possuem válvulas de seção.	1. Dificuldade na manutenção.	8	4	1. Instalação de válvulas de seção em todos os ramais da rede de distribuição em caixas de seção.	32

FMECA – Análise de Efeitos, Modos de Falha e Criticalidade

Tipo de sistema: REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Data: 15/02/2002

Tipo de suprimento: Óxido Nitroso/Oxigênio/Ar/Vácuo

Página:2/2

Hospital: Hospital A

Responsável: Rubia Alves, Sandro Vieira, Luís Glowacki, Joel Dias

Alguns postos de utilização não são rotulados legivelmente.	1. Dificuldade na identificação do gás.	3	1	1. Identificação clara do gás através do símbolo e cor em todos os postos de utilização.	3
CC e UTI não possuem alarmes de emergência.	1. Problemas na rede de distribuição, como queda de pressão são detectados com dificuldade.	4	6	1. Instalação de alarmes de emergência nestes setores. 2. Utilização dos alarmes dos equipamentos de anestesia e suporte respiratório.	24
Os sistemas de alarme não estão conectados a rede elétrica de emergência.	1. Em caso de interrupção no fornecimento de energia elétrica, os alarmes ficam desativados 2. Problemas na rede de distribuição, como queda de pressão são detectados com dificuldade.	4 4	10 6	1. Conexão dos equipamentos a rede elétrica de emergência. 2. Utilização dos alarmes dos equipamentos de anestesia e suporte respiratório.	40 36

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBORNOZ, L.J.C.;2000 **Determinação do ciclo de vida útil de equipamentos eletromédicos**. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; 1977. **Sistemas centralizados de agentes oxidantes de uso medicinal- sistemas de gases não inflamáveis usados a partir de centrais, em hospitais**. NB 254. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; 1986. **Conexões e roscas para válvulas de cilindros para gases comprimidos**. NBR 11725. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; 1990. **Conexões roscadas e de engate rápido para postos de utilização dos sistemas centralizados de gases de uso medicinal sob baixa pressão**. NBR 11906. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; 1996. **Aparelho de anestesia – seção de fluxo contínuo – requisitos de desempenho e segurança**. NBR 13730. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; 1994. **Inspeção em cilindros de aço, sem costura, para gases**. NBR 12274. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; 1994. **Tubos flexíveis para condução de gases medicinais sob baixa pressão**. NBR 13164. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; 1996. **Estabelecimento assistencial de saúde** – Concentrador de oxigênio para uso em sistema centralizado de oxigênio medicinal. NBR 13587. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; 1999. **Cilindros para gases** – Identificação do conteúdo. NBR 12176. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; revisão 2001. **Sistemas centralizados de gases medicinais (oxigênio, ar e óxido nitroso) e vácuo em estabelecimentos assistenciais de saúde**. NBR 12188. Rio de Janeiro.

AULER JÚNIOR, J.O.C.; AMARAL, R.V.G. do; 1995. **Assistência ventilatória mecânica**. São Paulo: Atheneu.

AZEVEDO, R; 2000. **Manual de tratamento de ar comprimido**. Catálogo Eniplan. São Paulo.

BENAIM, S.; CACERES, S.;COMANDO,R. *et al.*;1994. **Mantenimiento de edificios para la salud**. Buenos Aires: JMA.

BESKOW, W.; 2001. **Sistema de informação para o gerenciamento de tecnologia médico-hospitalar: metodologia de desenvolvimento e implementação de protótipo**. Florianópolis. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

BONICI,J.E.;CRUZ,S.R.da;2000. Filtragem e separação de óleo em sistemas de gases comprimidos. In: ENCONTRO DE PRODUTORES E CONSUMIDORES DE GASES INDUSTRIAIS (15.:Set.2000: Campinas, São Paulo).

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE; 1977. **Normas e padrões de construções e instalações de serviços de saúde**. Brasília.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE; 1994. Portaria n. 1884. **Normas para projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde.** Brasília.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE; 1994. **Equipamentos para estabelecimentos assistenciais de saúde – Planejamento e dimensionamento.** Brasília.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE; 1995. **Segurança no ambiente hospitalar.** Brasília.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE; 1997. Consulta pública n. 674. **Normas para projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde.** Brasília.

BRITO, L.F.M. de; BRITO, T.R.M. de; BUZANGA, C.; 1998. **Segurança aplicada às instalações hospitalares.** São Paulo: Senac.

CALIL, S.J.; TEIXEIRA, M.S; 1998. Gerenciamento de manutenção de equipamentos hospitalares. **Saúde & Cidadania**, São Paulo . v. 11

CENTRO DE INFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO DE SANTA CATARINA; CIASC. Relatório equipamentos. Consultado em 2001.

COLLINS, V.J.;1985. **Princípios de anestesiologia.** Rio de Janeiro: Guanabara.

CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA; 1992. Resolução n. 1355 de 14 de agosto de 1992. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília.

DIAMOND L.;1984. Checklist outlined for medical gas installations. In: **Hospitals.** p.95;98.

DUKE,J.;ROSENBEG, S.G.; 1997. **Segredos em anestesiologia –Respostas necessárias ao dia-a-dia: em rounds, na clínica, em exames orais e escritos.** Porto Alegre: Artes Médicas.

ESPERANÇA, C.C.; 1996. **Estudo de metodologias para gerenciamento de ventiladores pulmonares**. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION; 1997. **Transportable gas cylinders** – Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents – Part 1: Metallic materials. EN ISO 11114-1. Europa.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION; 2000. **Transportable gas cylinders** – Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents – Part 2: Non-metallic materials. EN ISO 11114-2. Europa.

FONTES, F.H.; SILVA, G.O.; 1994. Gases Medicinais. In: **Farmacologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. p. 727-731.

GAYNOR, J.S.; 1993. Medical gas delivery systems. In: **Seminars in veterinary medicine and surgery (Small Animal)**, p.53-62.

HOWELL, R.S.; 1980. Piped medical gas and vacuum systems. **Anaesthesia**, p.676-698.

KARMAN, J.; 1994. **Manutenção hospitalar preditiva**. São Paulo: Pini.

LAWLER, P.G.; 1992. NEWMAN, P.T.F. Contamination of piped oxygen supplies. **Anaesthesia**, p.269-270.

LUNN, J.N.; 1980. **Conceitos básicos em anestesiologia**. São Paulo: Organização Andrei.

MACHADO, M.C.L.O. de; 2001. **Oxigenoterapia Domiciliar**. Catálogo White Martins.

MACINTYRE, A.J.; 1996. **Instalações hidráulicas prediais e industriais**. 3 ed. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos.

MCPHERSON, S.P.; 1995. **Respiratory care equipment**. 5. ed. St. Louis Missouri: Mosby-Year Book.

MOLL, J.R.; 1994. Usinas concentradoras de oxigênio: custos x benefícios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ANESTESIOLOGIA (41.:1994:Tijucas, Rio de Janeiro). **Anais**. Rio de Janeiro, 1994.

MOYLE, J.T.B.; DAVEY A.; 2000. **Equipamentos em anestesia de Ward**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed.

NUNES, L.A. de; AVELLAR, C.; 1997. **Qualidade de ar para uso medicinal**. Rio de Janeiro.

OLIVEIRA, E.J.V. **Sistemas de gases medicinais e vácuo**. Disponível em: <http://www.engeclin.com.br/curso_online/edujvogas/> Acesso em: 12 mar. 2002.

PALADY, P. FMEA; 1997. **Análise dos modos de falha e efeitos- Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo: Instituto IMAM.

PETTY, C.; 1987. **The anesthesia machine**. New York: Churchill Livingstone.

ROBINSON, J.S.; 1983. Hospital medical gas installations. **British Journal of Anaesthesia**, v.55, sep.

ROLLINS, J.P.; 1989. **Compressed air and gas handbook**. 5. ed. New Jersey: Prentice Hall.

SAKURADA, E.Y.; 2001. **As técnicas de análise dos modos de falhas e seus efeitos e análise da árvore de falhas no desenvolvimento e na avaliação de**

produtos. Florianópolis. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina.

SANTOS, W. dos.; 1964. **Segurança na instalação e uso do oxigênio.** Hospital de Hoje.

SHAW, S.D.; GRAHAM, I.F.M.; SNOWDON, S.L. 1991. Contamination of piped oxygen supplies. **Anaesthesia**, p.887-888.

SHREVE, N.R.; JÚNIOR, J.A.B.; 1997. **Indústrias de processos químicos.** 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

SILVA, L.C.C da.; 1986. **Compêndio de pneumologia.** Porto Alegre: Pallotti.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ANESTESIOLOGIA. **Parecer consulta sobre o uso do oxímetro de linha em usinas concentradoras de oxigênio.** Disponível em: <<http://www.sba.com.br/informacoes/documentos/CNT/oximetro.htm>> Acesso em: 28 set. 2001.

SPIEGEL, P.;1982. Segurança e anestesia. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v.32, n.4, p. 271-277.

TELLES, P.C.S.; 1994. **Tubulações industriais - Cálculo.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos.

TELLES, P.C.S.; 1997. **Tubulações industriais - Materiais, projeto, montagem.** 9. ed. Rio de Janeiro: LTC- Livros Técnicos e Científicos.

VENDITTO, M.R.G.;1990. Como racionalizar e controlar gases medicinais. In: **Revista Paulista de Hospitais**, p. 31-32.

WHITE MARTINS; 1998. **Hospital Sadio.** Catálogo.

WHITE MARTINS; 1999. **Segurança em gases medicinais para clientes**. 5. ed.
Jun.