



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CLAYTON DA SILVA DUARTE**

**ANÁLISE DE FORNECIMENTO DE AR MEDICINAL POR MEIO DA  
DESTILAÇÃO CRIOGÊNICA EM UMA INSTITUIÇÃO HOSPITALAR**

**FORTALEZA**

**2017**

**CLAYTON DA SILVA DUARTE**

**ANÁLISE DE FORNECIMENTO DE AR MEDICINAL POR MEIO DA  
DESTILAÇÃO CRIOGÊNICA EM UMA INSTITUIÇÃO HOSPITALAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Alexandra de Sousa Rios

**FORTALEZA**

**2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- D871 Duarte, Clayton.  
ANÁLISE DE FORNECIMENTO DE AR MEDICINAL POR MEIO DA DESTILAÇÃO CRIOGÊNICA EM UMA INSTITUIÇÃO HOSPITALAR / Clayton Duarte. – 2017.  
64 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2017.  
Orientação: Profa. Dra. Maria Alexsandra de Sousa Rios.
1. ar medicinal sintético. 2. destilação criogênica. 3. misturador de ar medicinal. I. Título.
- CDD 620.1
-

A minhas filhas Lara Castro Duarte e Clara  
Castro Duarte.

Aos meus pais, minha irmã e minha esposa.

## AGRADECIMENTO

Agradecer a todos que contribuíram para a conclusão deste trabalho nessas poucas linhas seria muito difícil e correria o risco de cometer algum erro de esquecimento visto a minha peculiar longa trajetória como aluno de graduação. Portanto, gostaria desde já agradecer a todos que de forma direta ou indireta são parte de incentivo a elaboração desse trabalho.

Presto minha homenagem:

A Deus, pois sempre haverá força superior a nos reger.

Aos meus pais e irmã.

A minha família constituída por minhas filhas e esposa.

A todos os colegas engenheiros mecânicos que acabaram tornando-se meus bons amigos, pois na luta é que afloram os bons amigos dos lugares mais inesperados.

“A nossa maior glória não reside no fato de nunca cairmos, mas sim em levantarmo-nos sempre depois de cada queda.” (Oliver Goldsmith)

## RESUMO

Este trabalho buscou demonstrar a vantagem do fornecimento de ar medicinal por meio de destilação criogênica frente ao fornecimento local utilizando compressor de ar para a fabricação, em uma instituição hospitalar. Foram mostradas todas as etapas do fornecimento desde a fabricação dos gases através de destilação criogênica, a forma de entrega mais adequada ao consumidor final de acordo com seu consumo e localização e legislações pertinentes a este fornecimento. Foi realizado um estudo em um equipamento de assistência a saúde (EAS) na região metropolitana de Fortaleza, que devido à necessidade de troca do seu equipamento compressor avaliou a mudança para o fornecimento do ar medicinal sintético advindo da destilação criogênica. Deve-se observar que o fornecimento do ar medicinal através de destilação criogênica apresenta algumas características no fornecimento, pois possui maior pureza e isenção de umidade além de obedecer a rigorosos padrões e normas para fabricação. O ar medicinal sintético apresenta maior pureza, baixa dependência da rede elétrica, baixo investimento financeiro inicial e baixa manutenção requerida. Desta maneira, este modo de fornecimento oferece maior segurança principalmente para o fornecimento ininterrupto em um hospital onde esta confiabilidade é bastante importante. Logo, devido a grande importância de fornecimento do gás medicinal foram estudadas as formas de fornecimento do ar medicinal sintético demonstrando suas características técnicas e de confiabilidade.

**Palavras-chave:** Ar medicinal sintético. Oxigênio Medicinal. Nitrogênio medicinal. Destilação Criogênica. Compressor de Ar medicinal.

## ABSTRACT

This work aimed to demonstrate the advantage of the supply of medical air by means of cryogenic distillation in front of the local supply using air compressor for the manufacture, in a hospital institution. All the steps of the supply from the gas manufacturing through cryogenic distillation, the most suitable form of delivery to the final consumer according to their consumption and location and legislation pertinent to this supply were shown. A study was carried out in a health care equipment (EAS) in the metropolitan region of Fortaleza, which due to the need to exchange its compressor equipment evaluated the change to the supply of synthetic medicinal air from cryogenic distillation. It should be noted that the supply of medical air through cryogenic distillation presents some characteristics in the supply, because it has greater purity and humidity exemption besides obeying the strict standards and standards for manufacture. Synthetic medicinal air presents greater purity, low dependence on the electrical network, low initial financial investment and low maintenance required. In this way, this mode of delivery offers greater safety mainly for the uninterrupted supply in a hospital where this reliability is quite important. Therefore, due to the great importance of the supply of medical gas, the ways of supplying synthetic medical air were studied, demonstrating their technical and reliability characteristics.

**Keywords:** Synthetic medicinal air. Medical Oxygen. Medical Nitrogen. Cryogenic Distillation. Compressor of medicinal air.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Sistema de ar comprimido medicinal.....	17
Figura 02 - Desenho esquemático do sistema de ar comprimido medicinal.....	17
Figura 03 – Configuração convencional de um processo de separação criogênica de ar.....	25
Figura 04 – Pratos de destilação criogênica.....	26
Figura 05 - Esquema da bandeja da coluna de destilação criogênica do ar.....	27
Figura 06 - Típico diagrama de fluxo para planta de separação criogênica do ar.....	28
Figura 07-Esquema dos tipos de fornecimento de gases.....	31
Figura 08-Planta de destilação criogênica, fornecimento on- site.....	31
Figura 09 - Fornecimento em tanques criogênicos.....	32
Figura 10 - Estação de enchimento de gases, modal Packaged .....	32
Figura 11 – Certificado de qualidade de produto.....	34
Figura 12- Caminhão com tanque criogênico da empresa linde gases.....	35
Figura 13- Instalação centralizada medicinal com tanque criogênico.....	36
Figura 14- Enchimento de gases medicinais.....	39
Figura 15- Distâncias a serem mantidas da central.....	43
Figura 16 – Padrão de central criogênica de gases medicinais.....	44
Figura 17 – Princípio de funcionamento Misturador.....	45
Figura 18 – Desenho esquemático do fornecimento de ar medicinal.....	45
Figura 19 – Componentes principais do misturador.....	46
Figura 20 – Instalação padrão de ar medicinal sintético.....	49
Figura 21 – Fluxograma do tanque.....	49
Figura 22 – Circuito de segurança do tanque interno.....	50
Figura 23 – Dispositivo de segurança do tanque externo.....	51
Figura 24 – Circuito de avaliação.....	52
Figura 25 – Esquema de enchimento.....	53
Figura 26 – Circuito de controle – Sistema levantador de pressão (SLP).....	54
Figura 27 – Esquema do circuito de controle – Economizador.....	55
Figura 28 – Saída de líquido e gás.....	57
Figura 29 – Dispositivos de vácuo.....	57
Figura 30 – Painel de controle de pressão.....	58
Figura 31 – Posto de consumo e painel de alarmes para gases medicinais.....	59

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Quadro resumo gases medicinais.....	13
Tabela 2 - Composição do ar atmosférico.....	14
Tabela 3 – Características Ar medicinal comprimido.....	16
Tabela 4 – Características Ar medicinal sintético.....	18
Tabela 5 - Propriedades físico-químicas do oxigênio.....	20
Tabela 6 - Propriedades físico-químicas do nitrogênio.....	23
Tabela 7- Ponto de ebulição dos gases do ar.....	24
Tabela 8- Ponto de ebulição dos gases para diferentes pressões.....	29
Tabela 9-Pureza dos produtos após destilação criogênica do ar.....	29
Tabela 10- Vaporizadores e características de vazão.....	37
Tabela 11- Especificação de cilindros.....	40
Tabela 12-Consumo médio mensal da instituição.....	41
Tabela 13 – Tanques criogênicos.....	48

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
1.1 Objetivo .....	14
2 AR MEDICINAL .....	14
2.1 Ar Medicinal Comprimido .....	15
2.2 Ar Medicinal Sintético.....	18
3 AR MEDICINAL SINTÉTICO COMPOSTOS.....	19
3.1 Oxigênio.....	19
3.1.1 Aplicações na medicina.....	19
3.1.2 Aplicações na natureza.....	20
3.1.3 Aplicações na indústria.....	20
3.2 Nitrogênio.....	21
3.2.1 Aplicações na indústria.....	22
3.2.2 Aplicações na natureza.....	23
4 PROCESSOS DE PRODUÇÃO CRIOGÊNICO.....	24
5 – MODAIS DE FORNECIMENTO DE GASES.....	30
5.1 Líquido .....	33
5.1.1 Caminhão tanque .....	35
5.1.2 Tanque Criogênico Estacionário .....	35
5.1.3 Vaporizadores.....	37
5.2. Packaged .....	38
5.2.1. Recipientes de armazenamento. ....	39
6. Estudo de caso .....	40
6.1 Escolha do fornecimento .....	41
6.2 Central de fornecimento .....	42
6.3 Qualidade do ar medicinal sintético.....	44
6.4 Normas .....	46
6.5 Características do tanque criogênico .....	47
6.5.1 Circuito de segurança .....	50
6.5.2 Circuito de Avaliação Instantânea.....	51
6.5.3 Circuito de enchimento .....	52
6.5.4 Circuito de controle .....	54
6.5.5 Saída de líquido e gás .....	56
6.5.6 – Conexões de Evacuação e isolamento .....	57
6.5.7 – Painel de controle de pressão e postos de consumo. ....	58
7 – CONCLUSÃO .....	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

## 1 INTRODUÇÃO

Os gases medicinais são medicamentos na forma de gás, gás liquefeito ou líquido criogênico, ou ainda a mistura destes medicamentos, destinados a tratar ou prevenir doenças em humanos ou administrados para fins de diagnóstico médico, bem como para: restaurar, corrigir ou modificar funções fisiológicas. Podem ser utilizados em hospitais, clínicas de saúde ou outros locais de interesse à saúde, bem como em tratamentos domiciliares de pacientes. A lista de Gases Medicinais sujeita à Notificação junto a agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA) está disponível na Resolução da diretoria colegiada N°70 (RDC 70), de outubro de 2008.

Segundo resolução da agência nacional de vigilância sanitária (ANVISA), são considerados gases medicinais: o Ar medicinal utilizado em tratamentos médicos que necessitam de uma atmosfera pura e isenta de microorganismos, dióxido de carbono medicinal ( $\text{CO}_2$ ), sinônimo: gás carbônico, utilizado em diversos níveis de pureza para diversas aplicações mas podem ser destacados os usos para injeção de gás em cirurgias de baixa complexidade, cauterizações em dermatologia e ginecologia bem como em laboratórios para análises e pesquisas, Nitrogênio medicinal ( $\text{N}_2$ ), sinônimo: azoto, por ser um gás inerte e utilizado em diversas aplicações de análises clínicas, óxido nitroso medicinal ( $\text{N}_2\text{O}$ ) sinônimo: óxido de nitrogênio, utilizado na combinação com drogas anestésicas para proporcionar um efeito menos invasivo no paciente e diminuição dos efeitos colaterais pós anestesia, óxido nitroso medicinal ( $\text{N}_2\text{O}$ ) 50% + oxigênio medicinal 50%, combinação menos agressiva mas com a mesma finalidade do óxido nitroso puro e o oxigênio medicinal ( $\text{O}_2$ ) utilizado principalmente em anestésias, reanimações cardiorrespiratórias e como terapia profilática ou curativa para diversos tipos de doenças.

Na classificação segundo suas propriedades físicas os gases medicinais podem ser divididos de três formas: a) Comprimidos: está no estado gasoso, sob pressão (cada gás possui sua pressão específica) e à temperatura ambiente (SANTOS, 2005). Exemplos: oxigênio medicinal, ar comprimido medicinal e óxido nítrico medicinal que são armazenados em cilindros; b) Liquefeitos: segundo São Paulo (2011), gás embalado sob pressão, parcialmente líquido (gás sobre um líquido), é muito mais concentrado que o comprimido são eles: óxido nitroso medicinal e dióxido de carbono medicinal que são armazenados em cilindros; c) Criogênicos: segundo São Paulo (2011), está no estado líquido dentro do tanque criogênico (tanque fixo com isolamento térmico para armazenar alguns tipos de gases medicinais) com a temperatura extremamente baixa e sob baixa pressão, como o oxigênio medicinal e nitrogênio

medicinal, e ainda segundo a AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (1995), são largamente utilizados por ocupar menor volume no armazenamento e maior quantidade de produto.

**Tabela 01: Quadro resumo gases medicinais.**

Gás	Características Físico Químicas	Grau de pureza mínimo
Oxigênio Medicinal Liquefeito	Inodoro, Insípido	99,50%
	Não-inflamável	
	Comburente	
	Peso Molecular = 31,9988	
	Produto sem efeito toxicológico	
Ar Comprimido Medicinal	Inodoro, Insípido	99,50%
	Não-inflamável	
	Elementos componentes: 79% N <sub>2</sub> e	
	Peso Molecular = 28,975	
	Produto sem efeito toxicológico	
	Não-inflamável	
Óxido Nitroso	Incolor, Insípido	98,00%
	Não-inflamável	
	Comburente	
	Peso Molecular = 44,0128	
Gás Carbônico Medicinal	Inodoro, Incolor	98,00%
	Não-inflamável	
	Peso Molecular = 44,01	
Nitrogênio Medicinal Não Liquefeito	Incolor, Insípido, Inodoro	98,00%
	Não-inflamável	
	Peso Molecular = 28,01	

Fonte: AIR LIQUIDE, 2017

## 1.1 Objetivo

Apresentar o fornecimento do ar medicinal sintético em um hospital da rede privada na zona urbana da cidade de Fortaleza-CE. Serão apresentadas as especificações dos componentes, a escolha do fornecimento mais adequado para o perfil de consumo do cliente junto ao levantamento das normas brasileiras vigentes.

## 2 AR MEDICINAL

O ar comprimido medicinal possui as mesmas características do ar atmosférico, ou seja, é composto aproximadamente por 79% de nitrogênio, 21 % de oxigênio. É utilizado principalmente em ventilação pulmonar e inalação (visando a diluição das secreções das vias respiratórias) e em tratamentos intensivos, centros cirúrgicos na diluição de anestésicos e até secagem de instrumentos cirúrgicos (BRASIL, 2002; OXIGÊNIO). O fornecimento de ar medicinal é essencial nos hospitais, especialmente no tratamento de doenças respiratórias. Uma maneira eficaz de fornecer tratamento medicamentoso é dirigi-lo diretamente para os pulmões por inalação. Os nebulizadores, equipamentos eletrônicos que utilizam um método de administrar algum tipo de medicamento sob a forma de vapor que então é inalada para os pulmões pelo paciente através de uma máscara ligada ao equipamento, são utilizados para administrar a medicação inalada aos pacientes que não podem usar inaladores convencionais. O ar medicinal pode ser utilizado para conduzir o ar do tratamento até o nebulizador onde o medicamento líquido é convertido num vapor que pode ser inalado diretamente para os pulmões. (LINDE GAS, 2017). Na tabela 2 é mostrada a composição do ar atmosférico com o percentual de composição de cada composto.

**Tabela 2 - Composição do ar atmosférico**

Componente	Símbolo	(%)
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	78,084
Oxigênio	O <sub>2</sub>	20,946
Argônio	Ar	0,934
Hidrogênio	H <sub>2</sub>	0,00005

Neônio	Ne	0,001818
Hélio	He	0,0005239
Criptônio	Kr	0,0001139
Xenônio	Xe	0,0000086
Dióxido de Carbono*	CO <sub>2</sub>	0,02-0,04

Fonte: SHREVE, 1997. \*Variável

O ar medicinal utilizado em humanos, destinado a tratar ou prevenir doenças e para fins de diagnóstico médico (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR12188, 2012), tem diferentes métodos para produção seja através de compressor – ar medicinal comprimido- seja através de mistura dos componentes obtidos em destilação criogênica – ar medicinal sintético.

Neste contexto será apresentado os dois tipos de fornecimento do ar medicinal seja através de compressor ou através dos compostos advindos do processo de destilação criogênica. Será feita avaliação do fornecimento de um modo em relação ao outro juntamente as especificações dos componentes envolvidos e as normas vigentes que regulam o fornecimento.

## 2.1 Ar medicinal comprimido

O ar medicinal comprimido consiste na captação do ar atmosférico através de compressores de ar que elevam a pressão do ar atmosférico até cerca de 7 kgf/cm<sup>2</sup> para fornecimento. No ar captado além dos compostos gasosos existem as compostos sólidos e líquidos cuja intensidade de concentração depende da proximidade com centros urbanos e industriais. Para que o ar comprimido possa ser usado em aplicações medicinais o mesmo precisa passar por tratamentos para retirada de impurezas, este tratamento é feito através de filtros e secadores que objetivam a retirada de compostos sólidos, contaminantes líquidos e odores.

Conforme tabela 3, seguem as exigências mínimas para o fornecimento do ar medicinal comprimido segundo padrões exigidos pela agência nacional de vigilância sanitária-ANVISA e estabelecidos pela associação brasileira de normas técnicas - ABNT

através da norma brasileira aprovada n° 12188 (NBR12188) intitulada como: Sistemas centralizados de suprimento de gases medicinais, de gases para dispositivos médicos e de vácuo para uso em serviços de saúde.

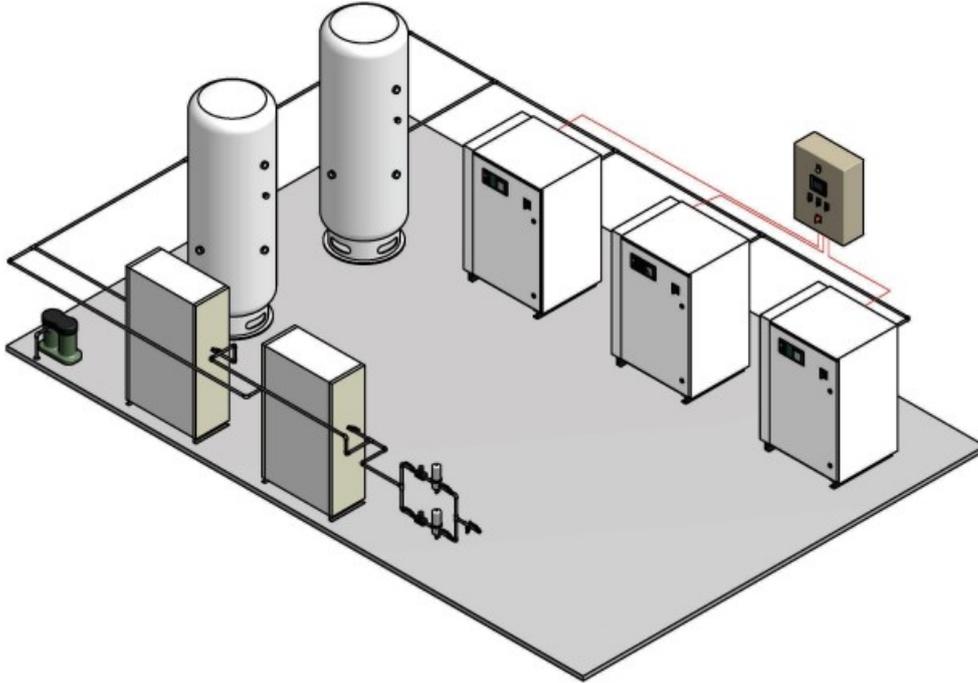
**Tabela 3 – Características Ar medicinal comprimido**

<b>Componente</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Concentração Permitida</b>
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	Balanço
Oxigênio	O <sub>2</sub>	20,4% a 21,4% v/v de oxigênio;
Monóxido de Carbono	CO	500 ppm máx v/v
Dióxido de Enxofre	SO <sub>2</sub>	1 ppm máx. v/v
Dióxido de Nitrogênio	NO <sub>x</sub>	2 ppm máx. v/v
Óleos e partículas sólidas	-	0,1 mg/m <sup>3</sup> máx. v/v
Vapor de água	-	67 ppm máx. v/v (Ponto de orvalho – 45°C, referido à pressão atmosférica)

Fonte: NBR 12188, 2003

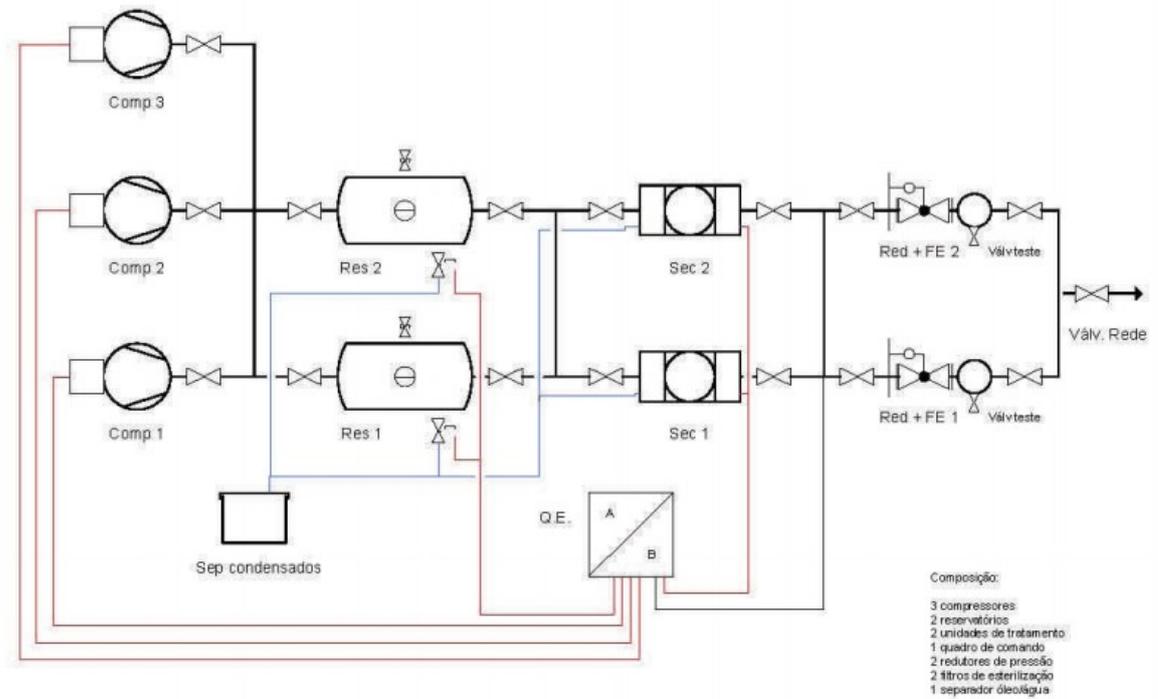
De maneira geral, a configuração de um sistema de fornecimento de ar medicinal comprimido é constituída de compressores, reservatórios, sistema de filtragem do ar, sistema de secagem do ar, analisadores do ar e sistema de controle. O conjunto de todos estes sistemas é denominado central de ar comprimido com sua capacidade de produção sendo estabelecida através do estudo da necessidade de cada local ao qual deverá ser fornecido o produto. Na figura 1 está apresentado um sistema de ar comprimido medicinal e na figura 2 está representado um desenho esquemático do sistema de ar comprimido medicinal comprimido.

**Figura 01 - Sistema de ar comprimido medicinal**



Fonte: Mediar, 2017

**Figura 02 - Desenho esquemático do sistema de ar comprimido medicinal**



**3 compressores + 2 reservatórios + 2 unidades de tratamento + 2 reguladores**

Fonte: Mediar, 2017

## 2.2 Ar medicinal sintético

Obtido através da mistura de oxigênio e nitrogênio, o ar medicinal sintético tem sido amplamente utilizado nas unidades hospitalares. O processo, basicamente, consiste no armazenamento em tanques criogênicos dos produtos oxigênio e nitrogênio, estes são enviados a um equipamento (misturador) que garante a mistura na proporção adequada conforme composição do ar respirável e em seguida é enviado à rede canalizada da unidade hospitalar.

Neste tipo de fornecimento, é obrigatória uma rede secundária de fornecimento como reserva, caso haja algum problema de fornecimento através do misturador. Este armazenamento secundário é feito através de cilindros de alta pressão conectados de forma paralela à rede canalizada do hospital.

Na tabela 4 estão apresentadas as exigências mínimas para o fornecimento do ar medicinal sintético segundo padrões exigidos pela agência nacional de vigilância sanitária-ANVISA e estabelecidos pela associação brasileira de normas técnicas - ABNT através da NBR12188 intitulada como: Sistemas centralizados de suprimento de gases medicinais, de gases para dispositivos médicos e de vácuo para uso em serviços de saúde.

**Tabela 4 – Características Ar medicinal sintético**

Componente	Símbolo	Concentração Permitida
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	Balanço
Oxigênio	O <sub>2</sub>	19,5% a 23,5% v/v de oxigênio
Monóxido de Carbono	CO	5 ppm máx. v/v
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	300 ppm máx. v/v
Dióxido de Enxofre	SO <sub>2</sub>	1 ppm máx. v/v
Dióxido de Nitrogênio	NO <sub>x</sub>	2 ppm máx. v/v
Óleos e partículas sólidas	-	0,1 mg/m <sup>3</sup> máx. v/v
Vapor de água	-	67 ppm máx. v/v

Fonte: NBR 12188,2003

Ver-se-á em detalhes todo o processo do ar medicinal sintético, desde a obtenção dos seus compostos, passando pelo modo de transporte, armazenamento até a entrega ao consumidor final.

### 3. AR MEDICINAL SINTÉTICO – COMPOSTOS

Como já mencionado os principais produtos da composição do ar medicinal na forma estéril são o oxigênio e nitrogênio. Ver-se-á em linhas gerais cada um deles e suas principais características químicas e físicas bem como suas aplicações na área medicinal.

#### 3.1 Oxigênio

Segundo (LINDE GAS, 2017)

*“O oxigênio é um gás incolor, inodoro e insípido. É aproximadamente 1,1 vezes mais pesado que o ar e levemente solúvel em água e álcool. O oxigênio é um líquido de cor azul pálido, ligeiramente mais pesado que a água, quando submetido à pressão atmosférica ou temperaturas inferiores a -183°C. Sozinho o oxigênio não é inflamável, mas ajuda na combustão. É altamente oxidante, reagindo fortemente quando em contato com materiais combustíveis, podendo provocar incêndio ou explosão. O oxigênio forma compostos com todos os gases, exceto com os gases nobres. O oxigênio é o elemento mais comumente encontrado na Terra. Encontra-se em seu estado livre na atmosfera (cerca de 20,94% por volume) ou dissolvido em rios, lagos e oceanos.*

Suas aplicações são das mais diversas em nosso cotidiano e seu uso se faz importante nas áreas médica, industrial e ambiental.

##### 3.1.1 Aplicações na medicina

O oxigênio é vital para a existência da espécie humana, inalado até os pulmões, perfundindo pelo sangue e atingindo as células de todos os seres vivos denominados aeróbios, através do processo de respiração. O oxigênio é componente essencial para manter o metabolismo das células e deve ser fornecido continuamente para os tecidos do corpo. Em determinadas patologias ou condições clínicas, onde há um processo respiratório deficiente ou a necessidade de incrementar a oxigenação dos tecidos, faz-se necessária a administração de oxigênio a concentrações mais elevadas do que 21%. (AIR LIQUIDE, 2017).

Como principais possibilidades de aplicação estão o uso como veículo para outros medicamentos através de inalação, como parte do fluxo de gás em processos anestésicos, tratamentos de patologias tais como cefaléias que são dores de cabeça de alta intensidade, para o tratamento ou prevenção da diminuição de oxigênio no sangue ou tecidos (hipóxia), para tratar a obstrução dos vasos sanguíneos por bolhas de ar na corrente sanguínea (embolia gasosa), para tratamento de intoxicação por monóxido de carbono, para tratamento de feridas e em associação com outros gases conforme orientação médica.

### 3.1.2 Aplicações na natureza

Pode ser utilizado na redução da quantidade de combustível utilizado em processos que envolvem combustão o que diminui a emissão de dióxido de carbono na natureza, também reduz a formação de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), conhecidos como importantes poluentes da natureza. Pode ser utilizado para tratamento de efluentes introduzido de maneira pura como processo desinfectante em resíduos líquidos.

### 3.1.3 Aplicações na indústria

Em indústrias químicas e petroquímicas é utilizado como reagente para melhorar a produtividade de inúmeros processos. Já na metalúrgica e siderúrgica é utilizado no processo de soldagem, para combustão e para o ajuste do teor em carbono em aços. Na indústria de papel e celulose, é utilizado no processo de remoção da lignina da madeira ou de outros materiais celulósicos, deixando um resíduo constituído basicamente de celulose (deslignificação). As cervejeiras também utilizam oxigênio para estimular a fermentação do mosto. Na tabela 5 são apresentadas as propriedades físico-químicas do oxigênio.

**Tabela 5 - Propriedades físico-químicas do oxigênio.**

<b>Propriedades Físicas e Químicas</b>	
<b>- Odor</b>	Inodoro
<b>- pH</b>	Não aplicável
<b>- Ponto de fusão a 1 atm:</b>	-218,4 °C (-361,1 °F)
<b>- Ponto de ebulição a 1 atm:</b>	-183,0 °C (-297,4°F)
<b>- Ponto de fulgor:</b>	Não aplicável
<b>- Taxa de evaporação (Acetato de</b>	Alta

<b>butila = 1):</b>	
Taxa de Expansão:	1 para 860,5
<b>- Limite de inflamabilidade no ar, % em volume</b>	
<b>Inferior:</b>	Não aplicável
<b>Superior:</b>	Não aplicável
<b>- Pressão de vapor a 20 °C (68 °F):</b>	Não aplicável
<b>- Peso Específico do vapor a 21,1°C (70 °F), 1 atm:</b>	1,325 kg/m <sup>3</sup> ou (0,0827 lb/ft <sup>3</sup> )
<b>- Densidade do gás (ar = 1) a 21,1°C (70°F):</b>	1,105
<b>- Densidade do gás (água = 1) no ponto de ebulição:</b>	1,141
<b>- Solubilidade em água vol/vol a 0°C (32 °F):</b>	0,0489 (gás)
<b>- Coeficiente de partição: n-octano/água:</b>	Não aplicável
<b>- Temperatura de auto-ignição:</b>	Não aplicável
<b>- Temperatura de decomposição:</b>	Não aplicável
<b>- Viscosidade:</b>	Não aplicável
<b>- Percentagem de matéria volátil em volume:</b>	100%
<b>- Peso molecular:</b>	31,9988
<b>- Fórmula:</b>	O <sub>2</sub>

Fonte: WHITE MARTINS, 2017.

### 3.2 Nitrogênio

O nitrogênio é um gás incolor, inodoro e insípido. Como primeiro elemento do grupo 15 da tabela periódica, é classificado como um não metal. Ele é o gás mais abundante na atmosfera, onde 78% por volume, são de nitrogênio (N<sub>2</sub>). Foi descoberto em 1772 por Daniel Rutherford, na Escócia sendo isolado em 1785 por Cavendish. Em 1908, Fritz Haber desenvolveu um processo de extração de nitrogênio do ar e a produção de amônia (NH<sub>3</sub>) para ser usada como fertilizante do sol. O nitrogênio obtido pela liquefação e destilação fracionada do ar, é uma fonte ilimitada de matéria prima para a preparação de seus compostos. Ele ocorre em menor quantidade na crosta terrestre em alguns minerais como o nitrato de sódio

( $\text{NaNO}_3$ ), também chamado de "salitre do Chile", é encontrado em reservas expressivas no norte do Chile. É um elemento tão inerte, que Lavoisier o denominou de "Azoto", que significa sem vida. Seus compostos entretanto, são muito relativos como também são parte importante dos alimentos. (WEBELEMENTS,2017).

Devido as suas características o nitrogênio é largamente empregado nas indústrias e na medicina. Sendo um componente pouco reativo e inflamável é utilizado sempre que se deseja uma atmosfera inerte. Popularmente chamado como "5º serviço público" atrás apenas do fornecimento de água, eletricidade, gás e ar comprimido, o nitrogênio é presente em vários segmentos industriais. Na medicina é utilizado tanto na forma gasosa quanto na forma líquida.

### **3.2.1 Aplicações na indústria**

Destacam-se as indústrias química, alimentícia, elétrica e metalúrgica.

Na indústria química, é usado para diluir gases reagentes, para aumentar o rendimento de algumas reações, para diminuir o risco de fogo ou explosão de certas reações ou, ainda, para evitar a oxidação, decomposição ou hidrólise de reagentes ou produtos.

Na indústria alimentícia é frequentemente utilizado para evitar a oxidação de certos desperdícios ou ainda para inibir o desenvolvimento de bolores e insetos.

Na indústria elétrica é usado para evitar oxidações e reações químicas indesejáveis. Pode também ser usada na pressurização do revestimento de cabos elétricos, em lasers e como blindagem de motores.

Na indústria metalúrgica usa-se em grandes quantidades para evitar a oxidação de certos metais ou a carbonização em processos de soldagem.

Usado como gás não-reativo na fabricação de borrachas ou plástico expandidos, encontrando na aplicação em túneis de vento ou como líquido pressurizante em propulsores de reação.

As indústrias de transporte relacionadas com o ramo alimentar usam nitrogênio líquido em sistemas de refrigeração e de congelamento. Por este processo mantém-se a textura original e o sabor natural dos alimentos.

Na indústria eletrônica, usa-se na refrigeração de componentes.

### 3.2.2 Aplicações na medicina

O nitrogênio medicinal pode ser aplicado em equipamentos cirúrgicos, misturas gasosas e, em seu estado líquido (criogênico), em processos de congelamento de amostras, como sangue, medula óssea, órgãos para transplante e outros tipos de material biológico.

Este gás medicinal é comumente utilizado como meio de deslocamento de equipamentos estéreis ou como fonte de pressão para o funcionamento de dispositivos pneumáticos. (AIR LIQUIDE, 2017). Na tabela 6 estão apresentadas a propriedades físico-químicas do nitrogênio.

**Tabela 6 - Propriedades físico-químicas do nitrogênio.**

<b>Propriedades Físicas e Químicas</b>	
<b>- Odor</b>	Inodoro
<b>- pH</b>	Não aplicável
<b>- Ponto de fusão a 10 psig (170 kPa abs):</b>	-210,0 °C
<b>- Ponto de ebulição a fusão a 10 psig (170 kPa abs):</b>	-195,80°C
<b>- Ponto de fulgor:</b>	Não aplicável
<b>- Taxa de evaporação (Acetato de butila = 1):</b>	Alta
<b>Taxa de Expansão p/líquido no ponto de ebulição do gás a 21,1 °C:</b>	1 para 696,5
<b>- Limite de inflamabilidade no ar, % em volume</b>	
<b>Inferior:</b>	Não aplicável
<b>Superior:</b>	Não aplicável
<b>- Pressão de vapor a 20 °C (68 °F):</b>	Não aplicável
<b>- Peso Específico do vapor a 21,1°C (70 °F), 1 atm:</b>	1,160 kg/m <sup>3</sup> (0,0724 lb/ft <sup>3</sup> )
<b>- Densidade do gás (ar = 1) a 21,1°C (70°F):</b>	

- Densidade do gás (água = 1) no ponto de ebulição:	0,967
- Solubilidade em água vol/vol a 0°C (32 °F):	0,023
- Coeficiente de partição: n-octano/água:	Não disponível
- Temperatura de auto-ignição:	Não aplicável
- Temperatura de decomposição:	Não aplicável
- Viscosidade:	Não aplicável
- Percentagem de matéria volátil em volume:	100%
- Peso molecular:	28,01
- Fórmula:	N <sub>2</sub>

Fonte: WHITE MARTINS, 2017.

#### 4. PROCESSO DE PRODUÇÃO CRIOGÊNICO

A criogenia - (prefixo “crio” provém do grego “kruos” que significa extremamente frio) estuda tecnologias para a produção de temperaturas muito baixas (abaixo de -150°C, de -238°F ou de 123 K) e o comportamento dos elementos e materiais nessas temperaturas.

Além das escalas de temperatura comuns, como Fahrenheit, Celsius e Kelvin, os criogenistas usam outras escalas de temperatura, como a de Rankine.

Na obtenção dos compostos oxigênio e nitrogênio utilizam-se o processo chamado de destilação fracionada criogênica que consiste em linhas gerais na liquefação do ar para separação dos produtos através dos pontos de ebulição de cada componente.

Na tabela 7 estão apresentadas as temperaturas de ebulição dos gases O<sub>2</sub>, Ar, N<sub>2</sub>:

**Tabela 7- Ponto de ebulição dos gases do ar.**

Componente do ar ponto de ebulição*	
Oxigênio	(- 183 °C)
Argônio	(- 186 °C)
Nitrogênio	(- 196 °C)

Fonte: Lino, 2010. \* Pressão atmosférica

Como o ar atmosférico é uma mistura de vários gases o processo de separação inicia-se com a captação deste ar, sua limpeza e resfriamento em  $-200^{\circ}\text{C}$ , a partir de então se inicia o processo de separação dos principais componentes do ar atmosférico seco: oxigênio, nitrogênio e argônio.

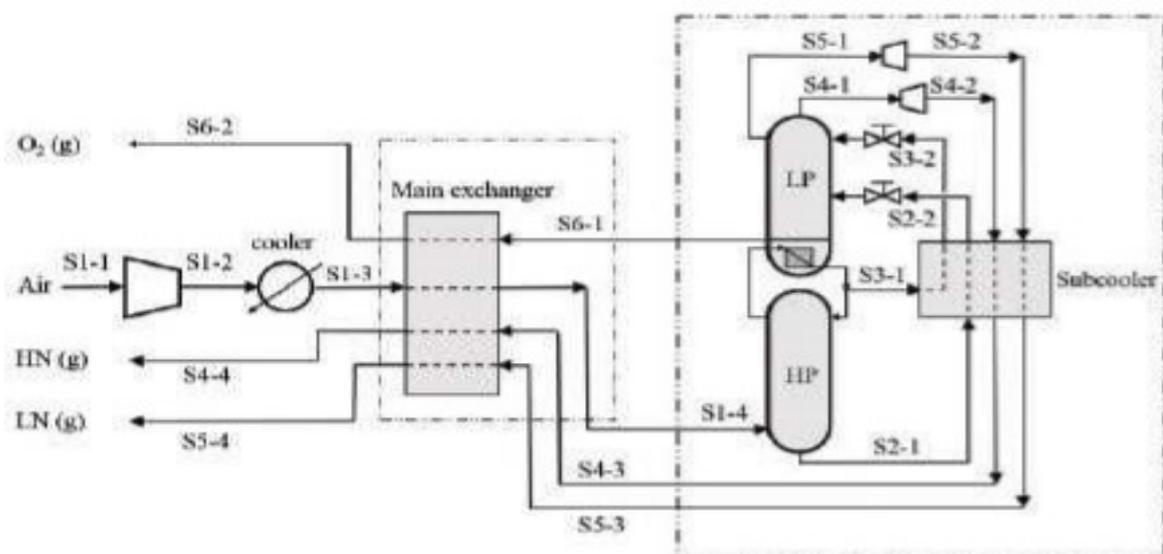
O método permite obter os três produtos, mas, o ar seco é constituído ainda por dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), ozônio ( $\text{O}_3$ ) e outros gases nobres: Neônio (Ne), Hélio (He), Criptônio (Kr), Xenônio (Xe), Radônio (Rn).

Este método é o mais frequentemente usado, devido ao seu alto grau de eficiência e relação custo-benefício de tecnologia aplicada para produção em larga escala de oxigênio, nitrogênio e argônio nas fases líquida e gasosa. Uma unidade de separação de ar (ASU) usa, convencionalmente, duas colunas de destilação criogênica para produção de oxigênio, com alto grau de pureza, a partir de ar comprimido (SMITH; KLOSEK, 2001).

No processo de separação criogênica do ar, é comumente usada uma coluna de alta pressão e uma de baixa pressão. Para reduzir o consumo de energia da planta, usa-se o condensador da coluna de alta pressão acoplado ao refeedor da coluna de baixa pressão. Apesar do consumo de energia poder ser reduzido apenas com a troca de calor latente da condensação de nitrogênio na coluna de alta pressão com a vaporização de oxigênio na coluna de baixa pressão, é requerida uma grande quantidade de energia a partir da diferença de pressão dessas duas colunas (QIAN ET AL., 2014).

Na Figura 3, pode ser visto o típico esquema convencional para este método de separação com o uso das duas colunas de destilação

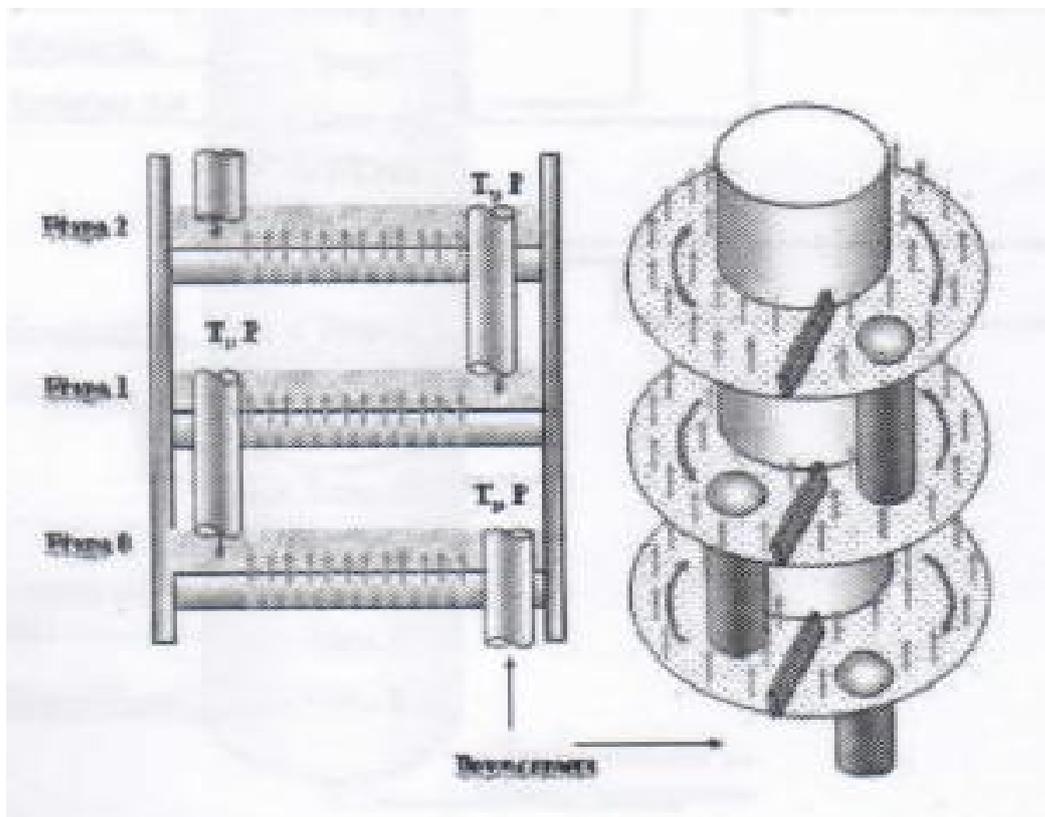
**Figura 03 – Configuração convencional de um processo de separação criogênica de ar**



Uma coluna de destilação criogênica do ar possui diversos pratos, conforme mostra a Figura 4. Esses pratos possuem orifícios para que o vapor possa subir e dispositivos chamados de “downcomers” para que o líquido possa descer. (WHITE MARTINS, 2013)

Após as etapas de liquefação, filtração e purificação do ar – os elementos são separados por diferenças de volatilidade, assim, o nitrogênio, por ser o componente mais volátil migrará para o topo da coluna, em estado gasoso, e o oxigênio, como é menos volátil, permanecerá no fundo da coluna, no estado líquido. Como se pode prever, cada prato ou cada etapa da coluna terá uma composição determinada e, por causa disto, uma pressão e temperatura diferentes (WHITE MARTINS, 2013).

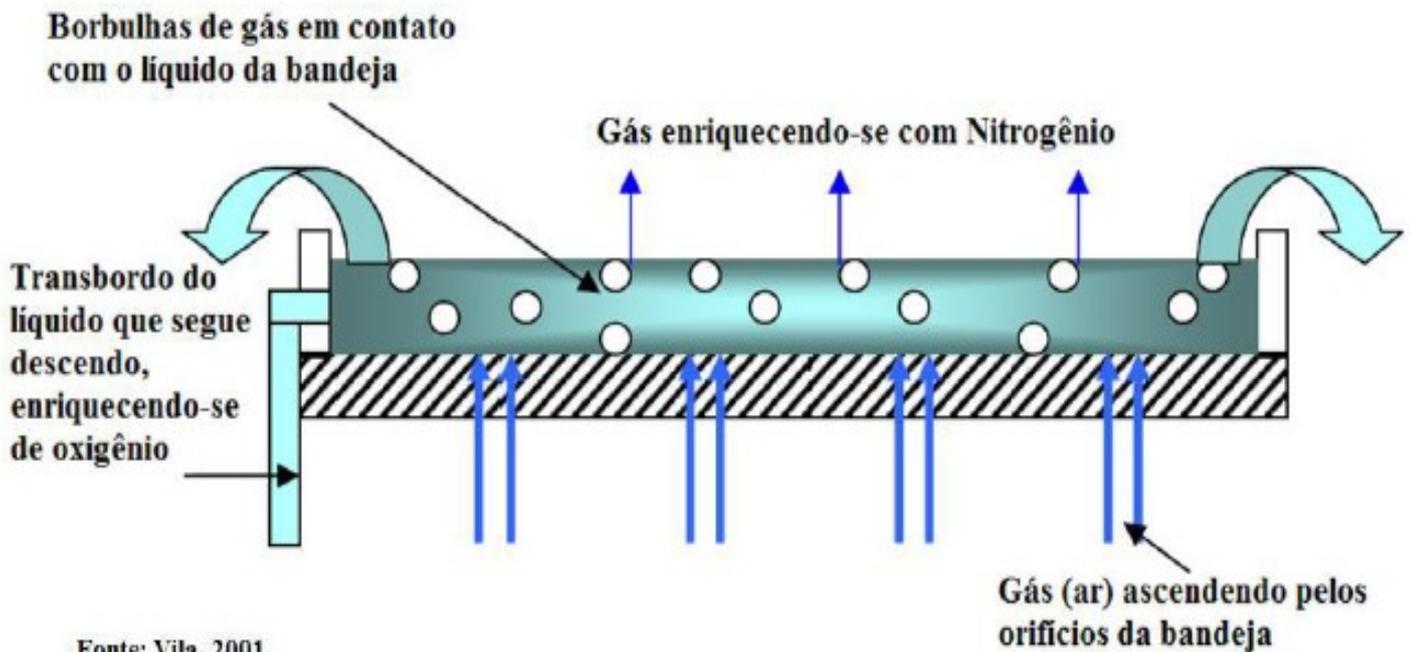
**Figura 04 – Pratos de destilação criogênica**



Fonte: WHITE MARTINS, 2013

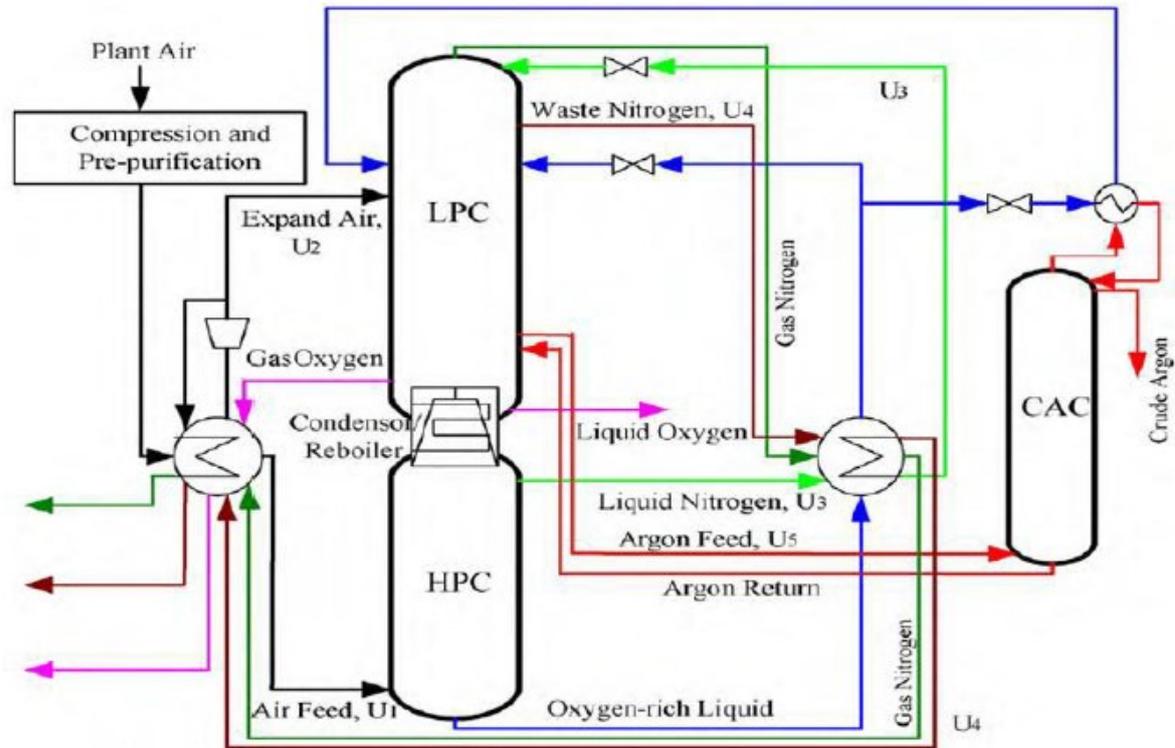
Assim, por ter o menor ponto de ebulição, o  $N_2$  só se obtém nas partes superiores das colunas de destilação criogênica do ar, onde se condensa por ação de pressão e temperatura. Na Figura 5 está apresentado um esquema do prato da coluna de destilação criogênica do ar. Nota-se que à medida que o gás vai subindo vai ficando mais rico com  $N_2$  (menor ponto de ebulição), enquanto que o líquido que vai descendo fica mais rico em  $O_2$  (maior ponto de ebulição) (DALPIAZ, 2010).

Figura 05 - Esquema da bandeja da coluna de destilação criogênica do ar.



A destilação criogênica envolve algumas fases: compressão do ar, remoção de gás carbônico, água e hidrocarbonetos com peneiras moleculares, resfriamento seguido de liquefação do ar e destilação para a separação de oxigênio, nitrogênio e argônio (Castle, 2002). A Figura 6 mostra um esquema simplificado de uma planta modelo de destilação criogênica do ar (Zhu *et al*, 2010). O modelo da Figura 6 possui três colunas de destilação: coluna de destilação de baixa pressão (LPC), coluna de destilação de alta pressão (HPC) e coluna de argônio cru (CAC), todas dentro de uma grande caixa, chamada de “Cold Box” (Caixa Fria). Por se tratar de temperaturas muito negativas a “Cold Box” necessita de materiais que possuem resistência e flexibilidade a essas temperaturas e além da “Cold Box”, as colunas de destilação necessitam de paredes duplas para diminuir a troca de calor com o ambiente externo, sendo que entre elas há o material isolante, chamado de perlita, sob vácuo. (DALPIAZ, 2010).

Figura 06 - Típico diagrama de fluxo para planta de separação criogênica do ar.



Fonte: Zhu Et AL,2010

Segundo Zhu *et al* (2010, tradução nossa), “este é um sistema altamente integrado que pode ser muito difícil projetar e operar”.

Inicialmente, o fluxo de alimentação do ar é primeiro filtrado (tirar poeiras, areia e demais materiais suspensos no ar), comprimido e pré-purificado para remover as impurezas primárias, como água, dióxido de carbono e hidrocarbonetos (geralmente através de peneira molecular). Depois desse processo o ar, limpo e seco, vai para a “Cold Box”, local onde ficam as colunas de destilação e os trocadores de calor. Após ser resfriado por um trocador de calor, uma parcela do fluxo de alimentação de ar (U2) é introduzida na coluna de destilação à baixa pressão (LPC), enquanto que a alimentação restante (U1) entra no fundo da coluna de destilação de alta pressão (HPC). (DALPIAZ, 2010).

Uma corrente de vapor lateral (U5) é retirada da LPC e é alimentado no CAC para destilação. O líquido do fundo do CAC é devolvido ao LPC no local de retirada do fluxo de vapor. No fundo do HPC sai um líquido rico em oxigênio que passa através de um trocador de calor e é dividido em duas correntes, onde uma parte deste fluxo de líquido entrará no LPC para mais destilação, e o restante do líquido é usado como fonte fria para a condensação de

produto argônio no topo da CAC antes de entrar na LPC como o fluxo de alimentação. A vazão de refluxo da LPC – nitrogênio líquido - é retirada da parte superior do HPC, região de mais alta pressão, e passa através do mesmo trocador de calor que o líquido rico em oxigênio descrito anteriormente (DALPIAZ, 2010).

Entre as duas colunas de destilação (LPC e HPC) há um trocador de calor denominado: condensador – refeedor , que tem uma importante função no processo: o oxigênio da LPC é vaporizado, enquanto o nitrogênio vapor proveniente HPC é condensado. O nitrogênio líquido é assim usado como refluxo na coluna superior, o que é necessário para que ocorra a destilação (DALPIAZ, 2010).

Para que a liquefação do nitrogênio se torne possível sua pressão é elevada(HPC) e com isso sua temperatura fica mais distante da temperatura de ebulição do oxigênio permitindo a troca térmica para a condensação do nitrogênio e vaporização do oxigênio, na Tabela 8 está indicada a variação de temperatura de ebulição dos gases de acordo com sua pressão.

**Tabela 8- Ponto de ebulição dos gases para diferentes pressões.**

<b>Temperatura de ebulição em °C</b>			
	1 bar	1,55 bar (Coluna Superior)	6,2 bar (Coluna Inferior)
Oxigênio	-183	-178,6	-162,3
Argônio	-185,9	-181,6	-164,4
Nitrogênio	-195,8	-191,9	-176,4

Fonte: White Martins (2013).

O produto oxigênio vapor é retirado do condensador - refeedor e o produto oxigênio líquido é retirado do fundo do LPC. O produto nitrogênio líquido é retirado da parte superior do HPC (após passar pelo condensador - refeedor), enquanto o produto nitrogênio gasoso é retirado do topo da LPC. O produto argônio bruto é retirado do topo da CAC e, caso seja necessária maior pureza, pode ir para uma unidade de purificação que, combinando oxigênio com hidrogênio, forma água facilmente eliminável. (DALPIAZ, 2010).

A Tabela 9 apresenta as purezas obtidas após a destilação ocorrida em uma planta criogênica para separação de gases do ar.

**Tabela 9-Pureza dos produtos após destilação criogênica do ar.**

<b>Produto pureza %(vol/vol)</b>	
Oxigênio líquido refrigerado	99,5
Nitrogênio líquido refrigerado	99,998
Argônio líquido refrigerado	99,998

Fonte: White Martins (2016).

## 5. MODAIS DE FORNECIMENTO DE GASES

Após o resultado da produção dos gases na forma líquida estes serão armazenados em tanques com capacidade estimada de acordo com a capacidade de produção da planta e o ritmo de escoamento dos produtos. Estes tanques de estocagem consistem cada um em 2 unidades, uma externa e outra interna com o preenchimento de isolante térmico (perlita) entre eles. Nas plantas criogênicas, estes tanques possuem baixa pressão e seu isolante térmico é mantido sob vácuo para melhoria no processo para isolamento térmico.

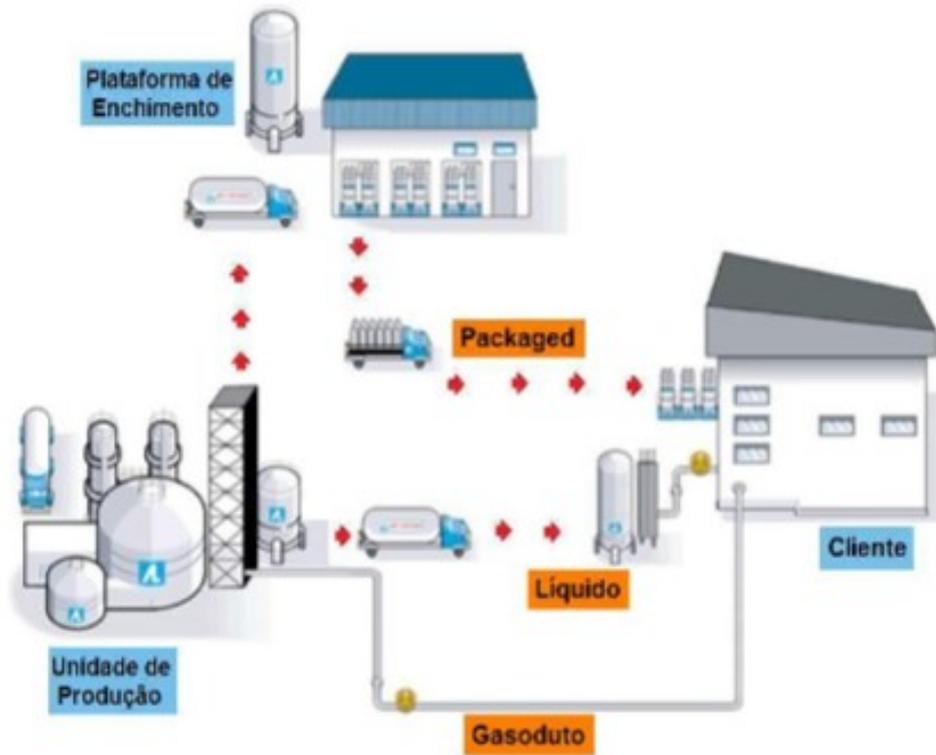
Para a escolha do melhor modal de fornecimento dois fatores principais são levados em consideração: logística e demanda de consumo. A logística trata da distância do consumidor em relação a planta criogênica que irá fornecer os gases e a facilidade de acesso seja por rodovia, hidrovias ou ferrovias. A demanda de consumo trata do volume de gás do cliente a necessidade de um backup de emergência.

Existem basicamente três modalidades de fornecimento desde a produção até o consumidor final conforme descritos a seguir:

- Líquido: Um tanque criogênico é previamente instalado no cliente de acordo com seu estudo de consumo. O produto é levado para fornecimento em caminhões especiais, caminhões tanque. Este modelo se aplica a cliente de médio a grande porte.
- Packaged: Do inglês “empacotado”, esta modalidade consiste no fornecimento dos mais diversos produtos na forma gasosa em recipientes de aço (cilindros) de baixa e alta pressão. O envasamento destes produtos é feito em uma estação de enchimento do fabricante. Funciona com uma base logística que possui tanques criogênicos para receber os produtos na forma líquida e envasá-los para posterior entrega ao consumidor final. Este modal atende cliente de pequeno e médio porte. Os produtos em cilindros também atendem como backup para os tanques criogênicos em cliente de médio e grande porte.
- Gasoduto (on-site): Clientes com elevado consumo e que possuem o fornecimento direto a sua planta através de tubulações. A planta de fornecimento pode está próxima a este cliente para fornecimento ou pode ser construída propositalmente dentro de sua unidade onde uma parte produzida é consumida direto pelo cliente é a outra parte é estocada para o fornecimento a médios e pequenos clientes.

Na figura 07 está apresentada uma visão esquemática dos modais de fornecimento citados e nas figuras 08,09 e 10 estão apresentados um modelo de planta de destilação criogênica para fornecimento on- site, um modelo para fornecimento de produto em tanques criogênicos e um exemplo de estação de enchimento de cilindros, respectivamente.

**Figura 07-Esquema dos tipos de fornecimento de gases**



Fonte: Air liquide , 2010

**Figura 08-Planta de destilação criogênica, fornecimento on- site**



Fonte: Air liquide , 2017

**Figura 09 - Fornecimento em tanques criogênicos**



Fonte: Foran , 2017

**Figura 10 - Estação de enchimento de gases, modal Packaged**



Fonte: linde gás, 2017

## 5.1 Líquido

Adotado para clientes intermediários em que não se justifica um gasoduto pelos altos custos e o fornecimento em cilindros demandaria uma grande quantidade de unidade, tornando a entrega mais complexa, elevando o custo além do risco na manipulação.

O produto na forma líquida expande-se em torno de 700 a 850 vezes de volume quando transformado para a fase gasosa, dependendo do gás. O transporte e armazenamento do produto líquido, na maioria dos casos, ocorrem por razões econômicas, em função da maior quantidade de produto que estará disponível em um menor volume quando o mesmo está liquefeito e devido às técnicas onde se utilizam as baixas temperaturas como congelamento de alimentos, inseminação artificial, entre outros (DALPIAZ, 2010).

A entrega dos produtos na forma líquida é definida através da área de logística que fornece a lista de todos os clientes a serem abastecidos e a quantidade a ser fornecida em cada um deles. No caso de fornecimento de produtos medicinais a legislação vigente estabelece alguns critérios para garantir a rastreabilidade, segurança e qualidade no fornecimento. O produto a ser fornecido na forma líquida deve ser acompanhado de um certificado de qualidade do produto com o protocolo de análise do lote do produto com assinatura de profissional legalmente habilitado e a data da análise. O certificado acompanha todo o processo de transporte dos gases medicinais e fica a disposição das autoridades sanitárias para efeito de fiscalização (RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA N°69, 2008).

De acordo com a RDC N°69, este certificado deverá ser entregue em cada cliente e nele deverá constar:

- O nome do produto;
- O número do lote;
- Uma identificação de referência para o tanque (ou caminhão-tanque) no qual o lote é entregue;
- A data e hora da operação de enchimento do tanque / caminhão-tanque;
- O nome da pessoa responsável pela operação de enchimento do tanque;
- Referência à especificação do gás;

- Os resultados dos testes de controle de qualidade e, se o equipamento analítico necessitar de calibração antes da realização de cada teste, a especificação do gás de referência e os registros da calibração;
- Detalhes de quaisquer problemas ou eventos não usuais e autorização assinada para qualquer desvio das instruções de enchimento;
- Data e assinatura do supervisor responsável, indicando que as informações acima foram revisadas e aprovadas;

A seguir serão apresentadas as principais características de cada componente básico do sistema de fornecimento líquido. O tanque criogênico estacionário, o vaporizador e o caminhão-tanque.

A figura 11 mostra um exemplo do certificado de qualidade.

**Figura 11 – Certificado de qualidade de produto**

CERTIFICADO DE QUALIDADE DE PRODUTO			
<b>Produto</b>		 8060214128020	
Oxigênio Líquido Medicinal Fórmula Química: O <sub>2</sub> Forma Farmacéutica: Gás Liquefeito altamente refrigerado Lote: 8060214128020 Data de fabricação: 08/05/2014 Data de validade: 08/05/2017 Número do veículo: 647			
<b>Fabricação</b>			
Usina Cabo Rod. BR 101, Km 32, Lote B-33 Cabo, PE 54515-070 - Brasil CEP: 54515-070 CNPJ: 24380578/0022-03			
<b>Análise final</b>			
Descrição	Unidade	Análise	Especificação
Odor		Inodoro	
Pureza	% (v/v)	99,8	99,50000 mín - 100,00000 máx
<b>Informações técnicas</b>			
<b>Via de administração:</b> Somente em sua forma gasosa, por via inalatória, através de ventilação mecânica e/ou de anestesia ou através de máscaras específicas, cateteres e nebulizadores, sempre sob orientação médica especializada.			
<b>Condições de armazenamento:</b> Gás oxidante liquefeito e altamente refrigerado, armazenado em recipientes criogênicos especiais, móveis ou estacionários, equipados com dispositivos de alívio e controle de pressão. A armazenagem só pode ser realizada em ambientes com ventilação adequada, nunca confinados. Mantenha os recipientes criogênicos longe de óleos, graxas e quaisquer materiais inflamáveis a, no mínimo, 7 metros de distância ou use uma barreira de material não combustível (corta fogo). Para maiores informações ou detalhes consulte o fabricante.			
<b>Condições de manuseio:</b> O produto está, em condições normais, confinado em recipientes criogênicos e tubulações metálicas fechadas. Nunca encoste qualquer parte do corpo em tubos ou válvulas que contenham oxigênio líquido, sob risco de queimaduras e ferimentos graves. Não arraste, role ou deixe cair recipientes criogênicos móveis. Para maiores informações e detalhes, contate o fabricante.			
Uso sob prescrição médica. Produto exclusivamente de uso medicinal.			
<b>Emissão</b>			
Nome: Givanilson Freitas Data: 08/05/2014			

### 5.1.1 Caminhões Tanque

São caminhões com tanques criogênicos horizontais projetados para o transporte de Oxigênio, Nitrogênio e Argônio líquidos em pressões, de 8 a 22 bar, compostos por um tanque interno de aço inoxidável com um sistema especial de suportes e montado dentro de um tanque externo de aço carbono e isolados termicamente entre os tanques por meio de perlita criogênica sob alto vácuo.

Os equipamentos dispõem de serpentinas de aumento de pressão em alumínio extrudado instaladas sob a cabine traseira e sobre os pára-lamas que permitem manter a pressão do tanque durante a descarga. Para retirada do produto é utilizada uma bomba criogênica. Existem diversos modelos de caminhões de acordo com a capacidade a ser transportada.

A Figura 12 mostra um caminhão da fornecedora de gases linde gases.

**Figura 12- Caminhão com tanque criogênico da empresa linde gases**



Fonte: Linde gases (2017).

### 5.1.2 Tanque Criogênico Estacionário

Consiste basicamente em dois tanques o interno em aço inoxidável e o externo em aço carbono, possuindo um isolante térmico entre os dois. Estes dispositivos são especialmente projetados para acondicionar fluidos em temperaturas criogênicas que vão de -150 a - 273°C.

Os recipientes têm a capacidade de reduzir a um mínimo aceitável o processo de transferência de calor do ambiente para o líquido criogênico armazenado. Esta transferência

de calor faz com que o líquido criogênico, face ao seu baixo ponto de ebulição, vaporize rapidamente, aumentando em conseqüência a pressão no interior do vaso. Este vapor, se não for liberado para atmosfera, o que acarreta desperdício, fará com que a pressão no tanque venha a provocar o seu rompimento.

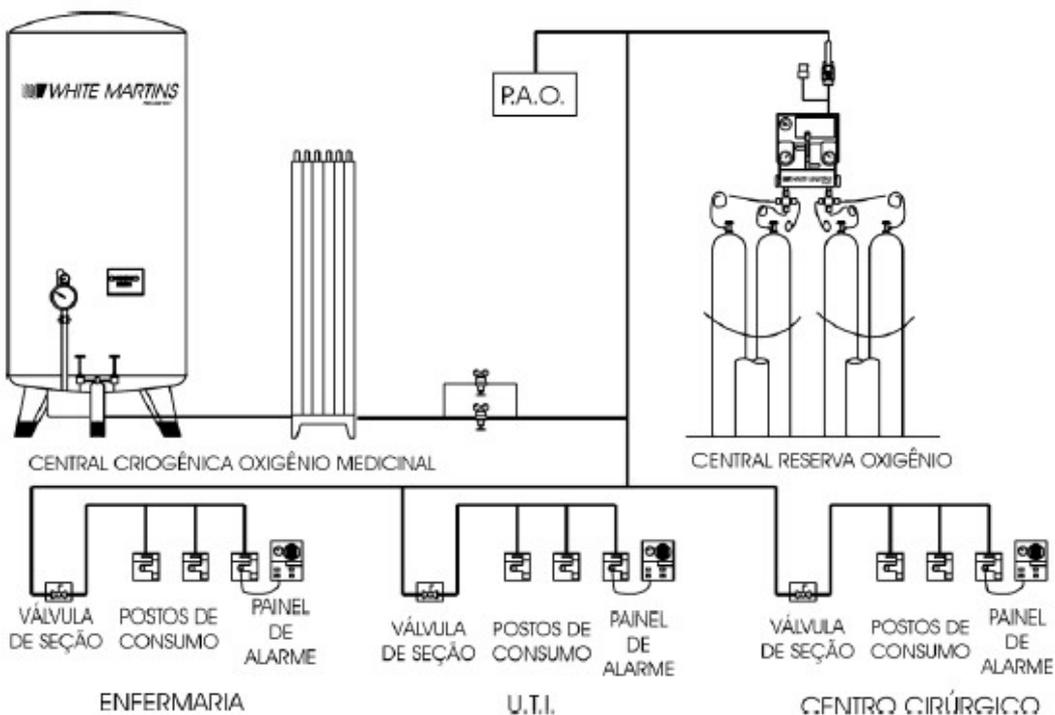
O sistema de isolamento é formado por uma câmara entre os tanques interno e externo, na qual se produz vácuo e é preenchido com perlita. O vácuo elimina a transmissão de calor por convecção e aperlita em pó, que é um minério vulcânico expandido, praticamente elimina a transmissão de calor por radiação.

A fixação do tanque interno ao tanque externo é feita mediante suportes especiais, projetados de modo a impedir a transferência de calor por condução entre os mesmos. Esses suportes devem ser fabricados com material de baixa condutividade térmica e com pequena seção transversal, pelas razões expostas (DALPIAZ, 2010).

No caso do fornecimento em unidades de saúde a NBR 12188 obriga que haja uma fonte de suprimento reserva que não entrará em rodízio com as fontes de fornecimento normal e não é destinada a operação normal. Este tipo de fonte se faz necessária caso haja alguma problema de fornecimento na fonte primária ou na necessidade de manutenção da mesma.

Na Figura 13 está apresentado um esquema de Instalação centralizada medicinal junto a um tanque criogênico.

**Figura 13- Instalação centralizada medicinal com tanque criogênico**



Fonte: White Martins (2014)

### 5.1.3 Vaporizadores

Utilizados para auxiliar na vaporização dos compostos que saem na forma líquida do tanque estacionário. São basicamente tubos de aço inox aletados com perfis de alumínio que melhoram a troca térmica na passagem dos produtos na forma líquida que ao encontrarem o ambiente rapidamente vaporizam utilizado convecção e radiação naturais. A quantidade e tamanho dos vaporizadores são definidos de acordo com a condição e perfil de consumo do cliente. Os perfis de consumo são definidos como:

- **Consumo contínuo:** é o modo de consumo de gases, caracterizado por um suprimento de gás por um período de 24 horas por dia, no mínimo por 5 dias consecutivos e que não considera tempo para regeneração do sistema de vaporização.
- **Consumo intermitente:** é o modo de consumo de gases, caracterizado por um suprimento de gás por um período maior do que 1 hora/dia, e menor que 8 horas/dia, com um período sem vazão (consumo) igual ou superior a duas vezes o período de consumo.
- **Consumo de pico:** é o modo de consumo de gases caracterizado por um suprimento cíclico de gás com curta duração e pouco tempo para regeneração do sistema de vaporização, em períodos máximos de 1 hora com um intervalo mínimo igual a duas vezes o período de consumo para regeneração do sistema de vaporização.

A Tabela 10 mostra alguns vaporizadores e suas características de vazão.

**Tabela 10- Vaporizadores e características de vazão.**

Vaporizadores	Serviço de Pico	Serviço Intermitente	Serviço Contínuo
	Vazão (m <sup>3</sup> /h NTP)		
1 VWM-4	0 a 170	0 a 150	0 a 75
2 VWM-4	170 a 340	150 a 300	75 a 150
3 VWM-4 ou 1 VWM-12	340 a 510	300 a 480	150 a 225
2 VWM-12	510 a 1020	480 a 960	225 a 450
3 VWM-12	1020 a 1530	960 a 1440	450 a 675
4 VWM-12	1530 a 2040	1440 a 1920	675 a 900
6 VWM-12	2040 a 3060	1920 a 2880	900 a 1350
8 VWM-12	3060 a 4080	2880 a 3840	1350 a 1800
10 VWM-12	4080 a 5100	3840 a 4800	1800 a 2250
12 VWM-12	5100 a 6120	4800 a 5760	2250 a 2700

Fonte: White Martins (2007).

NTP: Normal Temperature and Pressure

## 5.2 Packaged

Em casos mais específicos o fornecimento pode ser realizado em recipientes criogênicos móveis. Os produtos envasados em cilindros também são utilizados como fonte de reserva emergencial junto às unidades com tanques estacionários para garantir o fornecimento ininterrupto enquanto é feita alguma manutenção programada ou quando ocorre alguma falha no sistema.

Para os gases medicinais o processo de enchimento segue alguns critérios mais rigorosos de qualidade, repetibilidade e rastreabilidade que são regulamentados pela ANVISA por meio da resolução RDC N°69. A qualidade dos produtos deve ser garantida pela análise dos mesmos durante o processo de enchimento utilizando analisadores de gases certificados, sendo evidenciada pelo certificado de qualidade atestado por químico responsável pelo processo. A repetibilidade consiste na produção padronizada conferida a cada lote. A rastreabilidade controla toda a cadeia de produção e distribuição, desde a matéria-prima até o cliente final

Os cilindros ao chegarem nas unidades passam por uma inspeção primária visual a fim de detectar qualquer amassadura ou trinca aparente. Após este processo é feito o teste do martelo que consiste em bater com um martelo no corpo do cilindro e se este apresentar ruído diferente do ruído considerado normal o mesmo é descartado. Feito estas análises iniciais os cilindros são checados para garantir uma pressão residual ( $> 3$  bar), necessária para garantir que não haja contaminação durante o uso. Os cilindros sem pressão residual são separados para análise posterior com relação a umidade e contaminantes. Verifica-se também no corpo do cilindro o registro para teste hidrostático a fim de garantir sua integridade mecânica quando colocado sob pressão.

No processo de enchimento qualquer gás remanescente nos cilindros deve ser removido pelo esvaziamento do recipiente, mediante a aplicação de, no mínimo, pressão de vácuo remanescente de 150 milibares. O número do lote e/ou a data de enchimento e a data de validade devem estar em uma etiqueta adicional aderida ao recipiente de forma firme, segura e em lugar bem visível e cada cilindro deve possuir uma bula completa. (RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA N°69, 2008).

A Figura 14 mostra um resumo do processo de enchimento de cilindros de gases medicinais:

**Figura 14- Enchimento de gases medicinais**



Fonte: Revista White Martins. (2014)

### 5.2.1 Recipientes de Armazenamento

Caracterizados pelo baixo volume de armazenamento, os cilindros são classificados em cilindros de alta pressão (sem costura) e cilindros de baixa pressão (com costura).

Os cilindros são vasos de pressão com seção transversal circular que podem chegar a  $185 \text{ kgf/cm}^2$  de pressão de serviço (à temperatura de referência de  $21 \text{ °C}$ ) com volume interno de até 50 litros, variando conforme modelo do cilindro. Consistem em tubos de aço ou de liga de alumínio com ou sem costura na qual suas extremidades são fechadas através de repuxamento giratório a quente, totalmente isento de solda (WHITE MARTINS, 2007).

Os cilindros são classificados por letras que identificam seu tipo e capacidade volumétrica.

- Baixa Pressão: FC, FE, FX, LX, A300, A170.
- Alta Pressão: T, K, Q, G, P, LB.
- Alta Pressão (construídos em Alumínio): ALS, ALQ, ALG.

Na Tabela 11 está apresentada a especificação de cilindros:

**Tabela 11- Especificação de cilindros**

Tipo	Especificação		Pressão de Serviço (kgf/cm <sup>2</sup> )	Dimensões Aproximadas (mm)		Peso médio vazio (kg)	Capacidade de água (litros)
	DOT	ABNT		Diam.	Comp.		
ALS	3AL	-	140	203	1216	21,6	29,5
ALQ	3AL	-	155	184	848	13,6	15,7
ALG	3AL	-	155	178	400	6,7	5,9
T	3AA	EB-926	185	235	1425	68	50
K	3AA	EB-926	155	235	1255	61	43,5
Q	3AA	EB-926	175	178	1100	27,5	22,0
G	3AA	EB-926	150	165	455	12	7
P	3AA 3A	EB-926 EB-1199	150	115	400	4,8	3,1
LB	3E	EB-1199	126	51	300	2,4	0,5
LX	4L200	-	14	460	1220	52	165
FX	4BA	-	17	376	1300	40	108,5
FC	4BA	-	17	311,4	883	31	55
FE sem costura	3A	-	17	165	618	10,0	10,0
FE com costura	4BA	-	17	235	390	8,6	10,5
A300	8AL	-	17	311,4	883	64	55
A-170	-	-	17	250	700	41,0	31,3

Fonte: White Martins (2016)

## 6. ESTUDO DE CASO

A instituição em questão se trata de um hospital privado da região metropolitana de Fortaleza e devido a recorrentes problemas no seu sistema de fornecimento de ar medicinal através de compressor, decidiu considerar o fornecimento do ar medicinal sintético.

O que tornou ainda mais suscetível a mudança foi o fato da instituição perceber através de seus controles que estava havendo uma constante manutenção em seus

equipamentos, principalmente nos ventiladores e ao fazer o estudo do processo verificou que o ar vindo do compressor existente estava com certo nível de umidade e que seria necessária a troca de todo sistema de filtros secadores e de tratamento desse ar.

O compressor utilizado na instituição já estava com seu uso depreciado e seria necessário o retrofit do equipamento ou a aquisição de uma nova máquina.

Diante destes fatos o fornecimento de ar medicinal sintético apresentou-se como uma solução que apresentaria elevada qualidade e atendimento as normas vigentes, além de possuir um baixo custo de investimento, maior consistência, ausência do custo de manutenção e aumento na segurança do fornecimento.

### 6.1 Escolha do fornecimento

A estimativa de consumo da instituição em estudo foi baseada em dados de consumo fornecidos pelo próprio hospital. O consumo apresentado veio baseado na média de produção dos últimos 12 meses do compressor já existente e com isso foi feita a estimativa de consumo para um misturador utilizando os dois gases: O<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>. Os dados estão apresentados na Tabela 12:

**Tabela 12-Consumo médio mensal da instituição.**

Consumo Médio de Nitrogênio Líquido	18383	m <sup>3</sup> /mês
Consumo Médio de Oxigênio Líquido	4887	m <sup>3</sup> /mês
Consumo Médio de AR	23270,00	m <sup>3</sup> /mês

Fonte: EAS,2016

Portanto, será necessário cerca de 24000 m<sup>3</sup> de ar medicinal por mês no caso de máximo consumo. Assim, se usarmos cilindros padrão de maior volume com capacidade de estocagem de 9,6 m<sup>3</sup> de gás (a 21°C e 1 atm), seria necessário um grande número de cilindros por mês, aproximadamente 2500 cilindros.

Conforme informação obtida do estabelecimento de assistência a saúde (EAS) é possível estimar a quantidade de cilindros que seria necessário por dia para atender a instituição.

$$C = Q_t \times PU \quad (1)$$

Onde:

$C$  = Consumo máximo de AR por dia, (m<sup>3</sup>);

$Q_t$  = Vazão máxima de AR, (m<sup>3</sup>/h);

$PU$  = Período máximo de utilização por dia, (h).

Em se tratando de um hospital, o consumo poderá ser dividido de forma contínua ou seja, não irão ocorrer grandes variações no consumo por dia, a não ser em casos de acidentes graves na cidade, o que pode causar sua superlotação, assim como uma maior necessidade de uso das salas de cirurgia e assim ocasionar um consumo de pico fora do normal.

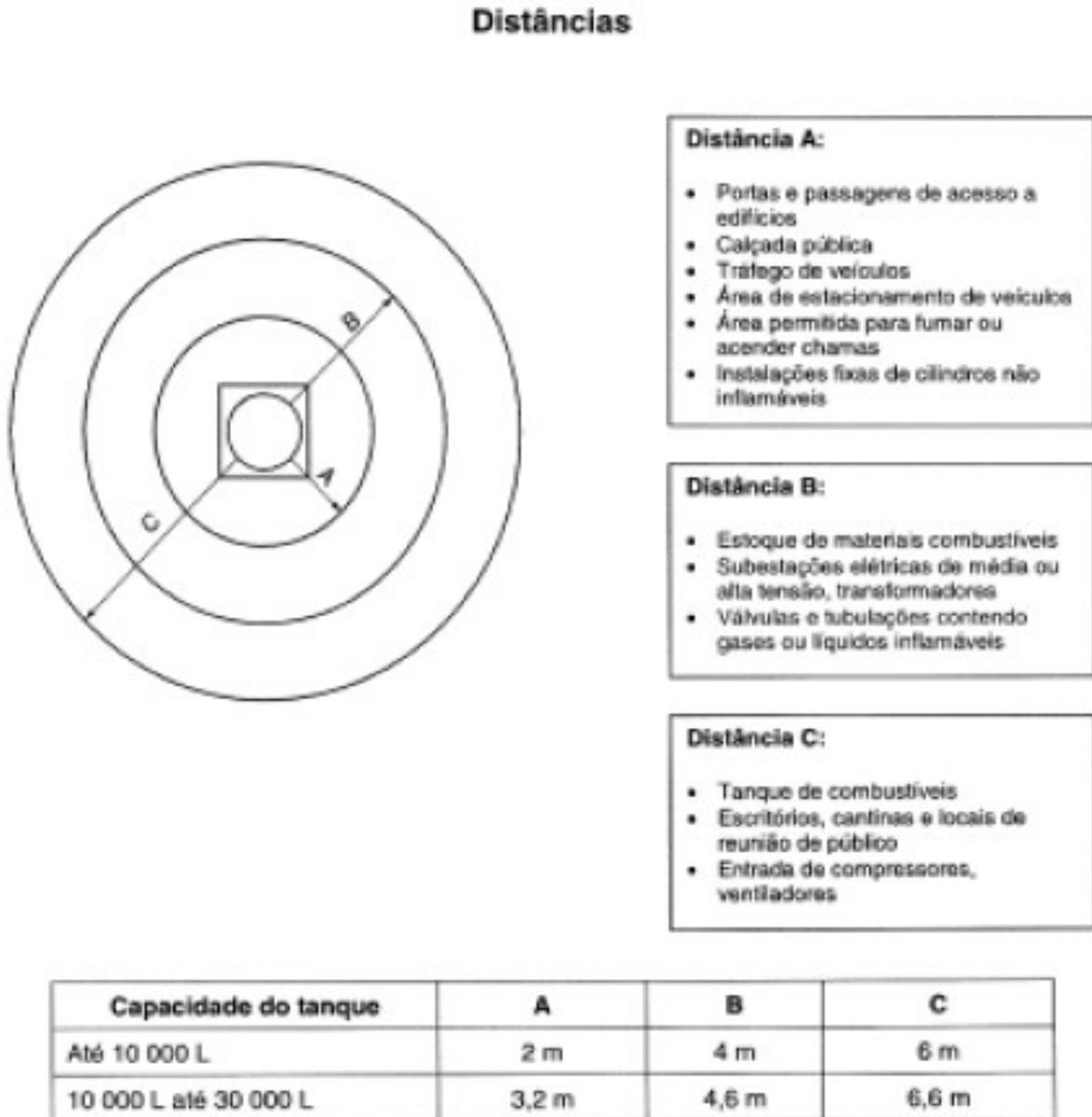
Fazendo o cálculo do consumo médio por dia, a instituição consumirá cerca de  $800\text{m}^3/\text{dia}$ , desse modo seriam necessários aproximadamente 84 cilindros padrão de maior volume ( $9,6\text{ m}^3$ ) por dia. Para fins de melhor entendimento, um caminhão de porte médio com autorização das autoridades da cidade para circulação no perímetro urbano em horário comercial possui capacidade máxima para 60 cilindros o que tornaria necessária a ida de 2 caminhões por dia para fornecimento no hospital apenas do ar medicinal sem contar os outros gases utilizados pelo cliente tais como óxido nitroso, gás carbônico e o até mesmo o oxigênio medicinal.

Fica evidenciando, desta forma, que o perfil de consumo do cliente se enquadra no porte de médio fornecimento e desta forma faz-se necessária a instalação de tanques criogênicos para o fornecimento.

## **6.2 Central de fornecimento**

A central de fornecimento de ar medicinal sintético, consiste basicamente em 5 equipamentos: tanques criogênicos de nitrogênio e oxigênio, evaporadores, misturador de gases, central reserva de cilindros e analisador de gases. A central deve ser instalada acima do nível do solo, ao ar livre e com fácil acesso para o caminhão de abastecimento e chegada de pessoas autorizadas. Não poderá estar sob redes elétricas de alta ou baixa tensão, tubulações com produtos inflamáveis ou combustíveis de qualquer tipo. Na figura 15 estão apresentadas as restrições mínimas requeridas conforme NBR 12188.

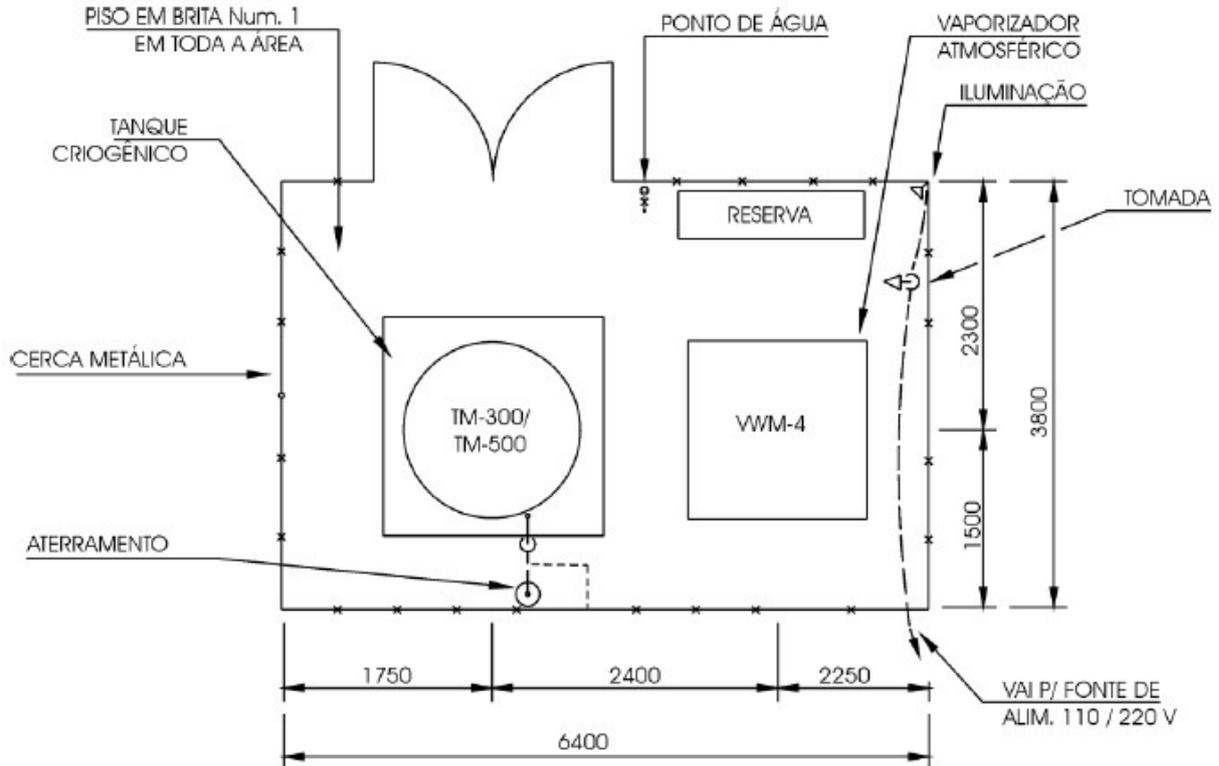
**Figura 15- Distâncias a serem mantidas da central.**



Fonte: NBR12188 (2012).

Toda a superfície onde estará a central deverá ser em concreto cercada e aterrada (cerca, tanques e evaporadores) com duas portas permanentemente desobstruídas. Na cerca deve haver um sistema de identificação visual, advertências de segurança pertinentes e telefone para contato em caso de emergências. Deverá haver um ponto de água, uma tomada elétrica e um ponto de iluminação. O suprimento reserva, o qual é utilizado em caso de falha ou manutenção do tanque primário, deve estar conectado com as respectivas válvulas abertas, pronto para entrada imediata por diferença de pressão. A Figura 16 mostra o leiaute da central de fornecimento.

**Figura 16 – Padrão de central criogênica de gases medicinais.**



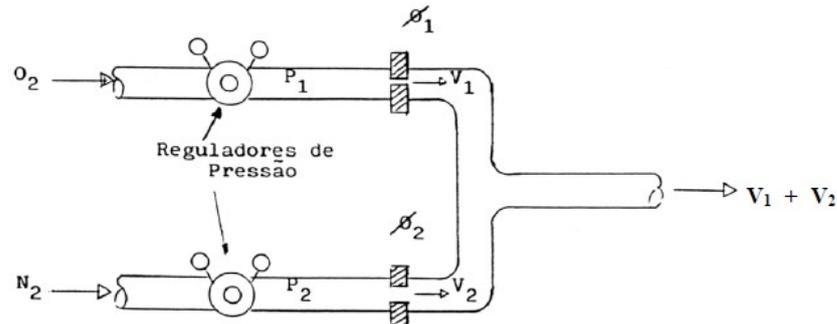
Fonte: White Martins (2007).

### 6.3 Qualidade do ar medicinal sintético

Utilizado em diversos procedimentos hospitalares, a manutenção da qualidade do ar é mandatória e esta qualidade está diretamente associada à qualidade do fornecimento. Como mencionado anteriormente, os produtos utilizados na mistura do ar medicinal são devidamente monitorados e entregues ao consumidor final, juntamente a um certificado de qualidade. Neste processo é importante esclarecer a importância do equipamento que realiza a mistura destes gases, o misturador. Este equipamento se destina a produzir uma mistura gasosa a partir do nitrogênio e do oxigênio, reproduzindo a composição do ar atmosférico ao nível do mar, porém, isento de umidade, ou seja: 79% de nitrogênio e 21% de oxigênio, sendo aceitável uma variação no teor do oxigênio entre os limites de 20 e 23%. Sua vazão nominal máxima é de 120 Nm<sup>3</sup>/h. O Misturador é dotado de um CLP, que gerencia continuamente o funcionamento das funções elétricas e pneumáticas, conferindo ao equipamento um elevado grau de confiabilidade na produção do ar Sintético, conforme padrões estabelecidos. A composição da mistura é baseada em dois orifícios calibrados, com diâmetros calculados, para permitir vazões sempre proporcionais aos gases componentes, desde que ambos estejam a mesma pressão tanto o nitrogênio quanto o oxigênio, supridos

pelos tanques criogênicos, são conduzidos por tubulações independentes até o misturador em seguida passam pelos reguladores de pressão antes de atravessarem os orifícios calibrados, para garantir a proporção da mistura. As Figuras 17, 18 e 19 mostram um desenho esquemático deste princípio de funcionamento.

**Figura 17 – Princípio de funcionamento Misturador**



$P_1$  = pressão na linha de  $O_2$  antes de  $\varnothing_1$

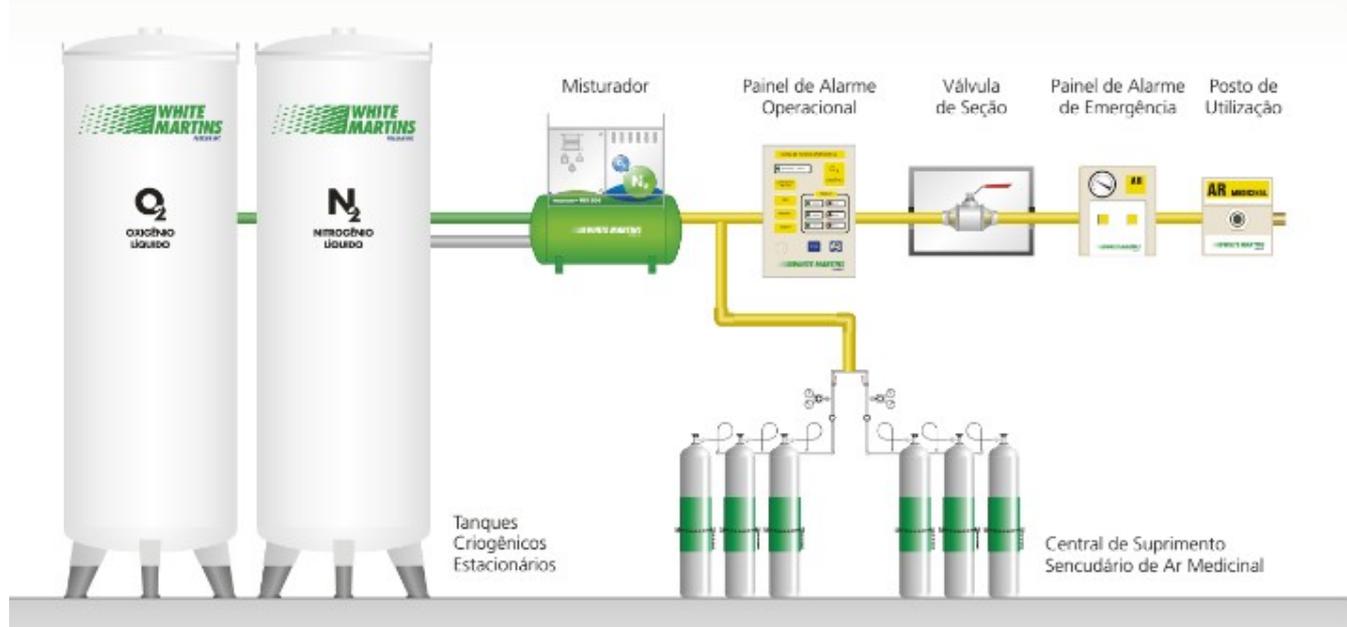
$\varnothing_1 \neq \varnothing_2$

$P_2$  = pressão na linha de  $N_2$  antes de  $\varnothing_2$

se  $P_1 = P_2$ , então  $0,21 V_1 + 0,79 V_2 = AR$

Fonte: White Martins (2016).

**Figura 18 – Desenho esquemático do fornecimento de ar medicinal.**



Fonte: White Martins (2016).

**Figura 19 – Componentes principais do misturador**



Fonte: White Martins (2016).

#### **6.4 Normas**

Na legislação atual não existe uma norma brasileira que seja seguida para a construção de um sistema concentrador, nem há obrigatoriedade de registro no ministério da saúde. Entretanto, existem algumas boas práticas a serem seguidas no fornecimento de gases medicinais e que estabelecem ações a serem respeitadas garantindo um bom funcionamento do sistema e a segurança no fornecimento. É importante ressaltar que os fabricantes de gases, de maneira geral adotam medidas muitas vezes mais criteriosas quanto a segurança e confiabilidade do fornecimento advindas de suas experiências e exigências internacionais.

Segundo a resolução da diretoria colegiada, de número 50, da agência de vigilância sanitária de 2002 (RDC 50. 2002 - ANVISA), algumas exigências deverão ser cumpridas :

- Os sistemas de tanques e/ou usinas concentradoras:

Devem manter suprimento reserva para possíveis emergências, que devem entrar automaticamente em funcionamento quando a pressão mínima de operação preestabelecida do suprimento primário for atingida, ou quando o teor do ar medicinal for inferior ao especificado.

- Sistemas de alarmes e monitorização:

Todos os alarmes devem ser precisamente identificados e instalados em locais que permitam a sua observação constante e total. Nos sistemas centralizados deve haver um alarme operacional que indique quando a rede deixa de receber de um suprimento primário, tanto de uma bateria de cilindros quanto de tanque, e passa a receber de um suprimento secundário ou de um suprimento reserva. Esse alarme deve ser sonoro e visual, sendo que este último só pode ser apagado com o restabelecimento do suprimento primário. Nos centros cirúrgicos, obstétricos, de terapia intensiva e onde tenham equipamentos de suporte à vida instalada, devem ser instalados, obrigatoriamente, alarmes de emergência que atuem quando a pressão manométrica de distribuição atingir o valor mínimo de operação.

Devem existir alarmes de emergência e esses devem ser independentes dos alarmes operacionais e de fácil identificação.

- Dispositivo especial de mistura

O dispositivo especial de mistura deve possuir sistema de análise contínua do ar comprimido sintético produzido, bem como intertravamento com corte automático do suprimento de ar comprimido medicinal para o EAS, quando a especificação do mesmo não for atendida

O dispositivo especial de mistura deve ser projetado e construído segundo o conceito "failsafe" (falha segura), de modo que a falha eventual de qualquer dispositivo de controle bloqueie a operação do equipamento, não permitindo que o mesmo forneça o produto (ar comprimido sintético) fora de especificação.

## **6.5 Características do tanque criogênico**

Existem dois tipos de tanques criogênicos, os de baixa pressão que atuam com máxima pressão de atuação de 6 kgf/cm<sup>2</sup> e os tanques de alta pressão que atuam com pressão máxima de atuação de 17,6 kgf/cm<sup>2</sup>. Conforme NBR 12188 a pressão de entrada em redes de gases medicinais deve ser de 8 kgf/cm<sup>2</sup> e a mínima pressão nos postos de utilização deverá ser de 4 kgf/cm<sup>2</sup>. Para a aplicação em estudo se faz necessário o uso de tanques de alta pressão e na Tabela 13 estão apresentadas as especificações dos tanques criogênicos.

**Tabela 13 – Tanques criogênicos – características**

RECIPIENTE CRIOGÊNICO	Capacidade Equivalente Em Gás (Nm <sup>3</sup> )			P. M. A. O. (kgf / cm <sup>2</sup> )	DIMENSÕES (m)		PESO VAZIO (Kg)	PESO CHEIO (Kg)		
	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	Argônio		DIÂMETRO	ALTURA		Oxigênio	Nitrogênio	Argônio
LS	118	90	114	12,3	0,50	1,57	102	257	207	289
XL 45	123	99	120	8,6	0,50	1,56	116	278	231	213
PB – 450	387	312	379	17,6	1,04	1,75	522	1.036	886	1.174
AT – 25	708	566	668	10,5	0,91	2,70	680	1.660	1.376	1.880
TM – 300	835	675	816	17,6	1,51	2,84	1.550	2.800	2.445	3.090
NC – 1000	860	700	840	14,0	1,40	3,28	1.500	2.650	2.260	3.010
NC – 2000	1.650	1.260	1.520	17,6	1,40	4,82	2.100	4.241	3.615	4.820
TM – 500	1.730	1.400	1.690	17,6	1,51	4,57	2.550	4.780	4.105	5.280
TM – 900	2.950	2.380	2.880	17,6	1,97	4,86	4.300	8.295	7.655	9.050
TM – 1100	3.481	2.815	3.476	10,1	1,98	3,97	4.500	9.100	7.759	10.118
TM – 1500	4.950	3.987	4.810	17,6	1,97	4,67	4.800	11.202	9.422	12.768
TM – 2000	6.144	4.966	6.001	17,6	1,98	5,88	7.350	15.590	13.180	17.400
TL – 3000	9.830	7.950	9.600	5,8	2,44	4,80	5.170	18.137	14.345	20.988
TM – 3000	9.780	7.914	9.550	17,6	2,43	4,80	7.050	20.003	16.229	22.874
TL – 6000	19.240	15.560	18.800	5,4	2,42	7,80	9.675	34.640	27.261	40.190
TM – 6000	19.200	15.515	18.728	17,6	2,42	7,78	13.000	37.920	30.486	43.508
TM – 7100	21.420	17.824	20.932	17,6	3,10	7,07	16.500	45.093	36.731	51.378
TM – 8600	27.745	22.458	22.094	17,6	2,44	10,53	15.740	50.026	40.075	57.390
TM – 9000	29.336	23.730	26.600	17,6	2,89	8,96	16.800	55.274	44.032	63.730
TM – 11000	35.800	28.950	34.980	17,6	3,10	9,59	20.300	68.853	54.958	79.305
TM – 13000	42.370	34.299	41.385	17,6	3,10	10,96	22.680	78.878	62.442	91.230

Fonte: White Martins (2016).

A unidade de fornecimento para a instituição em questão fica no Pecém que é um distrito do município de São Gonçalo do Amarante, no Ceará. O distrito fica a uma distância aproximada de 58km de Fortaleza e possui rotas diárias de produtos para a capital. De acordo com o setor de logística a melhor forma de abastecimento seria o fornecimento a cada 5 dias dos produtos oxigênio e nitrogênio.

Embora com rotas diárias de produto, o fornecimento a cada 5 dias reduz o custo de frete para fornecimento e torna mais efetivo o abastecimento dos produtos.

Baseado no consumo diário de 800m<sup>3</sup>/ dia sendo destes 632m<sup>3</sup>/dia de nitrogênio e 168m<sup>3</sup>/dia de oxigênio, ter-se-á um consumo a cada 5 dias de 3160 m<sup>3</sup> de nitrogênio e 840 m<sup>3</sup> de oxigênio semanal. Importante ressaltar que o mesmo tanque fornece o oxigênio medicinal puro também para a rede. Baseado nestas informações de consumo e na necessidade mínima de pressão os tanques mais adequados para garantir segurança operacional são 2 tanques TQ TM 1500. Na figura 20 está apresentada uma instalação padrão de ar medicinal sintético com o uso de dois tanques TM 1500.

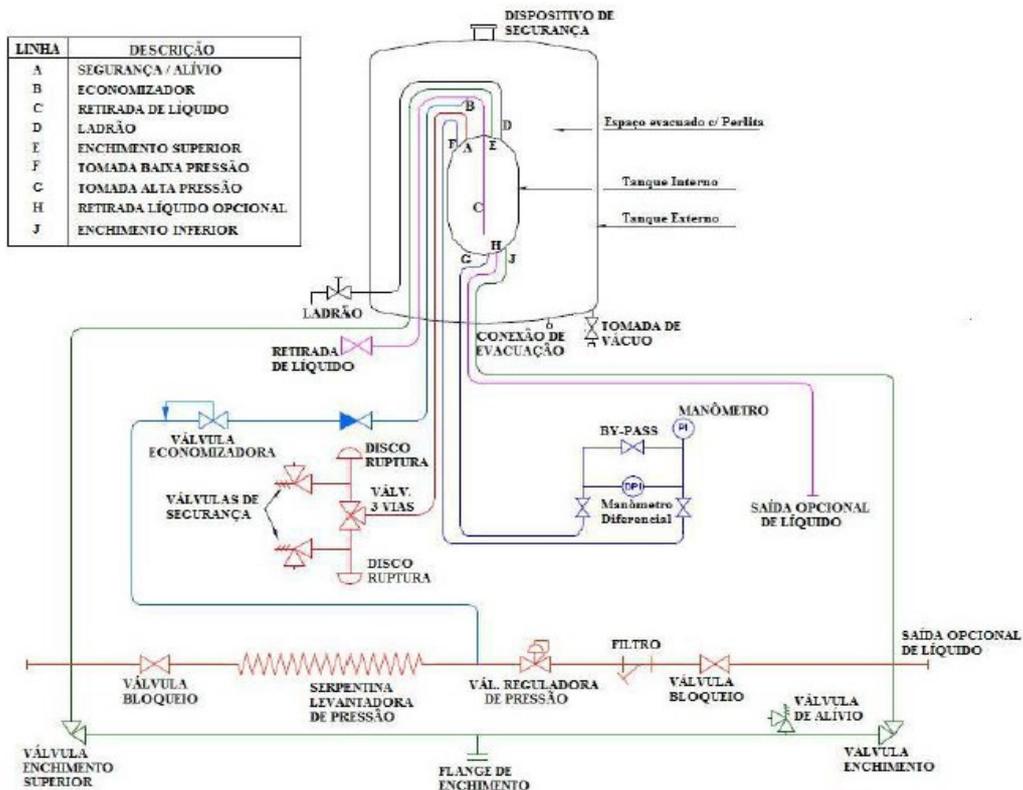
**Figura 20 – Instalação padrão de ar medicinal sintético**



Fonte: White Martins (2016).

A Figura 21 apresenta o fluxograma do tanque TM-1500.

**Figura 21 – Fluxograma do tanque.**



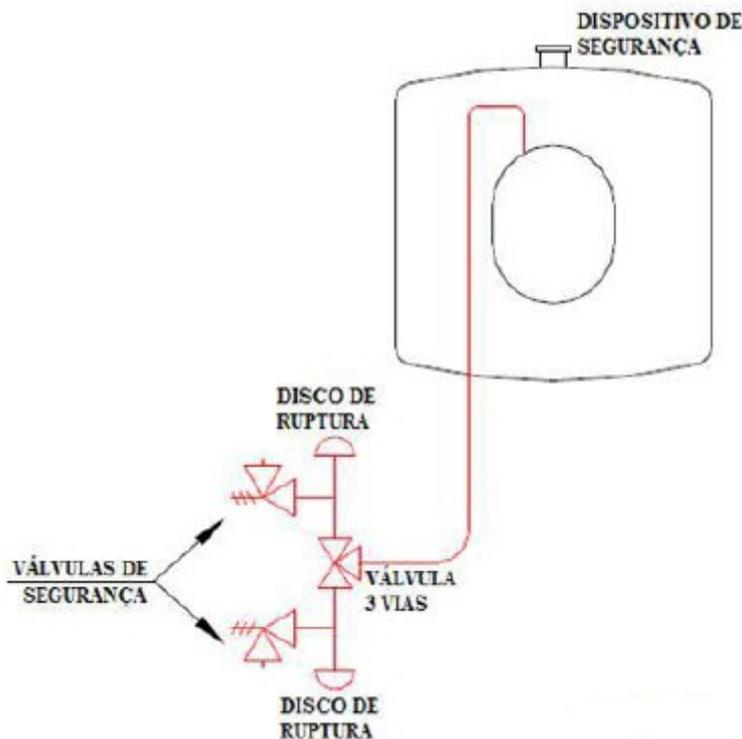
Fonte: DALPIAZ (2010).

### 6.5.1 Circuito de segurança

O circuito de segurança tem o objetivo de garantir a integridade do equipamento e evitar o aumento de pressão acima do suportado. Este circuito possui dois sistemas um para proteção do vaso interno e outro para proteção do vaso externo

No vaso interno tem-se 3 dispositivos de proteção: válvula de 3 vias, discos de ruptura e válvulas de segurança. Na figura 22 está apresentado o desenho esquemático do circuito de segurança do tanque interno:

**Figura 22 – Circuito de segurança do tanque interno.**



Fonte: White Martins (2010).

Este circuito é composto por:

Uma válvula de segurança que protege o tanque interno em caso de um aumento de pressão. Ela está ajustada para pressão máxima de trabalho admissível do tanque (17,6 Kgf/cm<sup>2</sup>), ou seja, qualquer valor de pressão que resultar maior que esse, a válvula se abre e libera produto para aliviar a pressão.

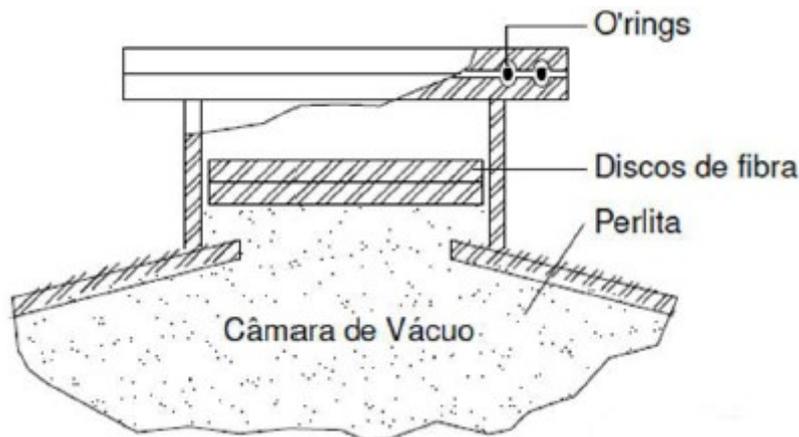
Um disco de ruptura que é projetado para no caso de falha das válvulas de segurança, servindo para proteger o tanque interno. Ele é dimensionado para romper a uma

pressão acima da pressão máxima de trabalho admissível e abaixo da pressão de rompimento do vaso.

Uma válvula de três vias que tem o objetivo de permitir a manutenção preventiva da válvula de segurança e dos discos de ruptura e garantir o consumo contínuo em caso de ruptura por falha de um dos discos de ruptura. Ela atua sempre com um dos conjuntos (válvula de segurança/disco de ruptura) pressurizado e outro isolado do circuito.

A proteção do vaso externo consiste em um dispositivo de segurança que o protege em caso de pressurização da câmara de vácuo. É um flange cego onde a fixação à sua sede é feita por meio do vácuo existente entre os vasos interno e externo e sua vedação é feita através de anéis de vedação de borracha (O' rings) e graxa de silicone. Existem também discos de fibra que consiste em um dispositivo de segurança que é acionado quando a pressão na câmara de vácuo for superior ao peso do flange cego, assim evita a saída de perlita, em caso de perda de vácuo, ver Figura 23. (DALPIAZ, 2010).

**Figura 23 – Dispositivo de segurança do tanque externo.**

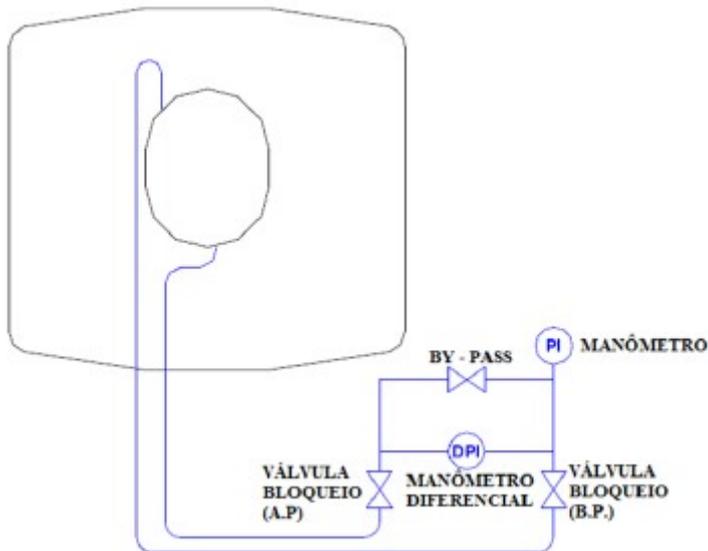


Fonte: White Martins (2010).

### 6.5.2 Circuito de Avaliação Instantânea.

Formado por manômetro, manômetro diferencial, válvulas de bloqueio e válvula By-Pass. Este circuito que está apresentado na figura 24 tem como objetivo avaliar a pressão e o nível de líquido no interior do tanque interno.

**Figura 24 – Circuito de avaliação**



Fonte: White Martins (2010).

- Manômetro é o instrumento que indica a pressão da fase gás do tanque interno.
- Manômetro diferencial é o que indica o nível de líquido em polegadas de água, por pressão diferencial, assim sendo necessário o uso de uma tabela de conversão para conhecer a quantidade estimada de produto no interior do tanque interno. Instrumento também chamado de indicador de nível.

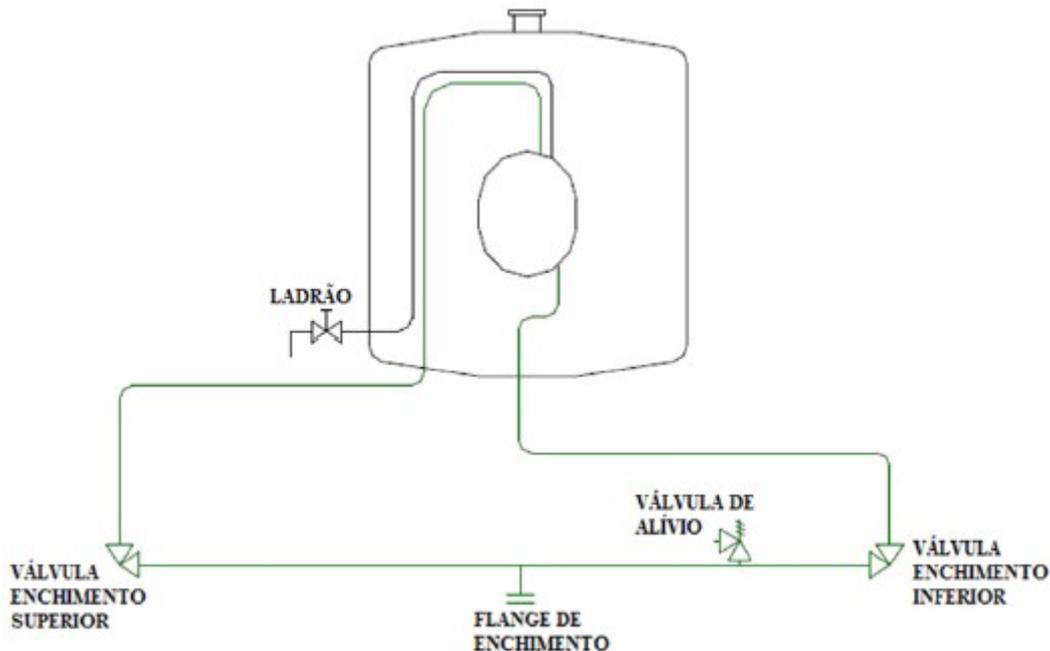
- Válvulas de bloqueio de alta e baixa pressão: Isolam o manômetro diferencial e o manômetro. Normalmente mantidas abertas.

- Válvula “By-Pass” permite equilibrar a pressão das câmaras de alta e baixa pressão do indicador de nível e é utilizada para o ajuste do zero do indicador. Antes da equalização é necessário fechar as válvulas de bloqueio de alta e baixa pressão. Normalmente mantida fechada. (DALPIAZ, 2010).

### 6.5.3 Circuito de enchimento

Este circuito permite que o tanque seja abastecido. A manutenção da pressão de operação no enchimento é mantida com o ajuste (abertura e fechamento) das válvulas de enchimento superior e inferior. Na figura 25 está apresentado desenho esquemático do circuito de enchimento:

**Figura 25 – Esquema de enchimento.**



Fonte: White Martins (2010).

Este circuito é formado por:

Um flange de enchimento que é utilizado para conectar a mangueira de transferência a partir do caminhão-tanque. É um tipo de flange aparafusado, característico para oxigênio.

Uma válvula de alívio que é usada para proteger a tubulação contra a elevação da pressão resultante de vaporização do líquido criogênico, que por ventura fique retido entre o trecho bloqueado.

Uma válvula de enchimento superior a qual é usada para abastecer o tanque pela parte superior, com a finalidade de diminuir a sua pressão com a redução da temperatura da fase gás. Esta alimentação ocasiona a pulverização do líquido, vindo do caminhão tanque, na fase gás do tanque criogênico. Isso é feito através de um difusor localizado dentro do tanque, resfriando e recondensando parte deste gás, com a consequente redução da pressão.

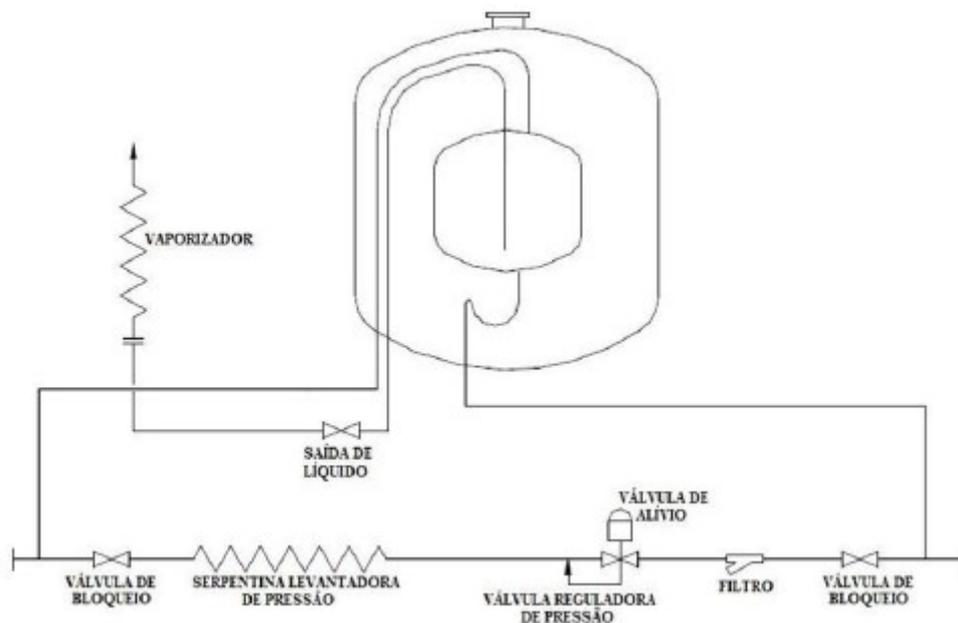
Uma válvula de enchimento inferior é usada para abastecer o tanque pela parte inferior, com o objetivo de aumentar a sua pressão. Esta transferência eleva o nível da fase líquida, comprimindo a fase gás, com a consequente elevação da pressão. Esta válvula também é utilizada para drenar o líquido.

Uma válvula ladra que permite a autenticação visual da finalização do enchimento por meio da saída de líquido.

#### 6.5.4 Circuito de controle

Existem duas formas de controle no tanque criogênico, uma para aumentar a pressão interna e outra para economizar produto. O circuito para aumentar a pressão tem a finalidade de compensar a queda de pressão no interior do recipiente criogênico sempre que se retira líquido. Quando ocorre uma retirada de líquido do recipiente criogênico, há a expansão do volume da fase gasosa e conseqüentemente, uma queda de pressão no tanque. Esta queda de pressão só pode ser compensada com a vaporização de mais líquido, que é feita pelo escoamento por gravidade de uma parte do líquido através do circuito do sistema levantador de pressão - SLP, onde há a troca de calor com o ambiente, permitindo sua vaporização. Este gás retorna ao tanque, permitindo, dessa forma, a manutenção de uma pressão interna suficiente para impelir o líquido e garantir o fornecimento ininterrupto do produto. A Figura 26 mostra o circuito de controle (SLP).

**Figura 26 – Circuito de controle – Sistema levantador de pressão (SLP).**



Fonte: White Martins (2010).

O sistema levantador de pressão é composto dos seguintes itens:

Uma serpentina levantadora de pressão que tem a finalidade de vaporizar o líquido retirado da parte inferior do tanque.

Uma válvula reguladora de pressão que controla automaticamente a pressão interna do tanque, permitindo a passagem de líquido quando ela “percebe” a pressão diminuir na fase gás.

Um filtro que retém as impurezas, evitando que estas se alojem na região do vedante da válvula reguladora e provoque a passagem direta de líquido, com consequente aumento da pressão.

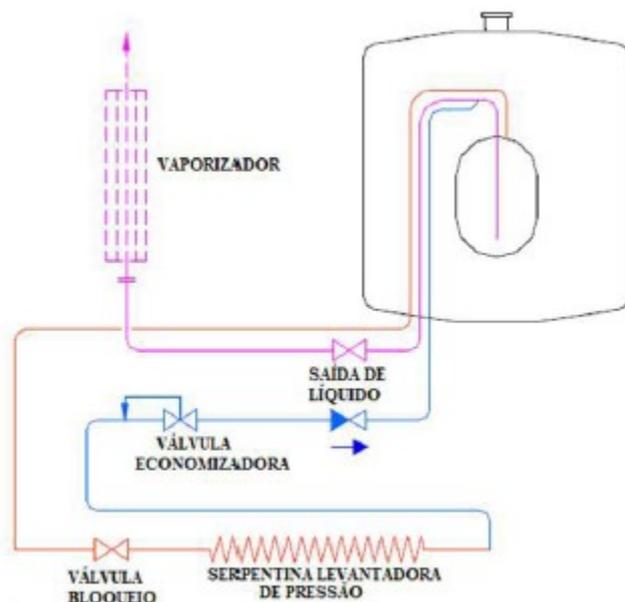
Possui válvulas de bloqueio com a finalidade de interromper o funcionamento do circuito para retirar o tanque de operação ou permitir a manutenção de um dos componentes do circuito.

Uma válvula de alívio que protege a tubulação contra elevação da pressão resultante da vaporização do líquido criogênico, que possa ficar retido no trecho bloqueado.

Outro circuito de controle é usado para economizar produto, ou seja, permitindo a retirada do excesso de gás que estava contido no interior do tanque interno, quando sua pressão é superior à pressão de operação. Este tipo de condição pode existir nas situações de consumo extremamente reduzido ou de falha no sistema de isolamento do tanque.

O tanque, então, passa a fornecer o produto diretamente sob forma gasosa e assim que a pressão retorna às condições de operação, o fornecimento na forma é reestabelecido. Isto impede o desperdício do produto, caso a pressão aumente e acione o circuito de segurança. Na Figura 27 está apresentado o do circuito de controle economizador.

**Figura 27 – Esquema do circuito de controle – Economizador.**



Fonte: White Martins (2010).

Os componentes do circuito economizador são:

Uma válvula economizadora a qual entra em operação assim que a pressão interna do tanque atinja um valor pré-calibrado, fazendo com que a mesma se abra, conectando a fase gasosa do tanque interno à linha de saída de líquido.

Uma válvula de retenção que impede a passagem de líquido em direção à válvula economizadora, permitindo desta forma sua correta operação.

Uma válvula de bloqueio que permite a manutenção da válvula economizadora quando fechada em conjunto com a outra válvula de bloqueio do circuito de controle (SLP).

A serpentina levantadora de pressão funciona apenas como elemento de passagem do gás.

#### **6.5.5 Saída de líquido e gás**

As saídas para o líquido e o gás existentes no tanque escolhido são demonstradas na Figura 28 e os seus componentes são descritos a seguir:

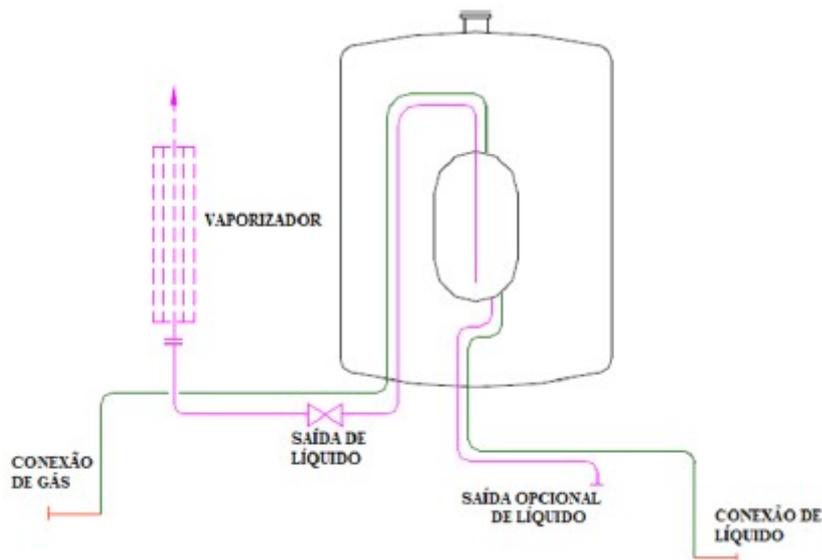
Uma válvula para a saída de líquido que permite a passagem do líquido e sua conexão com o vaporizador.

Uma saída opcional de líquido que é usada para retirada do líquido, porém a EAS estudada não consome o produto na fase líquida.

Uma conexão de gás que fica situada na linha de enchimento superior tem a finalidade de permitir o retorno do gás gerado na vaporização do líquido utilizado, sendo neste caso tamponada devido a não utilização.

Uma conexão de líquido a qual fica situada na linha de enchimento inferior, tem como função de enchimento opcional do tanque.

**Figura 28 – Saída de líquido e gás.**



Fonte: White Martins (2010).

### 6.5.6 – Conexões de Evacuação e isolamento

A conexão de evacuação é necessária para que se possa por meio da bomba de vácuo, retirar o ar da câmara entre os vasos interno e externo, pois o vácuo é necessário para se obter um melhor isolamento térmico. A tomada de vácuo se objetiva em permitir a leitura do vácuo, enquanto a conexão de evacuação tem a finalidade de acoplar a bomba de vácuo. Na Figura 29 estão apresentadas as conexões.

**Figura 29 – Dispositivos de vácuo.**

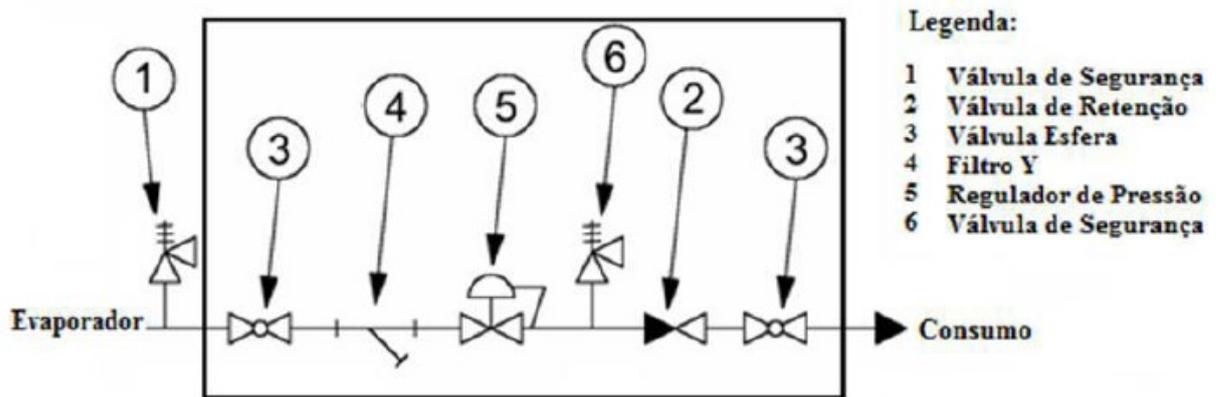


Fonte: White Martins (2010).

### 6.5.7 – Painel de controle de pressão e postos de consumo.

O produto gasoso, ao sair do vaporizador, irá passar por um “painel” de controle de pressão, onde a pressão será ajustada de acordo com a necessidade do hospital e segundo a NBR12188 (8 Kgf/cm<sup>2</sup>). Para se conseguir isso são empregados alguns equipamentos, ver Figura 30.

**Figura 30 – Painel de controle de pressão.**



Fonte: White Martins (2010).

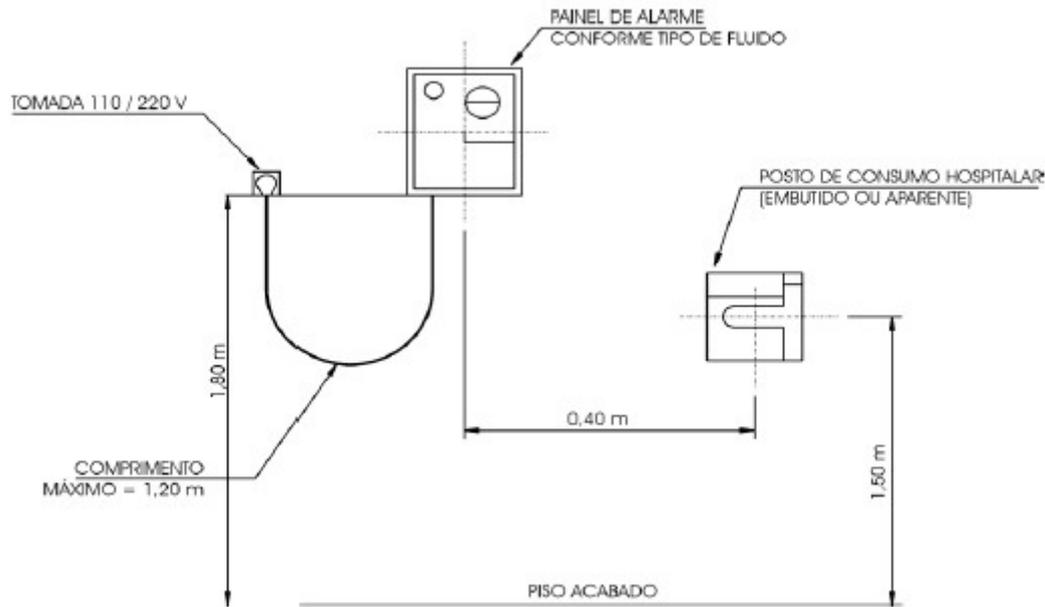
As válvulas de segurança (1) e (6) são colocadas a fim de evitar qualquer tipo de excesso de pressão na tubulação, devido ao fechamento das válvulas de esfera (3).

O filtro (4) tem a finalidade de evitar que qualquer impureza seja enviada para a linha de uso. Já o regulador de pressão (5) é utilizado para diminuir a pressão que vem oriunda do tanque e adequar seu valor para o estabelecido pela EAS, ou seja, 8 kgf/cm<sup>2</sup>. A válvula de retenção (2) tem o objetivo de evitar o retorno do gás para o tanque.

Após sair na condição exigida pela empresa, o oxigênio gasoso entra na rede de distribuição de gás e vai até os postos de consumo do hospital, estes podem estar localizados em diferentes locais, como UTIs, enfermarias e os centros cirúrgicos. Assim os postos de consumo consistem de um equipamento ou conjunto de equipamentos destinados a fornecer um ajuste fino da pressão no ponto de utilização, podendo também controlar a vazão. A Figura 31 mostra o esquema de instalação dos postos de consumo para gases medicinais.

Além dos postos de consumo em estabelecimentos de assistência a saúde (EAS) é necessária também à instalação de um painel de alarme de emergência, o qual deve atuar quando a pressão manométrica na rede de distribuição atingir o valor mínimo de operação. (BARROCAS, 2014)

**Figura 31 – Posto de consumo e painel de alarmes para gases medicinais.**



Fonte: White Martins (2010).

## 6 – CONCLUSÃO

A fabricação de gases em grandes volumes foi demonstrada como necessidade latente nos diversos processos produtivos do setor industrial e faz-se necessária também nas aplicações de aspecto medicinal. Foi descrito neste trabalho todo o processo de destilação criogênica como maneira de esclarecer o grau de tecnologia empregado e qualidade associada. Exploramos desde a fabricação dos gases, tipos de fornecimento, normas regulamentadoras até a entrega no consumidor final.

Neste caso, em específico, foi feito um estudo de consumo em um estabelecimento de assistência a saúde (EAS) da rede privada na região metropolitana de fortaleza e apresentado o tipo de fornecimento mais adequado juntamente com todas as especificações do componentes envolvidos e as normas vigentes para a entrega do produto.

Foram demonstradas as características associadas ao baixo custo de investimento, segurança operacional, baixo nível de ruído e baixo nível de consumo de energia elétrica. O ar medicinal sintético é criticamente fiscalizado e deve obedecer a uma série de exigências desde a produção até a entrega ao consumo final. A baixíssima susceptibilidade a contaminação devido à qualidade dos componentes envolvidos torna o ar medicinal sintético como uma opção cada vez mais adquirida por diversos hospitais.

Além da fiscalização dos órgãos governamentais os processos de qualidade mencionados neste trabalho ainda garantem elevado nível de confiabilidade e rastreabilidade ao ar medicinal fornecido. Um ponto a ser destacado é o fato de o sistema de ar medicinal sintético ter baixíssimo nível de consumo de energia elétrica sendo este comparável ao consumo de uma lâmpada de 60 W. Este baixo nível não compromete o consumo do hospital caso haja falta no fornecimento de energia elétrica usual e o gerador precise ser acionado. Outro aspecto está vinculado aos sistemas de segurança do tanque criogênico que funcionam de maneira mecânica e garantem maior segurança no fornecimento e eliminam de forma simples os riscos associados.

A elevada pureza dos produtos na forma líquida e baixo teor de umidade garantem uma vida útil maior dos equipamentos utilizados nos hospitais, tais como ventiladores hospitalares e outros equipamentos eletrônicos que utilizem o ar medicinal. Não há a necessidade de filtros e purgadores na rede de gases.

Não há regulamentação quanto a obrigatoriedade do uso de ar medicinal sintético, mas procurou-se apresentar as características mais relevantes neste tipo de fornecimento, haja vista a garantia de qualidade de um produto que é usado para tratamento de vidas humanas.



## REFERÊNCIAS

- Air liquide.Healthcare..**Air liquide group**. Disponível em:  
<<https://www.airliquidehealthcare.com.br/oxigenio-medicinal>>. Acesso em: 13 de Junho de 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR12188. **Sistemas centralizados de suprimento de gases medicinais, de gases para dispositivos médicos e de vácuo para uso em serviços de saúde**. 2ª Edição. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- BARROCAS, J.**Análise de Fornecimento de Oxigênio medicinal por meio de destilação criogênica em uma instituição hospitalar**.2014.Trabalho de conclusão de curso(graduação em engenharia mecânica),Universidade Federal do Ceará,Fortaleza,2014
- DALPIAZ, L. **Análise do fornecimento dos produtos da destilação criogênica do ar**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso ( graduação em engenharia química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- FORAN,Sistemas criogênicos, **Foran Industrial Technology**,2017.Disponível em:  
<<http://www.foran.com.br/produtos/sistemas-criogenicos>> Acesso em: 18 de Junho de 2017.
- LINDE GAS. Brasil. **Linde Gas**, 2017. Disponível em: <<http://www.linde-gas.com.br/pt/index.html>>. Acesso em: 15 de Junho de 2017.
- LINO, I. A. A. Diseño Del Plan de Mantenimiento Programado de La Primera Etapa del **Sistema de Producción Criogénica de una Planta de Separación de Gases del Aire**. 2010. Tese de Grau para Engenheiro Mecânico – Escuela Superior Politécnica Del Litoral – Guayaquil - Ecuador, 2010.
- MATRAGRANO, H; JESUS, P; GOMES, T; **Simulação e análise econômica de unidade de separação criogênica do ar e seus componentes principais:estudo de de caso**, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso ( graduação em engenharia química), Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016.
- OXIGENIO BRASIL. Oxigênio. **Oxigênio Brasil**, 2017. Disponível em:  
<<http://www.oxigenio brasil.com.br/oxigenio.htm>>. Acesso em: 13 de Junho de 2017.
- QIAN, F.; YASUKI, K.; CHUNFENG, S.; YUPING, L.; MASANORI, I.; ATSUSHI, T. **An Advanced Cryogenic Air Separation Process Based on Self-Heat Recuperation For CO2 Separation**, 2014.

RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA Nº69. **Dispõe sobre as boas práticas de fabricação de gases medicinais**, 1 de Outubro de 2008.

RESOLUÇÃO DA DIRETORIA COLEGIADA Nº70. **Dispõe sobre a notificação de Gases Medicinais**, 1 de Outubro de 2008.

RESOLUÇÃO DE DIRETORIA COLEGIADA Nº50. **Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde**. 21 de fevereiro de 2002.

SANTOS, R; **Sistemas centralizados de gases e vácuos medicinais – Uma abordagem para o gerenciamento da tecnologia médico-hospitalar**,2002.Trabalho para obtenção do grau de mestre (engenharia elétrica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis,2002.

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

SMITH, A.R.; KLOSEK, J. **A Review of Air Separation Technologies and Their Integration With Energy Conversion Processes**, 2001.

WEB ELEMENTS , **Nitrogen: the essentials**,2017.Diposnível em:<<https://www.webelements.com/nitrogen>> Acesso em: 16 de Junho de 2017.

WHITE MARTINS, Folheto Ar Medicinal Sintético,.**Praxair Brasil**,2017.Disponível em:<<http://www.praxair.com.br/-/media/documents/healthcare/folheto-ar-medicinal.pdf?la=pt-br>>. Acesso em: 22 de Junho de 2017.

WHITE MARTINS,.**Praxair Brasil**,2017.Disponível em:<<http://www.praxair.com.br/resource-library/safety-data-sheets>>. Acesso em: 15 de Junho de 2017.

WHITE MARTINS. **Plantas Criogênicas**, Rio de Janeiro, Maio 2013.

WHITE MARTINS. **Treinamento de Instalações de Gases - TIG**. Campinas, 2007.

ZHU, Y.; LEGG, S.; LAIRD, C. D. **Optimal design of cryogenic air separation columns under uncertainty**. *Computers and Chemical Engineering*, v. 34, p. 1377-1384, 2010.