

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS DE OPERAÇÃO, DISTRIBUIÇÃO E CONSUMO
DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS DE GASES MEDICINAIS LOCALIZADOS
EM UNIDADES DE SAÚDE NO ESTADO DO MARANHÃO**

**ANALYSIS OF THE OPERATION, DISTRIBUTION AND CONSUMPTION
PARAMETERS OF CENTRALIZED MEDICAL GAS SYSTEMS LOCATED IN
HEALTH UNITS IN THE STATE OF MARANHÃO**

Alan Jones Foicinha Martins

Especialista, Brasil

E-mail: alan.jones@discente.ufma.br

Jorge Bertoldo Junior

Doutor, UFMA, Brasil

E-mail: jorge.bertoldo@ufma.br

Jaciene Jesus Freitas Cardoso

Doutor, UFMA, Brasil

E-mail: jaciene.cardoso@ufma.br

Recebido: 01/04/2025 – Aceito: 30/04/2025

Resumo

Gases medicinais são medicamentos que oferecem soluções para uma ampla gama de necessidades médicas. Eventos de vítimas em massa e pandemias representam um desafio substancial aos recursos disponíveis em nosso sistema de saúde atual. Uma das maiores dificuldades para os hospitais é a produção, armazenamento e distribuição dos gases medicinais de maneira que garantem aos pacientes o fornecimento contínuo, seguro, eficiente e de forma mais econômica para o Estado. Este estudo avaliou as condições de armazenamento, distribuição e consumo dos gases medicinais oxigênio e ar comprimido medicinal em unidades de Assistência à Saúde do Estado do Maranhão a partir dos parâmetros de pressão e vazão nas centrais de gases medicinais além disso, foi proposta uma estimativa quanto ao aumento de consumo desses gases frente a um aumento de demanda. O processo de análise e avaliações dos parâmetros dos gases medicinais foi feita através de inspeções e coletas de dados de pressão e vazão dos gases oxigênio e ar comprimido medicinal realizadas nas Unidades de Saúde de pequeno, médio e grande porte no Estado do Maranhão. A partir do diagnóstico realizado verificou-se que os valores das pressões tanto para o Oxigênio e quanto para o Ar Medicinal estão em conformidade com a NBR 12.188/2016. Não havendo, portanto, a necessidade de proposição de melhorias em relação ao funcionamento dos gases medicinais nos hospitais estudados. Frente a uma nova pandemia foi verificada que apenas o Hospital Genésio Rego e o Hospital Carlos Macieira tem uma estrutura para inserção de novos leitos de UTI com a demanda atual de gases medicinais. Desta maneira, a análise geral dos sistemas de gases medicinais nos hospitais estudados estão bem estruturados e capazes de prestar assistência médica de qualidade em diferentes áreas da região metropolitana de São Luís -MA.

Palavras-chave: Oxigênio, Ar medicinal, Hospital, Pressão e Vazão

Abstract

Medical gases are medications that provide solutions for a wide range of medical needs. Mass casualty events and pandemics represent a substantial challenge to the resources available in our current healthcare system. One of the major difficulties for hospitals is the production, storage, and distribution of medical gases in a manner that ensures a continuous, safe, efficient, and cost effective supply to patients. This study evaluated the storage conditions, distribution, and consumption of medical gases specifically oxygen and medical compressed air in healthcare units across the State of Maranhão, based on the pressure and flow parameters at the medical gas centers. Additionally, an estimate was proposed regarding the increase in consumption of these gases in response to a surge in demand. The process of analysis and evaluation of the parameters of the medical gases was conducted through inspections and data collection of pressure and flow for oxygen and medical compressed air in small, medium, and large healthcare units in the State of Maranhão. From the diagnosis, it was verified that the pressure values for both oxygen and medical air comply with NBR 12.188/2016, thus eliminating the need for improvements in the functioning of medical gases in the studied hospitals. In the event of a new pandemic, it was found that only Hospital Genésio Rego and Hospital Carlos Macieira have the capacity to incorporate new ICU beds with the current demand for medical gases. In this way, the overall analysis of the medical gas systems in the studied hospitals is well structured and capable of providing quality medical care in various areas of the metropolitan region of São Luís, MA.

Keywords: Oxygen, medical air, Hospital, Pressure and Flow

1. Introdução

Um gás medicinal é um medicamento utilizado no tratamento ou prevenção de doenças e no suporte à vida de seres humanos. Por ser considerado um medicamento, o uso dos gases medicinais deve ser sujeito à prescrição médica (Da Silva, 2021). Atualmente, os gases medicinais estão sendo usados para diversas aplicações clínicas e sua distribuição canalizada é uma conquista histórica no campo de atendimento ao paciente (Sarangi, Babbar e Taneja, 2018). No entanto, a produção, armazenamento e distribuição de gases medicinais é um processo complexo uma vez que tal sistema deve garantir que o fornecimento de gás seja seguro, conveniente e econômico de forma a garantir que cheguem aos pacientes de maneira segura e em condições técnicas adequadas (Brasil, 2002) (Westwood; Rieley, 2012).

A logística hospitalar compreende uma série de elementos, incluindo infraestrutura, organização, pessoas, processos e sistemas de informação. O foco principal deve ser o cuidado ao paciente, visando sua recuperação. A administração hospitalar tem a responsabilidade de garantir uma assistência médico-hospitalar satisfatória, utilizando recursos materiais e humanos de forma eficaz (Wolker; Costa; Peterlini, 2019). Os custos crescentes dos insumos e a necessidade de atender às exigências dos normativos que visam garantir as práticas de execução dos procedimentos hospitalares, principalmente, no tocante à oferta de gases medicinais aos pacientes, faz a gestão hospitalar assumir o papel voltado para otimização dos recursos e na redução de custos indevidos.

Os gases medicinais devem ser distribuídos para todos os setores hospitalares, onde é imprescindível a instalação de um sistema eficiente de distribuição, composto por tubulações, válvulas e pontos de aplicação afim de assegurar que os insumos fornecidos estejam de acordo com parâmetros adequados de operação, tais como qualidade do ar, faixas de pressão, fluxo, segurança e temperaturas recomendadas (Brasil, 2002).

A demanda por sistemas de distribuição de gases medicinais em ambientes hospitalares é sempre de grande relevância para o eficiente funcionamento de uma unidade hospitalar. Além disso, o monitoramento destes parâmetros permite que as Unidades de Saúde tenham sistemas de controle referente a vazão destes gases, assim como o volume a ser distribuído para cada setor específico de uma determinada unidade hospitalar seja realizada de forma eficiente (Nava Junior, 2007) (Santos, 2002).

A aplicação de gases medicinais como o oxigênio, ar medicinal e outros gases medicinais para tratamento de doenças generalistas assim como procedimentos de anestesia já acontece há centenas de anos, sendo que até hoje são utilizados em larga escala em unidades hospitalares do estado do Maranhão. Os gases são usados de forma descentralizada através do deslocamento de cilindros de oxigênio, ar medicinal ou óxido nitroso. O deslocamento destes cilindros dentro da unidade hospitalar acarreta riscos de acidentes assim como riscos de contaminação de misturas de gases medicinais, quantidade de gás insuficiente, assim como importunação dos pacientes devido ao ruído gerado pelo deslocamento dos cilindros (Santos, 2002).

A montagem de um dado sistema de distribuição de gases, assim como a especificação dos instrumentos referentes a verificação de parâmetros relevantes para a operação do sistema como pressão e temperatura tem influência direta sobre a vazão destes gases e, por consequência, sobre o volume a ser entregue para cada setor em específico tem grande relevância (Bianchi, 2001) (Ribeiro, 1999). Outro ponto a ser observados são as estimativas em termos de vazamentos ao longo do sistema de distribuição de gases medicinais. Estes parâmetros são importantes, visto que representa um custo adicional ao orçamento previsto para o funcionamento a unidade hospitalar. Além disso, a verificação de vazamentos que será feita de acordo com inserção de instrumentação adequada para a verificação dos parâmetros como pressão e temperatura (Corral, 2013).

Desta maneira, este trabalho visa avaliar as condições de armazenamento, distribuição dos gases medicinais e consumo nos Estabelecimentos de Assistência à Saúde do Estado do Maranhão a partir dos parâmetros de pressão e vazão nas centrais de gases medicinais. Além disso, este estudo propõe traçar o perfil e propor planos de ação para resolução dos problemas detectados garantir o melhor funcionamento para a população.

2. Revisão da Literatura

2.1 Planejamento e Gestão em Unidades de Saúde

Chiavenato (2004) fala que o planejamento estratégico é essencial para a gestão contemporânea das organizações. Ele é uma das principais funções administrativas, através da qual os gestores e suas equipes estabelecem diretrizes que orientam a organização da empresa, a liderança e o controle das atividades. O propósito de planejar é fornecer aos gestores e equipes informações para a tomada de decisões, permitindo-lhes agir proativamente e antecipar-se às mudanças do mercado em que atuam.

Segundo Castanheira (2014), no Brasil como em outros países, há um aumento nos gastos com saúde, enquanto os recursos disponíveis estão se tornando cada vez mais limitados. Portanto, é necessário que sejam implementados sistemas de controle de custos e envolvimento ativo dos profissionais de saúde, para garantir que os serviços prestados pelo Sistema Único de Saúde (SUS) e pelas instituições privadas sejam realizados com eficiência e qualidade.

A administração hospitalar chegou ao Brasil em 1946, doze anos após o primeiro curso nos EUA, com a criação de uma especialização na Escola Nacional de Saúde Pública do Rio de Janeiro. Em 1973, foi fundada a primeira Faculdade de Administração Hospitalar do Brasil e da América do Sul. Até então, muitas instituições de saúde eram geridas por religiosos, médicos ou enfermeiras. Com o avanço das tecnologias pós-Segunda Guerra Mundial, os hospitais se tornaram complexos sistemas, e a falta de recursos para investimentos e manutenção aumentou as dificuldades para uma gestão eficiente (Nascimento Junior, 2016).

Coordenar uma instituição de saúde nos dias de hoje implica em administrar com foco nos colaboradores, no conhecimento acumulado e, sobretudo, nos procedimentos. O desempenho eficaz desse sistema depende enormemente da gestão logística dos suprimentos. Garantir o abastecimento adequado de materiais no ambiente hospitalar, visando qualidade, eficiência, satisfação dos pacientes e bom desempenho da equipe, é um dos principais desafios enfrentados pela administração de uma instituição de saúde (Wolker, 2019).

Falhas técnicas ou erros de uso podem resultar em riscos significativos para os pacientes, impactando sua segurança e afetando a relação entre risco e benefício nos resultados desejados. Um sistema de gestão de qualidade em saúde busca melhorar os benefícios para os pacientes e minimizar os riscos dos cuidados prestados. Estudos de minimização de custos são úteis na identificação, classificação e quantificação dos custos associados ao ciclo de vida da tecnologia no ambiente hospitalar (Marchon e Mendes, 2014).

A Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 50, de 21 de fevereiro de 2002, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece normas para o funcionamento de serviços de saúde, incluindo hospitais, clínicas e laboratórios. Ela aborda uma série de questões relacionadas à gestão, estrutura física, recursos humanos, equipamentos, segurança do paciente, entre outros aspectos, visando garantir a qualidade e segurança nos serviços de saúde prestados à população (Ministério da Saúde e Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2002).

Segundo Fox (2010) revela que a perda de carga é a definição de perdas maiores, causadas por efeitos de atrito no escoamento completamente desenvolvido em tubos de seção contante com as perdas localizadas causadas por entradas, acessórios, variações de área e outras perdas. Com isso a perda de carga pode ser gerada nas variações das tubulações dos gases medicinais nos Hospitais, ou seja, aumentam ou diminuem sem adequações ao projeto, onde acabam variando os diâmetros e assim gera a perda de carga.

2.2 Perfil das Unidades de Saúde

O Sistema Único de Saúde (SUS), regulamentado pelas Leis nº 8.080/90 e nº 8.142/90, visa promover, proteger e recuperar a saúde, com participação da comunidade na gestão e transferências intergovernamentais de recursos. Ele é organizado em níveis: Atenção Primária, Média e Alta Complexidade, destacando-se a atenção primária e serviços especializados na Média e Alta Complexidade para atender às necessidades da população (Araújo, 2018. et al).

Com isso as instituições de saúde têm investido na profissionalização de sua gestão e na melhoria contínua de suas atividades administrativas, de modo essencial para lidar eficazmente com a complexidade envolvida em suas operações. É essencial que as organizações de saúde consigam garantir a prontidão e a qualidade dos materiais para proporcionar o melhor atendimento possível aos pacientes, dada a natureza crítica de lidar com vidas (Rodrigues, 2021). Profissionais especializados em diversas áreas, como infraestrutura, logística, segurança ocupacional e engenharia, desempenham um papel crucial na garantia da qualidade e segurança dos gases medicinais, desde a aquisição até a entrega ao paciente. Portanto, é fundamental realizar uma avaliação minuciosa das condições de armazenamento e distribuição desses gases para identificar e solucionar problemas, considerando também questões de gestão (Silva, 2023). O fornecimento de serviços de saúde atualmente no Brasil é realizado através do Sistema Único de Saúde - SUS, que demanda instalações apropriadas nas unidades para enfrentar as diversas questões sociais enfrentadas pela população. As especificidades das unidades são influenciadas pela gravidade dos casos, destacando-se a importância do avanço de recursos para assegurar e aprimorar a excelência dos cuidados médicos (Machado, 2016).

As Policlínicas também são um modelo de prestação de serviços de saúde especializados que segue o princípio da regionalização, promovendo a descentralização dos serviços e a negociação entre os gestores. Seu propósito é assegurar o acesso e a abrangência dos cuidados de saúde, reduzir disparidades e fomentar a igualdade, sem discriminação ou favorecimento, especialmente para os mais necessitados. Isso fortalece o papel dos estados e municípios na gestão de recursos e na melhoria dos serviços de saúde (Alencar, 2015).

Com a reestruturação da Política Nacional de Atenção às Urgências (PNAU), foram introduzidas as Redes de Atenção às Urgências, que são estabelecidas com definições de portas de entrada hospitalares de urgência, leitos de suporte, leitos de longa permanência e unidades de terapia intensiva. O Ministério da Saúde classifica as Unidades de Pronto Atendimento (UPAs) em três níveis I, II e III, tal classificação usa como critério o quantitativo da população do município-sede, número de leitos, capacidade física, gestão de recursos humanos, além da capacidade diária de atendimento médico (Ferri, 2013).

A classificação dos portes das UPAs são distribuídos em: UPA I – 150 atendimentos, UPA II - 250 atendimentos e UPA III – 350 atendimentos. Esse tipo de atendimento é acolhedor aos usuários, para o tratamento de pacientes com condições agudas clínicas, cirúrgicas ou de trauma. O serviço possui o objetivo de estabilizar os pacientes, e logo após avaliar seu diagnóstica inicial, para depois determinar a necessidade de encaminhamento a hospitais mais complexos. (Ministério da Saúde, 2023).

Conforme dado do Ministério da Saúde (2022), em um contexto hospitalar e de serviços de saúde, os níveis de complexidade variam de acordo com a amplitude e especialização dos serviços oferecidos, desde hospitais e UPAs de alta complexidade, que lidam com emergências graves e cirurgias complexas, até postos de saúde e clínicas de baixa complexidade, que se concentram em cuidados primários e tratamento de condições menos graves. A Tabela 1 mostra a classificação e o perfil das unidades de saúde no Brasil.

Tabela 1. Classificação e perfil das unidades de saúde.

BAIXA COMPLEXIDADE

Postos de Saúde e Clínicas de Baixa Complexidade - São unidades de saúde que oferecem serviços básicos de atenção primária, como consultas médicas de rotina, vacinações, cuidados pré-natais, exames básicos de laboratório e tratamento para doenças comuns, como resfriados, gripe e infecções leves. Elas não têm capacidade para procedimentos cirúrgicos ou tratamento de condições médicas graves.

MÉDIA COMPLEXIDADE:

UPAs, Policlínicas e Centros de Especialidades Médicas de Média Complexidade - São unidades de saúde que oferecem consultas médicas especializadas, exames diagnósticos e tratamentos para uma variedade de condições médicas não emergenciais. Elas podem incluir especialidades como ginecologia, pediatria, cardiologia, oftalmologia, entre outras. Embora possam oferecer alguns serviços de diagnóstico e tratamento mais simples, geralmente não têm capacidade para procedimentos cirúrgicos complexos ou tratamentos intensivos.

ALTA COMPLEXIDADE:

Hospitais de Alta Complexidade - São unidades hospitalares que oferecem uma ampla gama de serviços especializados e avançados, incluindo cirurgias complexas, terapia intensiva, tratamento de doenças graves, atendimento a emergências e procedimentos de alto risco. Geralmente, esses hospitais têm recursos avançados de diagnóstico, como ressonância magnética, tomografia computadorizada e laboratórios de análises clínicas bem equipados.

Fonte: (Ministério da Saúde, 2022)

2.3 Aplicação de gases medicinais em Hospitais

Conforme a legislação atual, os gases e suas combinações destinadas à aplicação em seres humanos (os gases terapêuticos) devem atender aos critérios específicos que se aplicam aos remédios. (Dinis, 2012). Os gases medicinais são gases ou misturas de gases, usados como medicamentos, destinados a tratar ou prevenir doenças em humanos ou administrados a humanos para fins de diagnóstico médico, tratamento ou prevenção de doenças, e para restauração, correção ou modificação de funções fisiológicas (Brasil, 2008) (Ribeiro, 2012).

De acordo com Silva (2021) um gás medicinal é aquele fabricado, embalado e destinado à administração a um paciente para anestesia, terapia ou diagnóstico. Como gás terapêutico, é prescrito como anestésico, agente de entrega de medicamentos, tratamento de doenças ou fonte de energia para instrumentos cirúrgicos e odontológicos. São fornecidos por fabricantes licenciados que seguem os controles de qualidade da agência reguladora de medicamentos. Devem ser extremamente puros, com pelo menos 99,95% do gás correspondendo à sua identificação.

A RDC 870/2024 define os requisitos mínimos para a notificação, o registro e as mudanças pós-registro de gases medicinais enquadrados como medicamentos e a demanda que esses produtos mantenham um alto padrão de qualidade, segurança e eficácia, sendo necessário que cumpram os requisitos técnicos estabelecidos na Farmacopeia Portuguesa (Dinis, 2012). Atualmente, os gases medicinais estão sendo usados para diversas aplicações clínicas, e sua distribuição canalizada é uma conquista histórica no campo de atendimento ao paciente. A segurança do paciente é de suma importância no projeto, instalação, comissionamento e operação de sistemas de gasodutos medicinais (Sarangi, Babbar e Taneja, 2018).

2.4 Sistemas de armazenamento de gases medicinais

A demanda por sistemas de distribuição de gases medicinais em ambientes hospitalares é sempre de grande relevância para o eficiente funcionamento de uma unidade hospitalar (Nava Junior, 2007). Um sistema de gases medicinais é uma rede de equipamentos e dispositivos usados para fornecer gases a pacientes e/ou equipe médica.

Os sistemas de gases medicinais podem ser usados em diferentes ambientes e geralmente incluem uma fonte central de gases medicinais, como tanques a granel ou cilindros de alta pressão, e uma rede de tubos e conexões que distribuem os gases para as várias áreas da unidade de saúde.

O gás é então fornecido ao paciente por meio de dispositivos médicos especializados, como máscaras de oxigênio ou cânulas nasais (Highley, 2009), (Sarangi, Babbar e Taneja, 2018) e (Coffman, 2023). Os sistemas de gases medicinais são projetados para garantir a entrega segura e confiável de gases medicinais aos pacientes e são uma parte importante da infraestrutura geral de saúde. Os sistemas de gás medicinal também são chamados de máquinas de oxigênio medicinal ou equipamentos de suprimento de ar medicinal (Costa, 2022).

As centrais de gases medicinais devem ser projetadas de acordo com as normas NBR 12.188/2016 e NBR 13.587/2017 (Moll, 2007) (Marczyk, 2022). Conforme Brasil, 2002 e NBR 12.188/2016 as centrais de gases medicinais devem fornecer um suprimento ininterrupto de gás em alta pressão ajustado por reguladores de pressão, fornecendo uma pressão manométrica constante a jusante de 400 kPa ou 700 kPa.

Devem ser de tal maneira instalados que permitam fácil acesso aos equipamentos móveis de suprimento às pessoas autorizadas. Os ambientes onde estão instaladas as centrais e usinas concentradoras devem ser exclusivos para as mesmas, não podendo ter ligação direta com locais de uso ou armazenagem de agentes inflamáveis. O seu piso deve ser de material não combustível e resistente ao oxigênio líquido e/ou óxido nítrico líquido. Caso haja declive nesse piso, deve ser eliminada a possibilidade de escoamento do oxigênio líquido atingir as áreas adjacentes que tenha material combustível (Schneider, 2011).

Em sistemas ou centrais de gases medicinais estão disponíveis gases como oxigênio Medicinal (O_2), Ar Medicinal, Nitrogênio Medicinal (N_2), Óxido Nítrico Medicinal (N_2O), Óxido Nítrico (NO), Dióxido de Carbono Medicinal (CO_2), entre outros, cujo suprimento deve ser confiável e seguro para fornecer o melhor atendimento possível aos pacientes (Lopez; Abreu, 2013). Além desses sistemas, existe o *backup* de cilindros, que fornecem um suprimento contínuo de gás, onde mudarão automaticamente para o lado reserva quando o gás estiver acabando. Esses cilindros compreendem com um painel de troca automática com monitoramento de alarme e status (opcional), um conjunto de válvula de isolamento e alívio, válvula anti-retorno (Silva, 2021).

Neste estudo serão avaliados os sistemas de armazenamento e distribuição dos gases oxigênio Medicinal (O_2), Ar Medicinal.

2.4.1 Sistema de armazenamento para Oxigênio Medicinal (O_2):

O oxigênio tem uma função vital para os seres vivos, ele também é amplamente utilizado na medicina, nas indústrias e nas usinas e é utilizado em diversas áreas do ambiente hospitalar, para o tratamento de doenças respiratórias, controle de ataques cardíacos e terapias para aumento da saturação (Leite, 2006).

Os sistemas de abastecimento oxigênio medicinal compreende basicamente em: centrais de suprimento com cilindros, centrais de suprimento com tanque criogênico e usinas concentradoras.

a) Centrais de suprimento com cilindros: Contêm oxigênio no estado gasoso é mantido em alta pressão devendo ter duas baterias de cilindros, sendo uma reserva, que fornecem o gás à rede de distribuição sem interrupção conforme demonstrado na Figura 1. A capacidade da central deve ser dimensionada de acordo com o fator de utilização previsto e a frequência do fornecimento, sendo no mínimo igual ao consumo normal de dois dias, a não ser nos casos de fornecimento comprovado mais frequente ou mais dilatado (Leite, 2006).

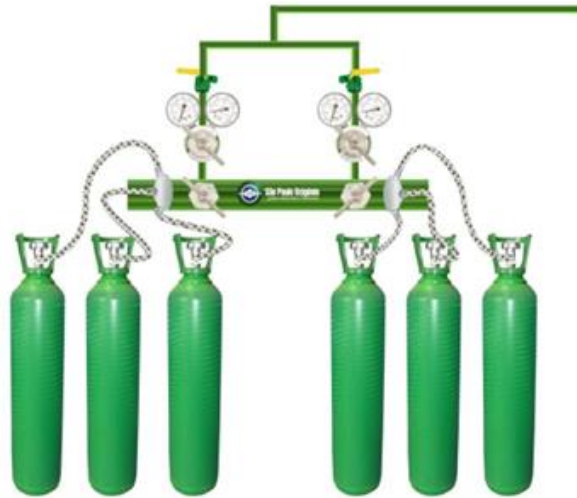


Figura 1. Central de suprimento com cilindros de oxigênio.

Fonte: São Paulo Oxigênio, 2023.

b) Centrais de suprimento com tanque criogênico: Contêm o oxigênio no estado líquido que é convertido para o estado gasoso através de um sistema vaporizador (Figura 2). Esse tipo de instalação tem uma central de cilindros como reserva para atender a possíveis emergências, com um mínimo de dois cilindros, e ambos dimensionados de acordo com o fator de utilização proposto e a frequência do fornecimento (Gómez-Chaparro, 2018).

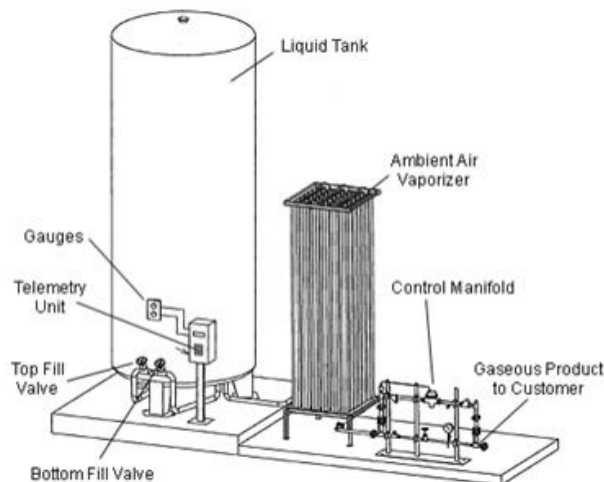


Figura 2. Sistema típico de armazenamento de oxigênio líquido juntamente com seção transversal do tanque de armazenamento.

Fonte: Mimbarcas Junior, 2018.

c) Usinas concentradoras: O sistema é constituído de máquinas acionadas por energia elétrica que obtêm o oxigênio medicinal a no mínimo 92% de pureza. Neste caso, o oxigênio medicinal é obtido a partir do ar atmosférico através de peneiras moleculares, necessitando de um outro tipo de sistema como reserva (Moll, 2007). A Figura 3 mostra um sistema de usina de oxigênio, onde esta funciona através do ar atmosférico e retira apenas o oxigênio medicinal.

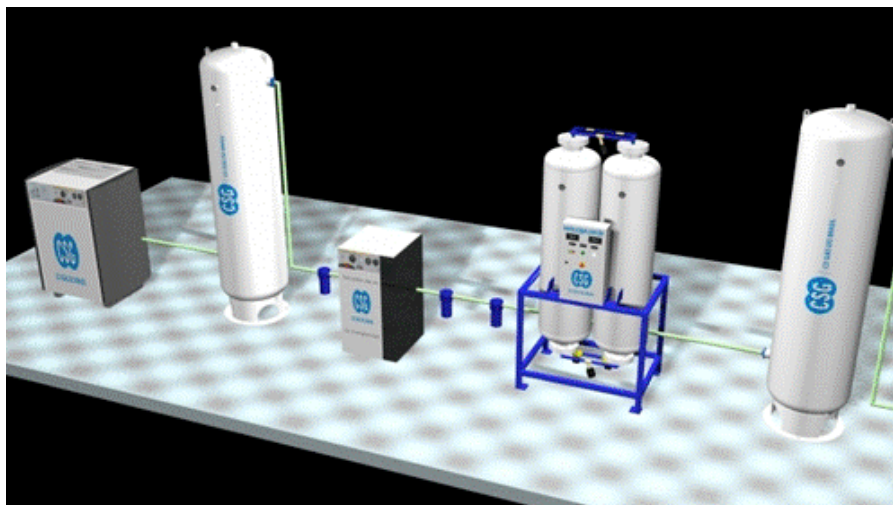


Figura 3. Usina concentradora de Oxigênio

Fonte: Catálogo Hospitalar, 2024.

Segundo o Ministério da Saúde os cilindros são utilizados no caso de emergências e uso eventual. O abastecimento é descentralizado em cilindros transportáveis até os pontos de utilização além disso, as baterias de cilindros devem estar conectadas a uma válvula reguladora de pressão capaz de manter a vazão máxima do sistema centralizado de forma contínua. Já os tanques e usinas são sistemas centralizados. Neste caso, o gás é conduzido por tubulação da central até os pontos de utilização. 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 (Brasil, 2002).

Os sistemas devem estar protegidos de fonte de calor como os incineradores, as caldeiras e outras, de tal forma que não haja possibilidade dos cilindros e demais equipamentos da central atingirem uma temperatura acima de 54°C. Da mesma forma devem ficar afastados de transformadores, contactores, chaves elétricas e linhas abertas de condutores de energia elétrica. Os sistemas devem estar obrigatoriamente localizados acima do solo, ao ar livre ou quando não for possível, em um abrigo à prova de incêndio, protegido das linhas de transmissão de energia elétrica. Não podem estar localizados na cobertura da edificação (Leite, 2006).

2.4.2 Sistema de armazenamento para Ar medicinal

O ar medicinal é utilizado na terapia respiratória, em combinação com o oxigênio na administração de medicamentos através da nebulização e, quando não for possível a utilização do sistema de vácuo, para aspiração. Além disso, é utilizado como fonte primária de energia mecânica na movimentação de equipamentos pneumáticos, como serras de gesso e aparelhos de anestesia e na limpeza e secagem de equipamentos médicos (Santos, 2002).

O ar medicinal comprimido utilizado para fins terapêuticos deve ser isento de óleo e de água, desodorizado em filtros especiais e gerado por compressor com selo d'água, de membrana ou de pistão com lubrificação a seco. No caso de utilização de compressores lubrificados a óleo, é necessário um sistema de tratamento para a retirada do óleo e de odores do ar comprimido (Brasil, 2002).

A central de suprimento deve conter no mínimo, um compressor e um suprimento reserva com outro (s) compressor (es), equivalente ao primeiro, ou cilindros (Mimbarcas Junior, 2018).

Pressupõe, portanto, a existência de suprimento de energia elétrica de emergência. Já no caso de central de suprimento reserva de cilindros, devem ser instalados, no mínimo, dois cilindros, e seu dimensionamento é função do consumo e frequência do fornecimento (Leite, 2006). A Figura 4 mostra o conjunto com os compressores de ar medicinal, e tem o seu reservatório para o seu devido armazenamento. Onde tem a sua fonte principal e sua fonte reserva, cada uma com dois compressores, um funciona como principal e o outro funciona como reserva, sendo solicitado quando o principal se encontra em manutenção.



Figura 4. Central de Ar Medicinal Comprimido Montada sobre Reservatório.

Fonte: Catálogo Hospitalar, 2024.

A central de suprimento de ar medicinal por compressores se trata de um sistema que admite o ar atmosférico através de compressores de ar que comprimem esse ar até cerca de 7 kgf/cm². O ar captado apresenta muitos contaminantes que para ser usado em aplicações medicinais, precisa passar por tratamentos para retirada de impurezas e umidade, são utilizados filtros e secadores que tem por finalidade retirar partículas, umidade, odores e outros contaminantes líquidos que estiverem presentes (DUARTE, 2017). A central de suprimento de ar comprimido além do compressor, apresenta outros elementos os quais tem a finalidade de garantir o padrão necessário em termos de qualidade e parâmetros dos gases medicinais fornecidos:

Compressor: tem função de admitir o ar atmosférico, de forma a realizar o processo de compressão do mesmo com a finalidade de manter o sistema pressurizado. De acordo com as normas técnicas NBR 12.188/2016, o uso de compressores para aplicações medicinais requer que o mesmo apresente selo de água, membrana, scroll ou pistão com lubrificação a seco, entretanto na prática são usados outros tipos de lubrificação (Santos, 2002).

Resfriador: este equipamento nem sempre se encontra presente devido ao tipo de sistema, porém em sistemas em que o compressor não está acoplado a um sistema refrigerador, é necessário reduzir a temperatura do ar comprimido para que a etapas em que água é eliminada sejam iniciadas (Macintyre, 1996).

Reservatório: além de armazenar o ar já comprimido e regularizar o trabalho dos compressores, tem função de resfriar o ar a temperatura ambiente e estabiliza-lo. O reservatório é responsável por condensar boa parte da umidade separa do óleo usado na lubrificação do compressor, sendo os mesmos eliminados pelo sistema de purga (Macintyre, 1996, Rollins, 2004;)

Separador de condensado: estes filtros têm função de reduzir a velocidade do ar e direcionar parte da umidade a ser eliminada assim como eliminar particulados maiores.

Secador: esse dispositivo tem função de separar grande parte da umidade existente no ar atmosférico. Os secadores utilizados, em geral, podem ser de dois tipos: com a finalidade de condensar a umidade, assim como auxiliar no processo de eliminação da mesma, ou por adsorção que é composto por duas colunas que possuem material adsorvente, como alumina ativada e sílica em gel, materiais responsáveis pelo processo de adsorver e eliminar o excesso de umidade (Rollins, 2004)

Filtros coalescentes: projetados para remover partículas sólidas de óleo assim como a umidade existente no ar comprimido, sendo que este processo tem influência principal vinda da ação do campo gravitacional. Estes elementos não apresentam eficiência em relação a eliminação de odores assim como auxiliar no processo de eliminar vapores de água e partículas de óleo. O

atendimento destas demandas pode ser alcançado por meio do uso de filtros de carvão ativado, os quais tem a função de “absorvedores” (Rollins, 2004).

Purgadores: estes dispositivos são instalados nos reservatórios, filtros e secador, sendo que os mesmos podem ser do tipo manual, automático ou eletrônico. No manual é necessário que alguém o acione, no automático a sua abertura é por meio de válvulas solenoides automáticos e na forma eletrônica, o acionamento é por meio de um temporizador (Pereira, 2022).

A norma NBR 12.188/2016 admite que, a central de suprimento deve ter no mínimo, um compressor e um suprimento reserva com outros compressores, equivalentes ao primeiro, ou cilindros. Cada compressor deve ter produção de 100% do consumo máximo provável, podendo funcionar de forma automática ou manual, composta em paralelo ou alternado, em casos de emergência. Para situação em que for central de reserva de cilindros, no mínimo dois cilindros deveram ser instalados com seu cálculo em função do consumo e frequência de fornecimento.

A central de gases de ar medicinal deve haver um suprimento reserva através de uma bateria de cilindros na forma gasosa e suas válvulas devem ser mantidas sempre abertas com todos os cilindros cheios e acoplados à central de gases, sob o risco de interrupção no fornecimento de gás (Lopez; Abreu, 2013). A Figura 5 mostra um sistema de suprimento reserva de cilindros, que tem como objetivo a garantia de funcionamento se houver uma parada no equipamento principal (Leite, 2006).



Figura 5. Suprimento reserva de cilindros de ar comprimido medicinal

Fonte: Lopez; Abreu 2013.

2.5 Redes de Distribuição

A rede de distribuição tem o papel fundamental, pois serve como caminho entre os equipamentos e os pacientes, onde deverão ser confeccionadas em cobre, onde atendem as demandas necessárias para os pacientes das Unidades de Saúde (Mimbarcas Junior, 2018).

2.5.1 Identificação

A identificação da tubulação dos gases e vácuo medicinais deve seguir as orientações apresentadas na NBR 12.188/2016. A Tabela 2 apresenta as cores de cada tubulação definidas conforme padrão de Munsell (NBR 12.188, 2016).

Tabela 2. Cor de identificação do gás e vácuo.

Gás	Cor	Padrão Munsell
Ar medicinal	Amarelo-segurança	5 Y 8/12
Óxido nitroso	Azul-marinho	5 PB 2/4
Oxigênio Medicinal	Verde-emblema	2,5 G 4/8
Nitrogênio Medicinal	Preta	N 1
Dióxido de carbono Medicinal	Branco gelo	N 8,5
Vácuo Clínico	Cinza-claro	N 6,5

Fonte: NBR 12.188, 2016.

As tubulações, válvulas reguladoras de pressão, manômetros e outras válvulas que fazem parte da central de gases medicinais, devem ser construídos com materiais adequados ao tipo de gás com o qual irão trabalhar e instalados de forma a resistir às pressões específicas (Brasil, 2002). No caso, dos gases como oxigênio e ar medicinal, os mesmos são normalmente advindos de sistemas de distribuição centralizados nos quais o gás é conduzido da central de suprimento até os pontos de distribuição (Costa, 2022).

2.5.2 Soldagem

Este é um processo de união de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada (Dinis; Capoulas; Neves, 2012). A aplicação das tubulações deve levar em conta que sejam utilizadas ligas de prata 35% com alto ponto de fusão, acima de 537°C, depositados por meio de processos oxi-acetilênico, além da necessidade destes processos serem realizados soldadores qualificados. De acordo NBR 12.188 de 2016, não são permitidas a aplicação de cordões de solda relativos a ligas de estanho.

Segundo a norma NBR 13.587/2017 o sistema de distribuição de gases medicinais deve apresentar um sistema de válvulas, as quais regulam a vazão dos gases medicinais que escoam através dos sistemas, os quais também tem influência direta no processo de gerenciamento do sistema de distribuição, pois permitem a avaliação direta em relação a perda de carga ao longo do sistema, assim como auxilia no processo de estimativas em relação a pontos de perda de gases de acordo com vazamento em pontos específicos do sistema. Estes elementos previstos em normas técnicas fornecem dados de extrema relevância para a execução do referido estudo.

Conforme Brasil, 2002 as válvulas de seção devem ser instaladas em local acessível, sem barreiras que impeçam sua operação em casos de manutenção ou de emergência. Devem estar sinalizadas com aviso de advertência para manipulação somente por pessoal autorizado. Deve ser colocada uma válvula de seção após a saída da central e antes do primeiro ramal de distribuição. Cada ramal secundário da rede deve ter uma válvula de seção instalada de modo que permita isolar esse ramal, não afetando o suprimento dos outros conjuntos.

Os gases medicinais são medicamentos que passam por grande parte do hospital, onde o caminho percorrido nem sempre passam fisicamente pelos serviços farmacêuticos, conforme a Figura 6 destaca-se que os gases medicinais podem ser conduzidos desde a central de gases medicinais (CGM), por um sistema de redes de distribuição de gases medicinais (SRDGM), até aos serviços clínicos para ser administrado ao (Dinis; Capoulas; Neves, 2012).



Figura 6: Representação esquemática do fornecimento dos gases medicinais numa unidade de saúde.

Fonte: [Pedro Gomes, 2023](#)

2.5.3 Válvula

Conforme Dinis, Capoulas, Neves (2012), as válvulas utilizadas nos gases medicinais podem ser simples, podendo ser usada para redução da pressão e para a seleção do fluxo. Existem válvulas que integram todas estas funcionalidades, facilitando o seu manuseio, sendo ótimas para utilização na emergência médica e no transporte de doentes.

A norma NBR 12.188 de 2016 cita válvulas que são utilizadas pelo sistema de distribuição.

- a) Válvula de alívio de pressão: válvula que permite a saída do gás para o exterior, caso a pressão no sistema atinja níveis acima do preestabelecido;
- b) Válvula auto vedante: válvula para o bloqueio automático e imediato da vazão (fluxo) dos gases e do vácuo, quando da desconexão de quaisquer acessórios do posto de utilização;
- c) Válvula de segurança: é uma válvula de alívio de pressão;
- d) Válvula reguladora de pressão: válvula capaz de reduzir a pressão de entrada e manter a pressão de saída regulada a um valor compatível com a utilização;
- e) Válvula de retenção: válvula que permite a passagem do gás ou vácuo em apenas um sentido;
- f) Válvula de seção: válvula de bloqueio de vazão (fluxo) de gases ou vácuo.

As válvulas são exigidas nas tubulações nas unidades de saúde, pois facilita o trabalho das equipes de saúde e aumenta o nível de segurança, onde pode-se citar as válvulas para alívio de pressão a qual libera o excedente de pressão para o exterior devido a aumento de temperatura ou por falha no sistema. Válvulas de segurança ou de seção que bloqueiam a volta de gás durante situações de acidentes (BRASIL, 2002). Deve ser instalada uma válvula de secção após a saída da central e antes dos ramais de distribuição aos setores, sendo posta em local acessível (NBR 12.188, 2016).

2.5.4 Sistemas de alarme e monitoração

Os sistemas de alarme têm o objetivo de sinalizar, por meio sonoros e visuais emitido pelos equipamentos, algum problema no sistema de distribuição de gases medicinais. Segundo a (NBR 12.188, 2016), o sistema de alarme pode ser dividido em:

- a) Alarmes de emergência imediata tanto do pessoal técnico como do pessoal clínico;
- b) Alarmes operacionais os quais notificam que existe uma ou mais fontes de abastecimento que não estão disponíveis para uso e é necessário desenvolver uma ação;
- c) Alarmes operacionais de emergência: indicam uma pressão anormal dentro de uma canalização e devem requerer uma intervenção imediata do pessoal técnico;

d) Alarme informativo: são sinais informativos que indicam o estado normal de funcionamento do sistema.

O monitoramento do status da instalação de gases em tempo real, permite que seja sinalizado a todos com alarme e avisos luminosos, onde dependendo da gravidade do problema poderá ter uma ação rápida. A Tabela 3 mostra a classificação dos alarmes e as características dos sinais segundo a NBR 12.188/2016.

Tabela 3. Classificação dos alarmes e as características do sinal.

Categoria	Resposta do Operador	Cor do Indicador	Sinal Visual	Sinal Sonoro
Alarmes de emergência	Resposta imediata por se tratar de situação perigosa	Cumprir a Norma Internacional IEC 60601-1-8	Cumprir a Norma Internacional IEC 60601-1-8	Cumprir a Norma Internacional IEC 60601-1-8
Alarme operacional	Resposta rápida a uma situação perigosa	Amarelo	Intermitente	Opcional
Alarmes operacionais de emergência	Resposta imediata por se tratar de situação perigosa	Vermelho	Intermitente	Sim
Alarme informativos	Conhecimento do estado normal	Não Amarelo Não Vermelho	Constante	Não

Fonte: NBR 12.188, 2016.

É possível notar que a Tabela 3 apresenta relevantes informações em relação a montagem e instalação de sistemas de distribuição de gases medicinais. A implementação da norma técnica é de grande relevância visto que os protocolos apresentados têm influência na demanda de instrumentação para verificação de parâmetros como vazão, perda de carga em relação à quantidade de carga de gases medicinais perdida para o meio externo. A instrumentação que permite a medição dos referidos parâmetros deve ser inserida de acordo com a montagem e instalação do sistema de distribuição de gases de forma que seja possível implementar uma metodologia eficiente para a execução do estudo que está sendo proposto (NBR 12.188, 2016).

Conforme 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 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 instalados, 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 (Brasil, 2002).

2.6 Aplicação nos hospitais do Estado do Maranhão

Segundo a Secretaria de Saúde, o Estado do Maranhão tem hoje mais de 72 hospitais e 11 Unidades de Pronto Atendimento (UPAs). Essa expansão da rede pública de saúde se deu por meio do Programa "Saúde é Vida" que permitiu a construção dessas unidades de saúde pelo Governo do Estado do Maranhão.

Embora cada unidade possua mais de um tipo de central de suprimento primário para fornecimento de gases medicinais utilizados dentro dos seus setores, o presente trabalho vai tratar apenas dos principais sistemas centralizados existentes no Estabelecimento de Atendimento à Saúde

já que para o fornecimento de um específico tipo de gás, mais de um sistema de fornecimento centralizado pode abastecer a referida unidade de saúde (NBR 12.188, 2016).

Os padrões previstos no contrato em relação ao fornecimento de cada central de gás medicinal ou vácuo, são baseados em normas técnicas específicas como a NBR 12.188/2016 e a NBR 13.587/2017 que regem as condições e boas práticas de gestão de gases medicinais, já vistas no decorrer do referencial teórico deste trabalho.

Conforme a Secretaria de Saúde do Estado do Maranhão hoje o Maranhão tem 32 Tanques criogênicos de Oxigênio e 35 centrais de ar medicinal, 22 Usinas geradoras de Oxigênio e 66 unidades de saúde atendidas com cilindros.

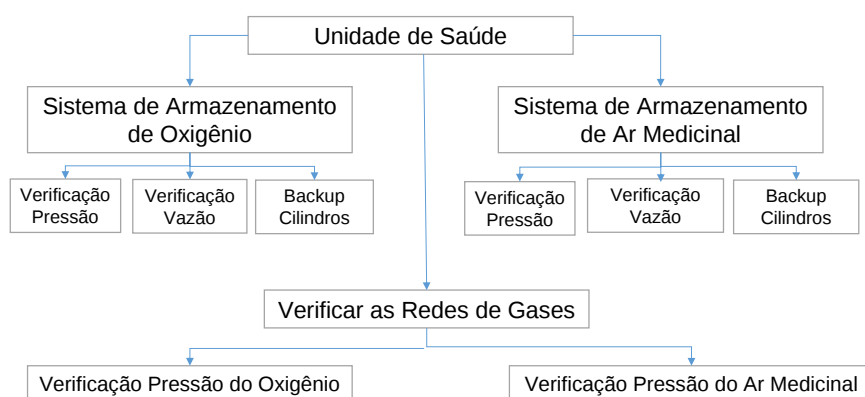
3. Metodologia

O estudo foi realizado no período de julho/2023 a junho/2024, nos 3 (três) estabelecimentos de Assistência à Saúde do Estado do Maranhão, sendo que todos estão localizados na Região Metropolitana da Grande Ilha de São Luís: a Unidade de Pronto Atendimento Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar onde fica localizada no bairro Maiobão no município de Paço do Lumiar – MA e atende gratuitamente a população, por meio do Sistema Único de Saúde (SUS). A unidade conta com 27 leitos sendo 16 leitos da ala amarela, 6 leitos da ala pediátrica, 5 leitos da ala vermelha. O Hospital Genésio Rego fica localizado no bairro Vila Palmeira na cidade de São Luís. O hospital conta com 50 leitos onde destes, 40 leitos correspondem a clínica geral adulto, 8 leitos de Unidade de Terapia Intensiva (UTI) e 2 leitos de isolamento. O Hospital Dr. Carlos Macieira (HCM) localizado no bairro do Renascença na cidade de São Luís – MA. O Hospital Dr. Carlos Macieira é referência de alta complexidade na Rede Pública de Saúde do Maranhão. O hospital dispõe de 239 leitos, onde tem 80 leitos clínico geral adulto, 69 leitos de cirurgia geral adulto, 4 leitos de cirurgia pediátrica, 60 leitos de Unidade de Terapia Intensiva (UTI) adulto, 8 leitos de Unidade de Terapia Intensiva, 15 leitos de clínica adulto e 4 Unidade de Terapia Intensiva (UTI) pediátrica.

A metodologia que foi desenvolvida neste trabalho consistiu inicialmente em realizar um diagnóstico da situação atual dos estabelecimentos de assistência à saúde do Estado do Maranhão para tanto, foi criado um questionário/checklist de verificação das Unidades de Saúde realizados *in loco* (Apêndice 1). O questionário/checklist contém itens que abordam as normas e legislações vigentes relacionadas aos gases medicinais: NBR 12.188/2016, RDC 50 (Brasil, 2002) e NBR 13.587/2017. O questionário/checklist elaborado foi de acordo com a especificidade de cada unidade de saúde. Para a aplicado a Unidade de Pronto Atendimento do Paço do Lumiar, foi verificada a pressão da usina, tanto para o oxigênio e ar medicinal e a limpeza dos equipamentos. Além disso, foi analisada as condições da rede de gases medicinais da UPA, realizada a medição dos painéis e verificado as condições dos cilindros. No Hospital Genésio Rego foi verificada a pressão do tanque para o oxigênio e da central de ar medicinal, a limpeza dos equipamentos, as condições da rede de gases medicinais do hospital, a medição dos painéis e as condições dos cilindros. Para o Hospital Carlos Macieira foi verificada a pressão do tanque para o oxigênio e da central de ar medicinal, a limpeza dos equipamentos, as condições da rede de gases medicinais do hospital e, ainda foram feitas medições dos painéis e verificada as condições dos cilindros.

A pesquisa do levantamento do diagnóstico real das unidades referentes as gestões do oxigênio e ar medicinal foi realizada no mínimo duas vezes no mês, durante 12 (doze) meses em dias e turnos aleatórios, as inspeções foram realizadas durante a rotina de atividades do serviço das unidades, a fim de permitir uma análise da gestão dos gases em estudo. As visitas técnicas objetivavam verificar a pressão e vazão dos pontos do gás oxigênio e ar medicinal das unidades de saúde selecionadas neste trabalho.

O levantamento do diagnóstico foi realizado de acordo com a especificidade de cada unidade de saúde segundo o armazenamento e a gestão dos gases medicinais utilizados conforme figura 7, que destaca o passo a passo feito nas visitas nas Unidades de Saúde.

**Figura 7.** Fluxo das coletas das informações (pressão e vazão).**Fonte:** Autor, 2024

O diagnóstico real abordou questões relacionadas as seguintes análises: o tipo e os requisitos em termos de instrumentação (válvulas, manômetros e alarmes de emergência) do sistema de armazenamento e distribuição de gases, a capacidade de bombeamento do sistema, as condições da pressão de entrada de cada posto de utilização, a diferença de pressão necessária para o escoamento do gás através do sistema de distribuição, a sensibilidade e a precisão dos instrumentos de medida de pressão, a análise de temperatura das redes de gases medicinais, entre outras.

O estudo ainda previu a elaboração de um diagnóstico onde tem a aplicação do planejamento, fazer, checar e ação corretiva (PDCA) conforme adaptações da metodologia descrita por Fornari Junior (2010). Com o intuito de checagem de possíveis problemas encontrados nas verificações. A partir do uso de dados adquiridos de forma direta nas unidades de saúde, foi gerado um banco de dados o qual a partir dela pretende construir um modelo teórico e prático para avaliar o comportamento dos gases medicinais observados, de acordo com a operação do sistema de distribuição dos gases medicinais.

De forma complementar este estudo realizou uma simulação numérica simplificada a partir de uma estimativa no aumento da demanda simulando o aumento no consumo dos gases frente a uma “nova pandemia” uma vez que, conforme recomendação da NBR 12.188/2016 deve ser previsto espaço físico adequados para os suprimentos primários e secundários.

Para tanto, foi adotado o cálculo do dimensionamento para as unidades de saúde de acordo com a norma NBR 12.188/2016 (ANEXO I). Para a determinação do número de leitos de Unidade de Terapia Intensiva (UTI) necessários nestes casos, foi utilizado a Tabela B.1 (ANEXO I) que descreve os fatores de Simultaneidade (%) por área e, para a determinação numérica de leitos foi utilizado a Tabela B.3 (Anexo I). A determinação dos dados de vazão de oxigênio e de vazão de ar medicinal, em litros por minutos, foram obtidos conforme a Equação 1.

$$\text{Vazão} = 60 \text{ L/min} \times \left(\frac{\text{Nº de leitos da unidade de saúde}}{\text{unidade de saúde}} \right) \times 80\% \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

60L/min: valor indicado pela norma NBR 12.188/2016 na Tabela B.3

80%: percentual indicado pela norma NBR 12.188/2016 na Tabela B.1

4. Resultados e Discussão

4.1 Sistemas de Armazenamento das Unidades de Estudo

Neste estudo foi inicialmente realizado um diagnóstico da situação atual dos estabelecimentos de assistência à saúde selecionados: A UPA de Paço do Lumiar, o Hospital Genésio Rego e o Hospital Carlos Macieira. Conforme mapa na figura 7, que mostra a localização exata dos locais das Unidades de Saúde, onde reforça a escolha por cada Unidade pela classe social da sua localização, onde observa-se no Mapa que a UPA Paço do Lumiar fica localizada na área periférica da ilha de Upaon Açú, o Hospital Genésio Rego está localizado na parte central onde fica uma parte da classe intermediária, e o Hospital Carlos Macieira fica localizado na parte nobre da Ilha de São Luís. Outro critério na escolha das Unidades de Saúde são as classificações e os diferentes perfis, para assim ter uma avaliação geral abrangendo todos os níveis.

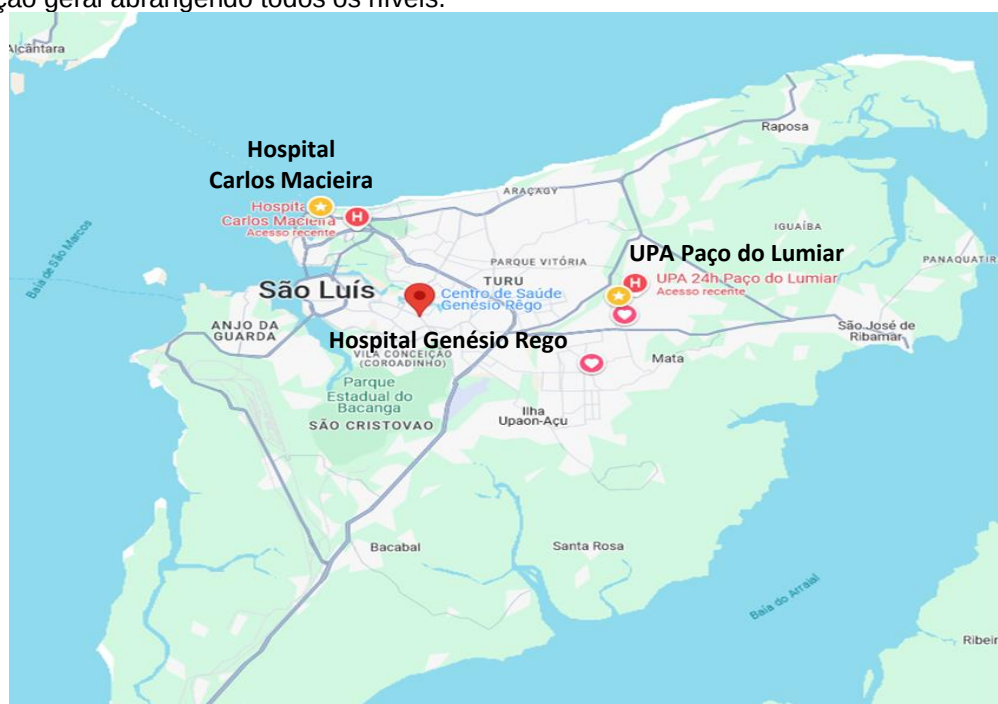


Figura 8: Imagem da Localização das 3 Unidades de Saúde

Fonte: Google, 2024

O diagnóstico realizado *in loco* abordou critérios descritos nas normas e legislações vigentes relacionadas aos gases medicinais: NBR 12.188/2016, RDC 50 (Brasil, 2002) e NBR 13.587/2017.

E para exemplificar, a Figura 9 mostra a logística de como o trabalho foi desenvolvido no Hospital Genésio Rego, onde tem o detalhamento desde a chegada no Hospital até a ida nos locais de armazenamento (oxigênio e ar medicinal) para verificação da pressão, limpeza e cilindros backups e depois verificação da rede de gases e pressão no final da rede de gases.

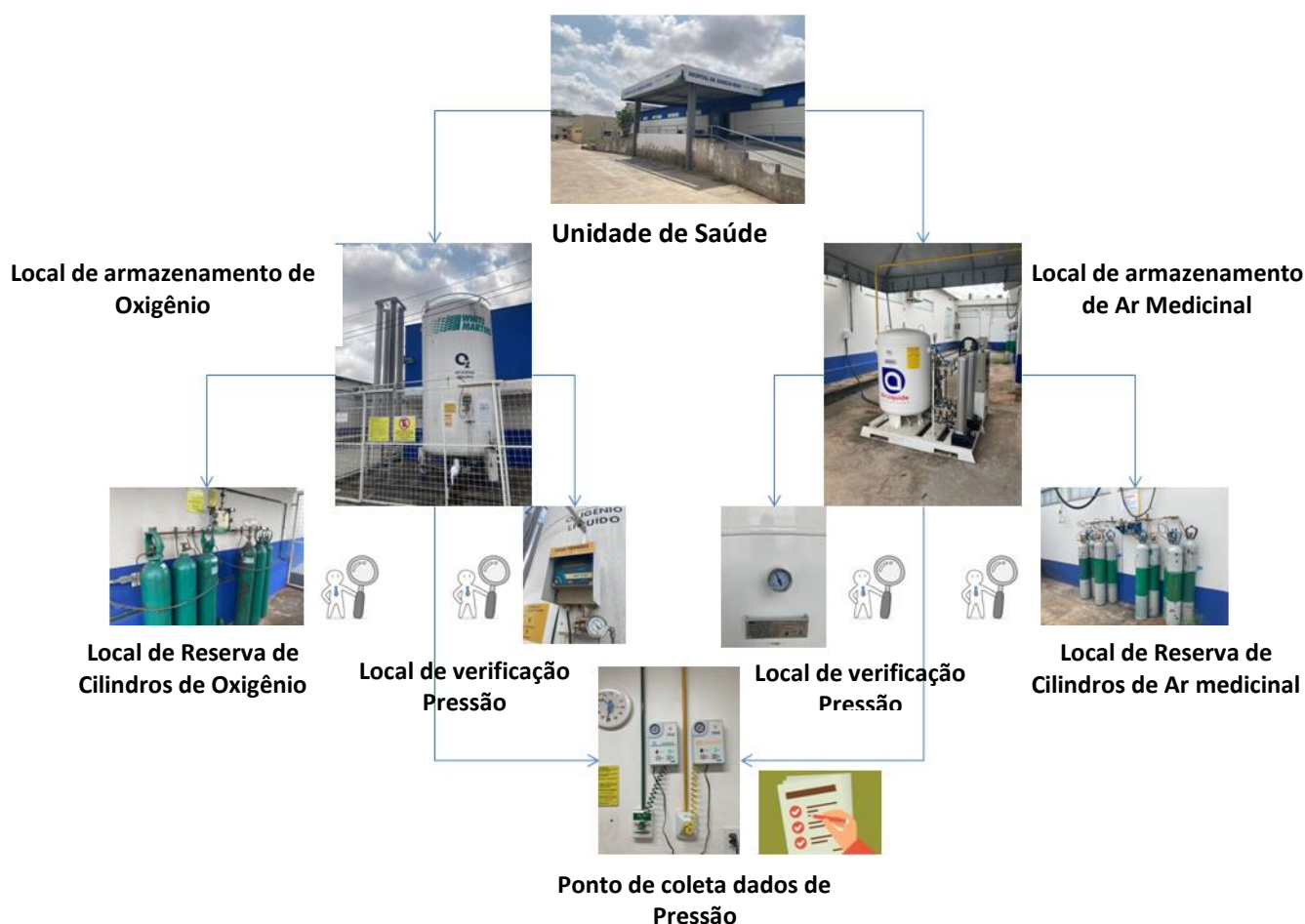


Figura 9. Exemplo Fluxo das coletas das informações (pressão e vazão) do Hospital Genésio Rego.

Fonte: Autor, 2024

A Unidade de Pronto Atendimento do Paço do Lumiar utiliza como sistema de armazenamento usina e módulos, uma vez que a demanda é fixa, ou seja, tem um limite de utilização de oxigênio e ar medicinal. Isto se deve visto que a unidade de unidade de saúde é de atendimento à emergência e a demanda de pacientes é temporária.

Neste contexto, foi observado que a UPA de Paço do Lumiar utiliza a Usina de Gases Medicinais, em que o Oxigênio medicinal é produzido através de concentrador de oxigênio, atende a pureza mínima de 92%.

O ar sintético medicinal é uma mistura dos dois principais componentes presentes na atmosfera, em geral ele é composto de aproximadamente 21% de oxigênio em nitrogênio (Duarte, 2017). Na UPA de Paço do Lumiar, a Unidade de Saúde é produzida por compressor medicinal, atendendo pureza de oxigênio entre 19,5% e 23,5% seguindo as normas vigentes da ANVISA/ABNT (RDC 50/2002, RDC 70/ 2008, RDC 870/2024, NBR 12.188/2016), essa é a variação aceitável de oxigênio (Duarte, 2017). A capacidade de vazão da usina é estimada em 7.200 m³/mês.

A unidade utiliza como *backup* cilindros de oxigênio gasoso medicinal, onde consiste em um gás comprimido de oxigênio gasoso, inodoro, O₂ 31,996 g/mol, teor mínimo de pureza de 99,5% v/v e cilindros de ar medicinal gasoso, onde é o gás comprimido, ar sintético medicinal, incolor, inerte teor de pureza 21% de oxigênio em nitrogênio. A Figura 10 mostra as unidades de armazenamento de ar medicinal e de oxigênio da Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar.



Figura 10: Unidades de armazenamento de (a) ar medicinal e (b) oxigênio localizado na Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar

Fonte: Próprio autor

A unidade de saúde Hospital Genésio Rego e no Hospital Carlos Macieira, que são hospitais de médio e grande porte, respectivamente, utilizam tanques criogênicos como sistema de armazenamento para os gases medicinais.

O Hospital Genésio Rego utiliza os tanques criogênicos para o fornecimento de oxigênio líquido medicinal, onde é o gás comprimido, oxigênio líquido, inodoro, O_2 32,99g/mol com o teor mínimo de pureza 95% v/v, com o backup utilizam os cilindros de oxigênio gasoso medicinal, onde é um gás comprimido de oxigênio gasoso, inodoro, O_2 31,996 g/mol, teor mínimo de pureza 99,5% v/v. A central de ar medicinal é gerada por compressor medicinal atendendo pureza de 19,5% e 23,5% com capacidade de vazão estimada em 100m³/hora. Tais percentuais estão de acordo com as normas vigentes ANVISA/ABNT (RDC 50/2002, RDC 70/ 2008, RDC 870/2024, NBR 12.188/2016) (Duarte, 2017). Para o backup para o ar medicinal gasoso utiliza-se cilindros com gás comprimido, ar sintético medicinal, incolor, com teor de pureza de 21% de oxigênio em nitrogênio de balanço, uso medicinal. A Figura 11 mostra a central de ar Medicinal e o tanque criogênico de oxigênio do Hospital Genésio Rego.



Figura 11: Unidades de armazenamento de (a) ar medicinal e (b) tanque criogênico de oxigênio localizado no Hospital Genésio Rego

Fonte: Próprio autor

No Hospital Carlos Macieira são utilizados tanques criogênicos para o fornecimento de oxigênio líquido medicinal. O gás comprimido, oxigênio líquido, inodoro, O_2 32,99 g/mol com o teor mínimo de pureza 95% V/V, como backup o hospital utiliza cilindros de oxigênio gasoso medicinal, onde é um gás comprimido de oxigênio gasoso, inodoro, O_2 31,996 g/mol teor mínimo de pureza 99,5% V/V. A central de ar medicinal é gerada por compressor medicinal atendendo pureza de 19,5% e 23,5% com capacidade de vazão estimada em 360m³/hora. Como *back up* para ar medicinal gasoso, o hospital utiliza cilindros com gás comprimido, ar sintético medicinal, incolor, com teor de pureza de 21% de oxigênio em nitrogênio de balanço. Todas essas condições seguem as normas vigentes ANVISA/ABNT (RDC 50/2002, RDC 70/ 2008, RDC 870/2024, NBR 12.188/2016) (Duarte, 2017). A Figuras 12 mostra a unidade de armazenamento de oxigênio e ar medicinal do Hospital Carlos Macieira.



Figura 12: Unidades de armazenamento de (a) ar medicinal e (b) tanque criogênico oxigênio localizado no Hospital Carlos Macieira

Fonte: Próprio autor

4.2 Avaliação das vazões dos gases medicinais nas Unidades de saúde

A partir da verificação dos parâmetros de pressão e vazão, foi possível identificar irregularidades no sistema com a maior sensibilidade visto que a demora em identificar a ocorrência de irregularidades acarreta uma perda contínua de gases, o que está atrelado a um prejuízo financeiro de grandes proporções.

Pode-se observar que este estudo abordou um tema tradicional e amplamente explorado da mecânica dos fluidos e termodinâmica que é o desenvolvimento de metodologias de avaliação de vazão de fluidos e estimativas em relação a perda de carga do ao longo de dutos (Leal, 2005). O que levantou a necessidade de detectar-se balanços de massa que necessitem instrumentos com maior sensibilidade e precisão motivam o desenvolvimento de instrumentos de medição de vazão e pressão cada vez mais modernos.

É importante citar que no caso do campo de trabalho foram necessárias inspeções e adaptações, visto que em muitos casos, a unidade de saúde que foram investigadas tem recursos escassos e, dessa forma, surge a demanda de aplicação de conhecimentos clássicos da mecânica dos fluidos e da termodinâmica, os quais podem ser encontrados em referências amplamente citadas por White, 2018.

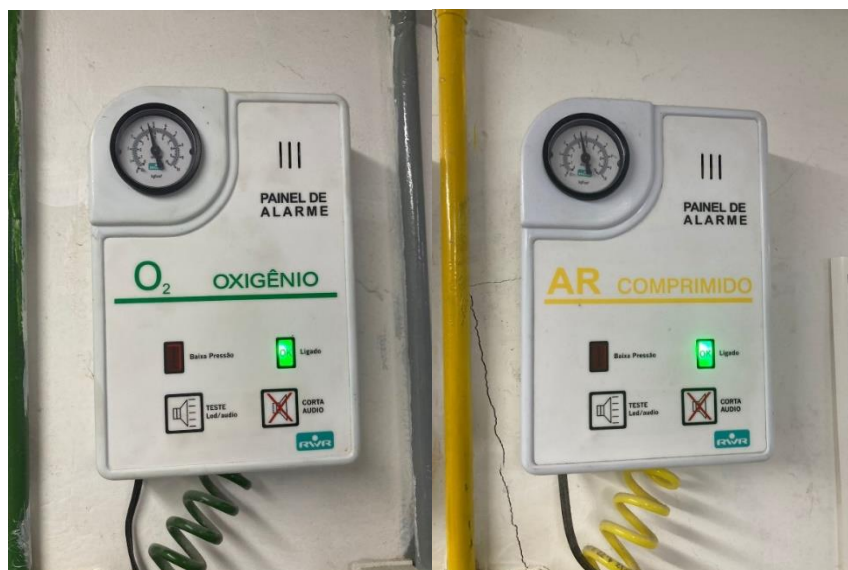
Como dito anteriormente, tanto o oxigênio quanto ao ar medicinal para uso hospitalar pode ser armazenado em sistemas de abastecimento que compreendem em Centrais de suprimento com cilindros, Centrais de suprimento com tanque criogênico e Usinas concentradoras (Leite, 2006). No entanto, independentemente do tipo de sistema de armazenamento o sistema tem um parâmetro de pressão gerada até o leito da Unidade de Saúde, com isso esse parâmetro precisa ser medido e analisado para verificação se o sistema está de acordo com a NBR 12.188/2016.

A Tabela 4 apresenta os dados coletados das pressões nas unidades de saúde estudados. A partir dos dados discriminados na Tabela 4 foram plotados gráficos para melhor compreensão dos dados. Neste sentido, as Figuras 13, 14 e 15 mostram as medidas das pressões de saída de oxigênio e do ar medicinal realizadas no período estudado nas unidades de atendimento da Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar, do Hospital Genésio Rego e do Hospital Carlos Macieira, respectivamente.

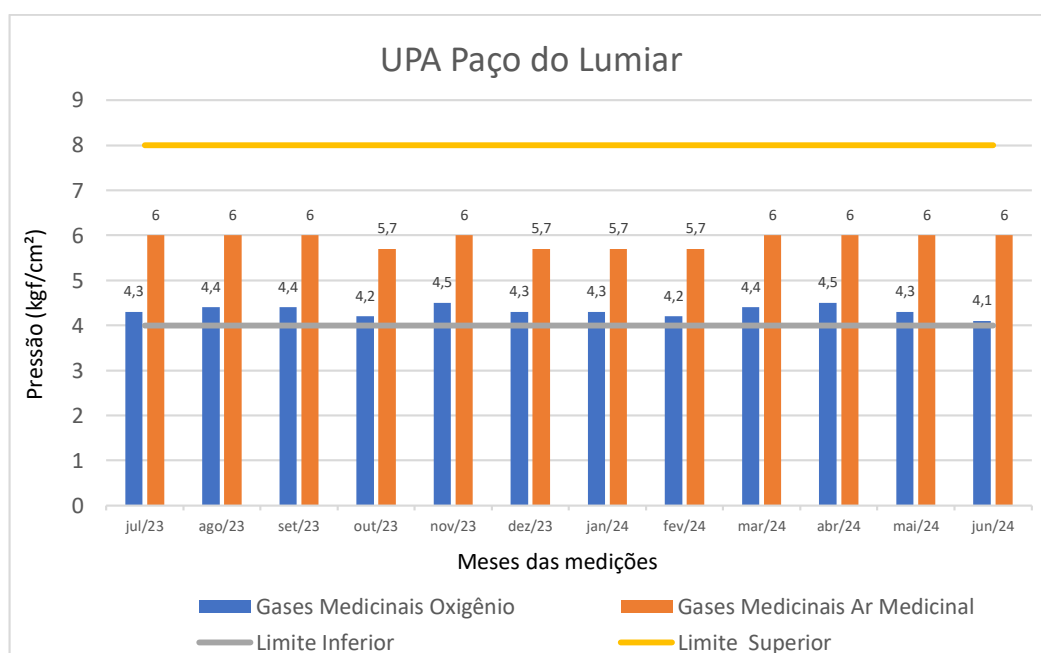
Tabela 4. Dados das pressões de saída dos gases nas unidades de saúde

Mês	UPA Paço do Lumiar		Hospital Genésio Rego		Hospital Carlos Macieira	
	Oxigênio (kgf/cm ²)	Ar Medicinal (kgf/cm ²)	Oxigênio (kgf/cm ²)	Ar Medicinal (kgf/cm ²)	Oxigênio (kgf/cm ²)	Ar Medicinal (kgf/cm ²)
jul/23	4,2	6	6,1	6,6	7	7
jul/23	4,1	6	6	6,5	7,5	7
jul/23	4,5	5,5	6	6,7	7,4	7
jul/23	4,5	5,5	6,1	6,5	7,4	7
ago/23	4,4	6	6,1	6,4	7,5	7,1
ago/23	4,5	6	6	6,6	7,5	7
ago/23	4,5	6	6,1	6,6	7	7
ago/23	4,4	6	6	6,6	7,1	7
set/23	4,5	6	6,2	6,5	7,4	7
set/23	4,5	5,8	6	6,5	7,5	7
set/23	4,5	5,7	6	6,5	7,5	7
set/23	4,2	5,7	6	6,6	7,5	7
out/23	4,2	5,7	6	6,5	7,4	7,1
out/23	4,5	5,6	6,1	6,5	7,3	7
out/23	4,5	6	6,1	6,5	7,1	7,1
out/23	4,5	6	6,2	6,5	7,2	7,1
nov/23	4,5	6	6	6,6	7,2	7
nov/23	4,5	6	6	6,6	7,1	7
nov/23	4,3	6	6	6,6	7	7
nov/23	4,3	5,8	6	6,5	7,2	7
dez/23	4,3	5,7	6	6,5	7,2	7
dez/23	4,3	5,7	6,1	6,5	7,5	7
jan/24	4,3	5,7	6,1	6,5	7,1	7
jan/24	4,2	5,7	6,1	6,5	7,2	7
fev/24	4,2	5,7	6	6,6	7,1	7,1
fev/24	4,1	5,9	6	6,5	7,2	7
mar/24	4,4	6	6	6,5	7,1	7
mar/24	4,5	6	6	6,5	7,2	7
abr/24	4,5	6	6,1	6,5	7,5	7
abr/24	4,5	6	6,1	6,5	7,1	7
mai/24	4,3	6	6	6,6	7,5	7,1
mai/24	4,2	6	6	6,6	7,1	7,1
jun/24	4,1	6	6	6,5	7,1	7
jun/24	4,3	5,9	6,1	6,5	7,2	7

Fonte: Próprio Autor.



(a)



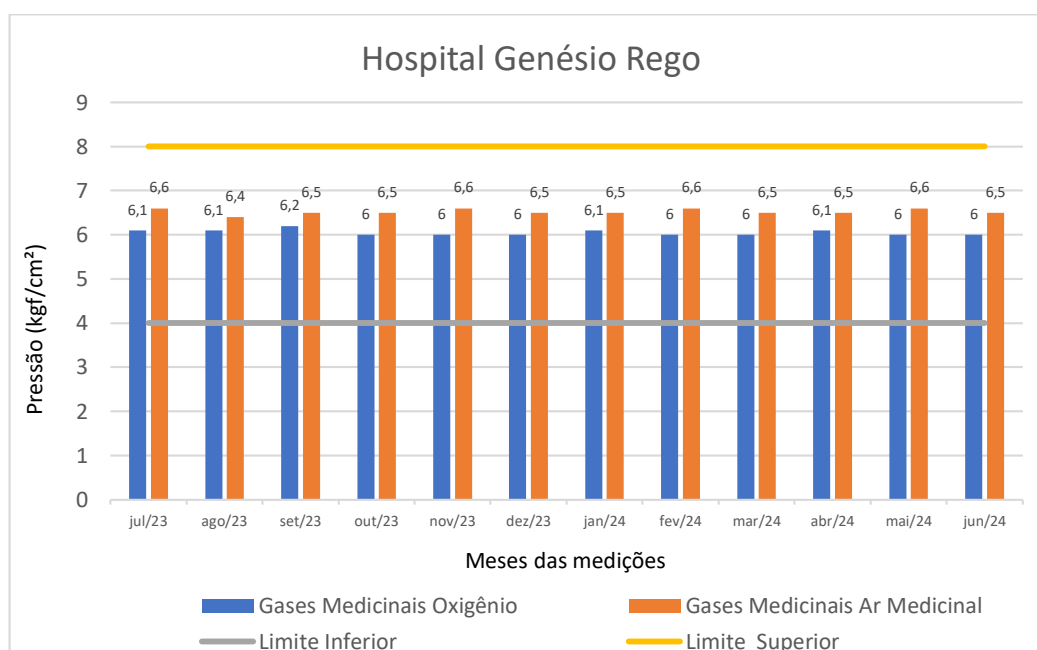
(b)

Figura 13: Sistema de distribuição dos gases Oxigênio e Ar medicinal da Unidade de Pronto Atendimento do município de Paço do Lumiar: (a) Painel de Alarme e (b) valores das pressões de oxigênio e ar medicinal em kgf/cm²

Fonte: Próprio autor



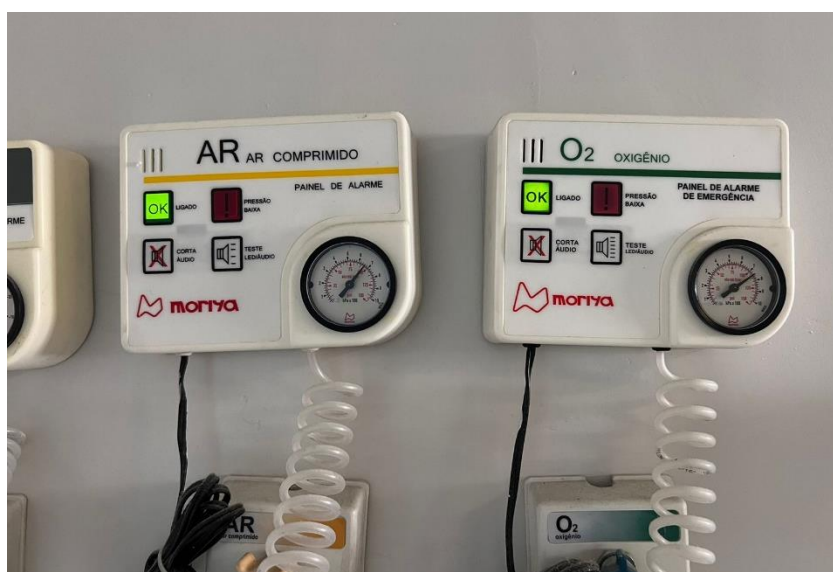
(a)



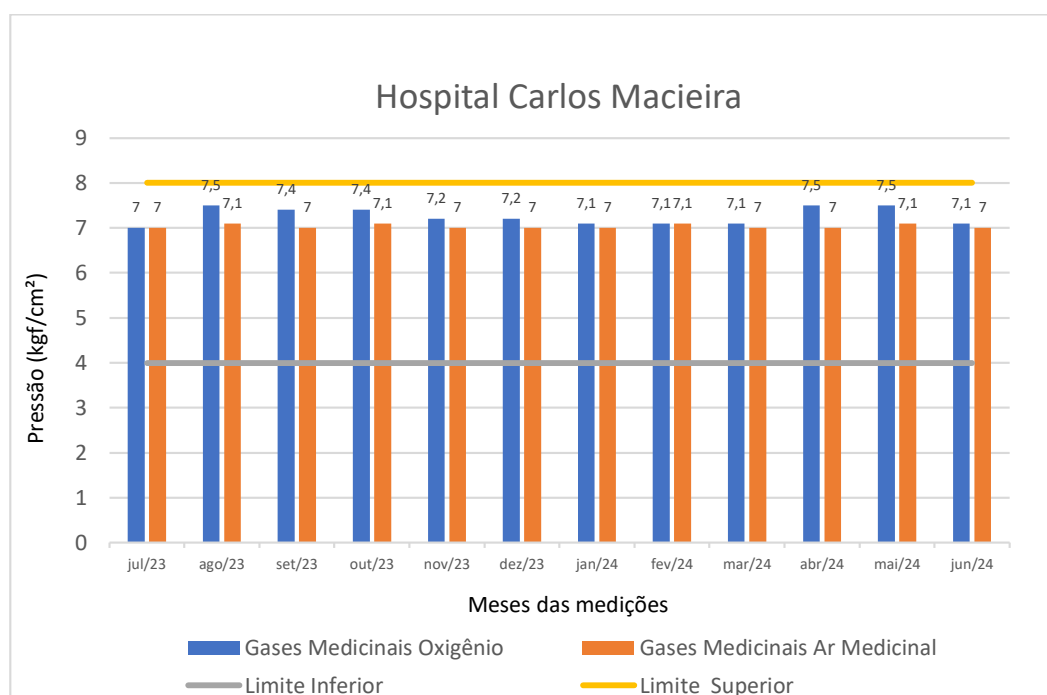
(b)

Figura 14: Sistema de distribuição dos gases Oxigênio e Ar medicinal do Hospital Genésio Rego:
 (a) Painel de Alarme e (b) valores das pressões de oxigênio e ar medicinal em kgf/cm²

Fonte: Próprio autor



(a)



(b)

Figura 15: Sistema de distribuição dos gases Oxigênio e Ar medicinal do Hospital Carlos Macieira (a) Painel de Alarme e (b) valores das pressões de oxigênio e ar medicinal em kgf/cm²

Fonte: Próprio autor

A fim de exemplificar dos dados observados nas Figuras 13, 14 e 15 foi elaborada a Tabela 5 onde constam os valores mínimos e máximos das pressões de saída de oxigênio e do ar medicinal e suas médias e desvio padrão das unidades de saúde estudadas.

Tabela 5: Valores mínimo e máximo das pressões de saída de oxigênio e do ar medicinal na Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar, no Hospital Genésio Rego e no Hospital Carlos Macieira

Unidade de Saúde			
	Cálculos	Oxigênio	Ar Medicinal
Pronto Atendimento de Paço do Lumiar	Tamanho amostral (n)	34	34
	Mínimo	4,1 kgf/cm ²	5,5 kgf/cm ²
	Máximo	4,5 kgf/cm ²	6 kgf/cm ²
	Média	4,4 kgf/cm ²	5,9 kgf/cm ²
	Desvio Padrão	0,143579153	0,166113163
Hospital Genésio Rego	Cálculos	Oxigênio	Ar Medicinal
	Tamanho (n)	34	34
	Mínimo	6 kgf/cm ²	6,4 kgf/cm ²
	Máximo	6,2 kgf/cm ²	6,7 kgf/cm ²
	Média	6 kgf/cm ²	6,5 kgf/cm ²
	Desvio Padrão	0,061473296	0,059708143
Hospital Carlos Macieira	Cálculos	Oxigênio	Ar Medicinal
	Tamanho (n)	34	34
	Mínimo	7 kgf/cm ²	7 kgf/cm ²
	Máximo	7,5 kgf/cm ²	7,1 kgf/cm ²
	Média	7,3 kgf/cm ²	7 kgf/cm ²
	Desvio Padrão	0,179248779	0,041042563

Fonte: Próprio autor

A partir dos dados da Tabela 5, foi possível observar que tanto os valores das pressões do oxigênio quanto do ar medicinal da UPA de Paço do Lumiar são menores que as pressões de saída do oxigênio e ar medicinal das outras unidades de saúde. Isto pode estar relacionado ao tipo de sistema de armazenamento e distribuição dos gases uma vez que as UPAs utilizam usinas e módulos para gerar o oxigênio e o ar medicinal, nestes tipos de unidades de saúde a demanda é fixa, ou seja, tem um limite de utilização de oxigênio e ar medicinal pela unidade de saúde.

Os Hospitais de médio e grande porte atendem a população com maiores demandas, com isso exige a necessidade de uma maior utilização dos gases medicinais e, tanto o Hospital Genésio Rego quanto o Hospital Carlos Macieira utilizam o tanque criogênico como sistema de armazenamento.

As pressões de saída dos gases medicinais do Hospital Carlos Macieira são maiores que as outras Unidades de Saúde estudadas, pois o tamanho do hospital é muito maior que as demais, com isso exige a necessidade de uma pressão de saída maior para atendimento.

Conforme os resultados observados nas Figuras 13, 14 e 15, percebe-se que os valores das pressões estão de acordo tanto para o Oxigênio e quanto para o Ar Medicinal estão em conformidade com a NBR 12.188/2016 (item 4.11.1.1), que estabelecem que a pressão de distribuição está com a

pressão máxima de 8 kgf/cm² e a pressão mínima em cada posto de utilização de 4 kgf/cm², atendendo as especificidades de cada Unidade de Saúde.

De um modo geral, dependendo da unidade de saúde nota-se que quanto maior o porte do estabelecimento maior é a pressão de saída, isto pode ser observado pelos dados observados a pressão média para o oxigênio de 4,4kgf/cm², 6,0kgf/cm², e 7,3kgf/cm², para a Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar, o Hospital Genésio Rego e para o Hospital Carlos Macieira, respectivamente e a pressão média para o Ar medicinal de 5,9kgf/cm², 6,5kgf/cm², e 7,0kgf/cm², para a Unidade de Pronto Atendimento de Paço do Lumiar, o Hospital Genésio Rego e para o Hospital Carlos Macieira, respectivamente. Este comportamento ocorre para o oxigênio e ar medicinal com valores destacados acima, estão de acordo com o item 4.11.1.1 na NBR 12.188/2016.

Por causa da pandemia vivenciada recentemente, há que considerar um risco de uma perda generalizada do sistema de gases medicinais. Por ser um sistema muito complexo que gerou grande gravidade aos pacientes, e sérios problemas e dificuldades para a sociedade é de grande importância estudos que avaliam as condições das capacidades estatais e das lideranças políticas na coordenação nacional das respostas para a alta demanda destes gases (Machado, 2022). Outro fator importante foi a articulação e direcionamento de organizações de natureza diversa para atingir objetivos comuns, buscando a produção de serviços coerentes e integrados, a otimização de recursos, a eliminação de duplicações e a satisfação dos usuários (Souza, 2018).

Como a perda de carga representa a energia mecânica convertida em energia térmica por efeito de atrito, a perda de carga para escoamento completamente desenvolvido em tubos de área constante depende tão somente dos detalhes do escoamento através do duto (Nascimento, 2011). E explica que o escoamento em uma tubulação pode exigir a passagem do fluido através de uma variedade de acessórios, como curvas de mudanças súbitas de área. Perdas de cargas adicionadas são encontradas, sobretudo como resultado de separação do escoamento. Estas perdas serão relativamente menores (ou localizadas), se o sistema incluir longos trechos retos de tubo de seção constante (Fox, 2010).

4.3 Estimativa para um aumento na demanda dos Gases medicinais

Os gases medicinais utilizados nas unidades de saúde são fornecidos por fabricantes licenciados, que atendem aos controles de qualidade estabelecidos pela agência reguladora de medicamentos prescritos de uma jurisdição. Devendo os mesmos ser extremamente puros e seguir o percentual mínimo das purezas (Da Silva, 2021).

Frente a uma “nova pandemia” as unidades de saúde terão uma demanda maior para atender a população com a necessidade de novos leitos de UTI (Unidade de Terapia Intensiva) para atendimento dos pacientes contaminados. Para averiguar se as unidades de saúde estudadas estariam preparadas para um possível aumento na demanda, onde foram feitas estimativas quanto a quantidade de gases medicinais (oxigênio e ar medicinal).

Como já foi destacado no trabalho na seção 7.1, a Unidade de Pronto Atendimento do Paço tem um limite de produção de Ar Medicinal de 7.200 m³/mês (10 m³/h), no Hospital Genésio Rego tem um limite de produção de Ar Medicinal de 100 m³/h ou 72.000 m³/mês e no Hospital Carlos Macieira tem um limite de produção de Ar Medicinal de 360 m³/h ou 259.200 m³/mês. Estes valores serão utilizados como parâmetros para verificação do limite de leitos necessários e, se as Unidades de Saúde estão preparadas para uma “nova pandemia”.

Na perspectiva de um aumento no atendimento e uso de gases medicinais nas unidades de saúde estudadas, foi realizado um cálculo do dimensionamento baseados na norma na NBR 12.188/2016. A norma na NBR 12.188/2016 (Anexo 1) estabelece os fatores de simultaneidade e demanda por postos de utilização. Na norma citada, Tabela B1(Anexo 1) demonstra o percentual de simultaneidade (%) por área. Nota-se que, segundo a norma, o percentual de simultaneidade é de 80% tanto para o gás oxigênio quanto para ar medicinal. A Tabela 6 apresenta os valores do cálculo da vazão do gás oxigênio (UPA Paço do Lumiar) e do ar medicinal (para as três unidades de saúde) obtidos segundo a Equação 1.

UPA Paço do Lumiar			Hospital Carlos Macieira			Hospital Genésio Rego		
Quantidade de Leitos	Cálculo Vazão		Quantidade de Leitos	Cálculo Vazão		Quantidade de Leitos	Cálculo Vazão	
	m ³ /h	m ³ /mês		m ³ /h	m ³ /mês		m ³ /h	m ³ /mês
1	2,9	2073,6	30	86,4	62208,0	8	23,0	16588,8
2	5,8	4147,2	35	100,8	72576,0	9	25,9	18662,4
3	8,6	6220,8	40	115,2	82944,0	10	28,8	20736,0
4	11,5	8294,4	45	129,6	93312,0	11	31,7	22809,6
5	14,4	10368,0	50	144,0	103680,0	12	34,6	24883,2
6	17,3	12441,6	55	158,4	114048,0	13	37,4	26956,8
7	20,2	14515,2	60	172,8	124416,0	14	40,3	29030,4
8	23,0	16588,8	65	187,2	134784,0	15	43,2	31104,0
9	25,9	18662,4	70	201,6	145152,0	16	46,1	33177,6
10	28,8	20736,0	75	216,0	155520,0	17	49,0	35251,2
11	31,7	22809,6	80	230,4	165888,0	18	51,8	37324,8
12	34,6	24883,2	85	244,8	176256,0	19	54,7	39398,4
13	37,4	26956,8	90	259,2	186624,0	20	57,6	41472,0
14	40,3	29030,4	95	273,6	196992,0	21	60,5	43545,6
15	43,2	31104,0	100	288,0	207360,0	22	63,4	45619,2
16	46,1	33177,6	105	302,4	217728,0	23	66,2	47692,8
17	49,0	35251,2	110	316,8	228096,0	24	69,1	49766,4
18	51,8	37324,8	115	331,2	238464,0	25	72,0	51840,0
19	54,7	39398,4	120	345,6	248832,0	34	97,9	70502,4
20	57,6	41472,0	125	360,0	259200,0	35	100,8	72576,0

Tabela 6: Valores do cálculo da vazão do oxigênio e ar medicinal Unidades de Saúde**Fonte:** Próprio autor

A partir da Tabela 6 foi possível a construção das Figuras 16, 17 e 18 que descreve a relação entre o número de leitos e os valores de vazão, para obtenção da quantidade estimada de leitos de UTI. Como dito anteriormente, a UPA de Paço do Lumiar tem 27 leitos sendo nenhum leito de UTI disponível para atendimento, no entanto, para atender a demanda da população com outros leitos de UTI na UPA de Paço do Lumiar onde tem o limite de produção de oxigênio e ar medicinal de 7.200 m³/mês (10 m³/hora). No entanto, fazendo uma estimativa de aumento demanda para o número de leitos de UTI (Figura 16), nota-se que a UPA Paço com a quantidade de gás utilizada atualmente, só conseguirá atender a quantidade de 3 leitos de UTI. Pelos cálculos, a partir de 4 leitos já supera o limite de produção do Ar medicinal e Oxigênio desta Unidade de Saúde em 15%, respectivamente.

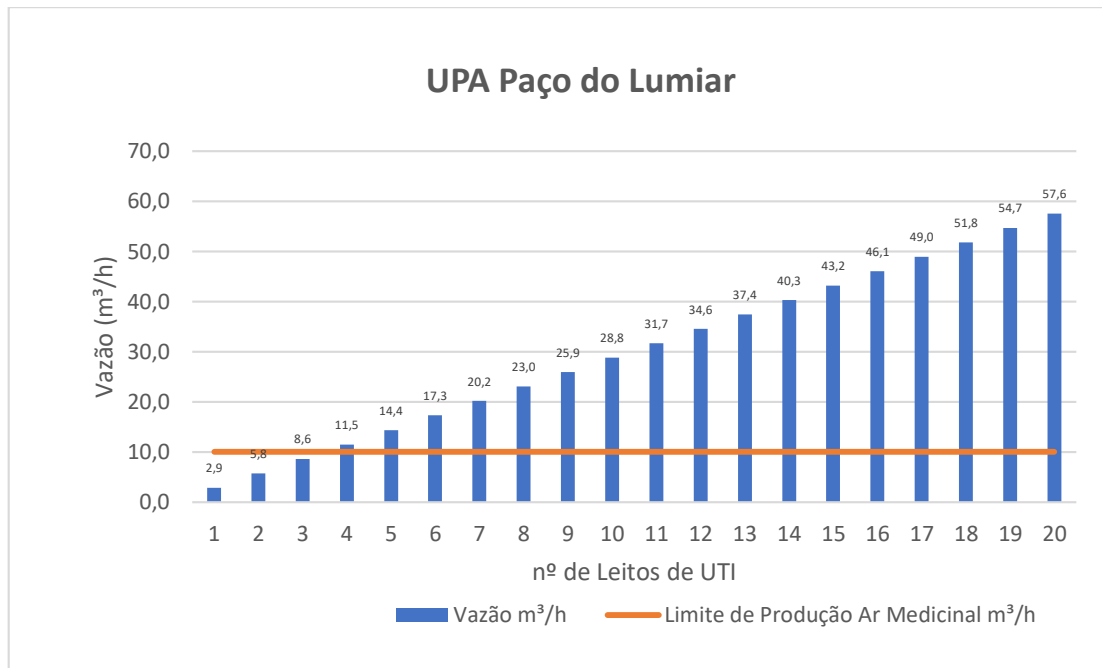


Figura 16 - Valores do Nº de Leitos x Vazão do Ar medicinal e oxigênio da Unidade de Pronto Atendimento do Paço do Lumiar (em m³/h)

Fonte: Próprio autor

As Figuras 17 e 18 apresentam os valores do número de Leitos em função da Vazão do Ar medicinal em m³/h do Hospital Genésio Rego e do Hospital Carlos Macieira, respectivamente. A Unidade de Saúde Hospital Genésio Rego tem a vazão do ar medicinal de 100m³/hora o que supri uma demanda atual de 50 leitos sendo 8 leitos de UTI. Em um contexto de nova pandemia e, a partir dos estudos realizados, com a vazão atual o hospital poderia aumentar o número de leitos de UTI mais de 27 leitos de UTI conforme demonstrado na Figura 15, com isso aumentaria o número de leitos de UTI de 8 para 27 um aumento de 337,5% na demanda desta Unidade de Saúde.

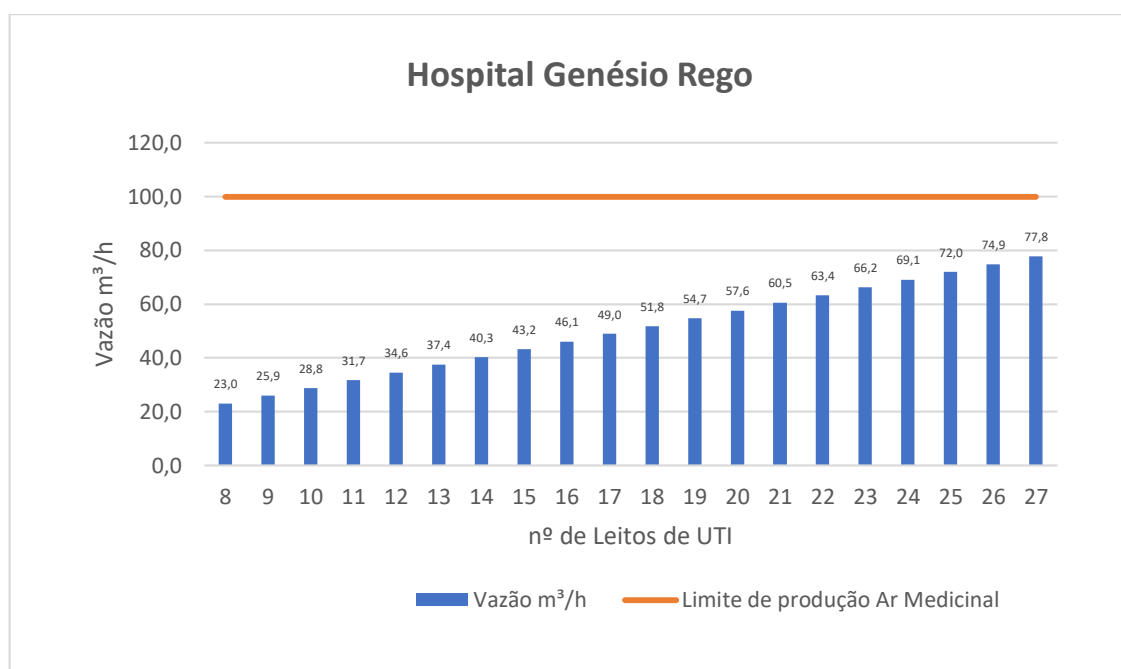


Figura 17 - Valores do Nº de Leitos x Vazão do Ar medicinal e gás oxigenio do Hospital Genésio Rego (em m³/h)

Fonte: Próprio autor

O Hospital Carlos Macieira que tem a vazão do ar medicinal de 360m³/hora, com a demanda atual de 239 leitos sendo 72 leitos de UTI. A Figura 16 mostra os dados da estimativa obtidos partir da Tabela 6. Nota-se pelos cálculos de estimativa, que os números de leitos de UTI poderiam aumentar de 72 para 125 leitos de UTI para o ar medicinal de acordo com a demanda utilizada atualmente. Ou seja, um aumento de 173,61% na demanda desta Unidade de Saúde.

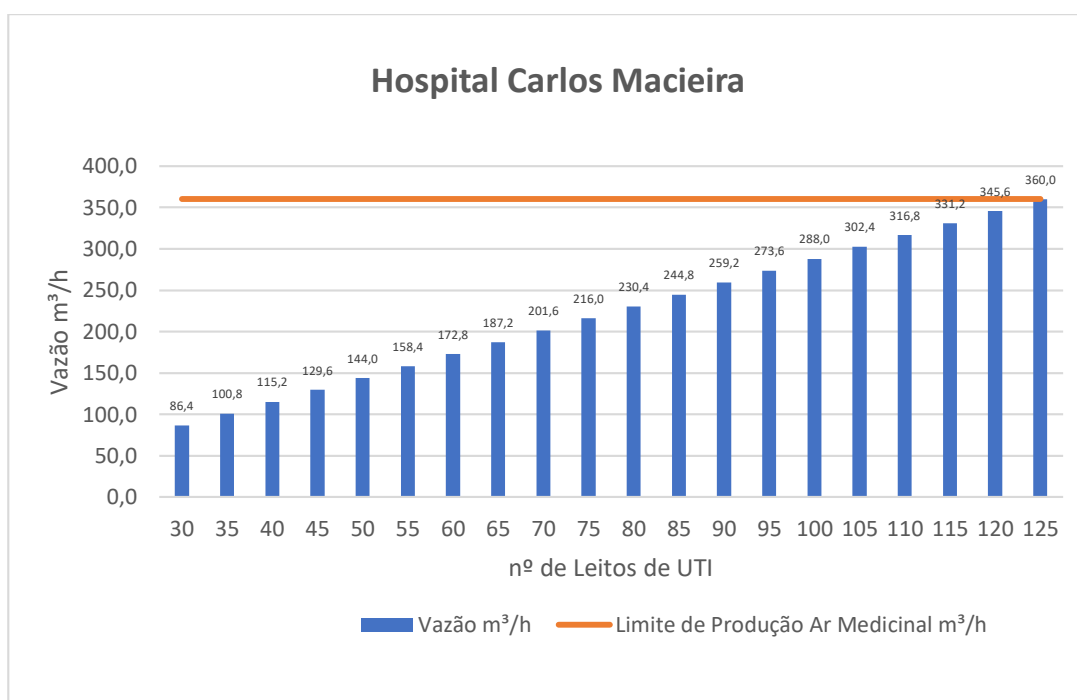


Figura 18 - Valores do Nº de Leitos x Vazão do Ar medicinal do Hospital Carlos Macieira (em m³/h)

Fonte: Próprio autor

Para a demanda de oxigênio medicinal, o Hospital Genésio Rego quanto o Hospital Carlos Macieira utiliza outra tecnologia para o atendimento da demanda que é o tanque criogênico, onde tem a ligação entre a logística e a demanda de consumo (Duarte, 2017). Com isso, para esta unidade de saúde com tanque criogênico, se houver a necessidade de aumento de demanda, a unidade de saúde diminuirá a logística, ou seja, o caminhão de abastecimento irá várias vezes a unidade de saúde para atendimento da demanda.

Segundo recomendações da OMS e do Ministério da Saúde, a relação ideal de leitos de UTI é de 1 a 3 leitos para cada 10 mil habitantes. No Brasil esta proporção é de 2,2 leitos, enquanto no Maranhão esta estimativa referente aos hospitais gerenciados pelo Estado que corresponde a um total de 789 leitos de UTI Adulto e Infantil para um total de 7 milhões de habitantes.

5. Conclusão

Este trabalho foi desenvolvido com o intuito de ter um relatório situacional das unidades de Saúde, onde foi criado o questionário/checklist situacional onde foi aplicado e permitiu a obtenção de um diagnóstico real nas unidades de saúde avaliadas quanto o armazenamento, distribuição dos gases medicinais e consumo. Nas visitas aos hospitais, além do preenchimento do questionário/checklist foram feitas avaliações das condições de armazenamento, com o intuito de verificar alguma anomalia no sistema ou na operação dele, além de analisar os parâmetros dos sistemas de Ar Medicinal e Oxigênio, e foi verificado que os equipamentos analisados nas Unidades de Saúde estão em bom estado de conservação e funcionamento.

Na avaliação dos dados, foi possível evidenciar se a pressão de distribuição estava de acordo com a legislação no item 4.11.1.1 da NBR 12.188/2016, onde as pressões máximas estavam em 8kgf/cm² e as pressões mínimas estavam em 4kgf/cm².

Para as condições de armazenamento, distribuição dos gases medicinais e consumo nos Estabelecimentos de Assistência à Saúde do Estado do Maranhão a partir dos parâmetros de pressão e vazão nas centrais de gases medicinais.

A partir do diagnóstico realizado, foi observado que não há a necessidade de melhorias, pois o atual sistema as unidades de saúde avaliadas atendem as necessidades com relação a instrumentação, avaliação operacional da vazão e perda de carga e condições de armazenamento dos gases medicinais.

Os valores das pressões tanto para o Oxigênio e quanto para o Ar Medicinal estão em conformidade com a NBR 12.188/2016 que estabelecem que a pressão de distribuição está com a pressão máxima de 8 kgf/cm² e a pressão mínima em cada posto de utilização de 4 kgf/cm², atendendo as especificidades de todas as Unidade de Saúde.

A estimativa obtida para a Unidade de Saúde UPA Paço do Lumiar observou que a mesma não poderá receber uma demanda de Leitos de UTI pois o número calculado de 3 leitos, não atenderá uma possível demanda de Leitos de UTI.

A estimativa de uma nova pandemia, apenas o Hospital Genésio Rego e o Hospital Carlos Macieira têm uma estrutura para inserção de novos leitos de UTI. Com a produção atual de oxigênio e ar medicinal os hospitais poderiam aumentar o número de leitos para 34 e 125, respectivamente. O que dará uma tranquilidade à população para um possível aumento de demanda.

De maneira geral, a análise dos sistemas de gases medicinais nos hospitais estudados está bem estruturada, atingindo assim os objetivos traçados pelo trabalho, onde os parâmetros atendem a legislação. Na simulação duas das três Unidades de Saúde conseguem aumentar a demanda de leitos de UTI para a população com a capacidade de prestar assistência médica de qualidade em diferentes áreas da região metropolitana de São Luís -MA.

Referências

ALENCAR, Ana Rafaela Maia de *et al.* Referência e contrarreferência em uma policlínica: perspectivas de pacientes e profissionais de saúde. [s. l.], 2015.

ARAÚJO, Eunice Aristides; DE SOUZA FREIRE FURTADO, Francisca Marina; PICHELLI, Ana Alayde Werba Saldanha. **Vulnerabilidade programática em saúde em cidades rurais paraibanas segundo os níveis de atenção.** [s. l.], 2018. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conbracis/2018/TRABALHO_EV108_MD1_SA13_ID2006_21052018085010.pdf. Acesso em: 23 abr. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 12.188: Sistemas centralizados de oxigênio, ar, óxido nitroso e vácuo para uso medicinal em estabelecimentos assistenciais de saúde.** Rio de Janeiro, 2016. 33p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 13.587: Estabelecimento assistencial de saúde - Concentrador de oxigênio para uso em sistema centralizado de oxigênio medicinal.** Rio de Janeiro, 2017. 25p.

ÁVILA, RAFAEL. Como fazer análise de cenários em um estudo de viabilidade econômica. Disponível em: < [Como fazer análise de cenários em um estudo de viabilidade econômica - Blog LUZ](#) >. Acesso em: 13 jan. 2025.

BERTANI, T. M. Lean Healthcare: **Recomendações para implantações dos conceitos de produção enxuta em ambientes hospitalares.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

BIANCHI, E. C. **Análise Comparativa da influência da pressão e vazão no processo de retificação tangencial plana.** Revista de Ciência e Tecnologia, V. 8 nº. 18 p. 79-85, 2001.

BORGNAKKE, C., SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica**, Editora Blucher, 2ª. Edição, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada, **RDC nº 50, de 21 de fevereiro de 2002, dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde.** Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 de fevereiro de 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada, **RDC nº 70, de 1 de outubro de 2008, dispõe sobre a notificação de Gases Medicinais.** de 11 de agosto de 2006, republicada no DOU de 21 de agosto de 2006, em reunião realizada em 30 de setembro de 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada, **RDC nº 870, de 17 de maio de 2024, dispõe sobre a notificação o registro e as mudanças pós-registro de Gases Medicinais enquadrados como medicamentos.** Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 de maio de 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Equipamentos Médico-Hospitalares e o Gerenciamento da Manutenção: capacitação a distância. Secretaria de Gestão de Investimentos em Saúde**, Projeto REFORSUS. Brasília, DF: MS, 2002. Disponível em:< [Cópia de EQUIPAMENTOS MEDICO HO.PDF \(saude.gov.br\)](#)> . Acesso em: 10 de agosto de 2024.

BRASIL. Conselho Nacional de Secretários de Saúde. Para entender a gestão do SUS / Conselho Nacional de Secretários de Saúde. - Brasília: CONASS, 2003.

CASTANHEIRA, Nelson Pereira; VALÉRIO, Mirian Charello; DE SOUZA WEIGERT, Fabiola Chistine. Gerenciamento do consumo do oxigênio durante a inaloterapia: oportunidade para redução de custos através da capacitação dos profissionais. **Revista Saúde e Desenvolvimento**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 8–30, 2014b.

CATÁLOGO HOSPITALAR, Site Catálogo Hospitalar (<https://catalogohospitalar.com.br/>). Acesso em: 25 maio 2024.

CENGEL, Y. A., BOLES, M. A., **Termodinâmica**, Editora AMGH, 7ª. Edição, 2013.

CONASS, Conselho Nacional de Secretários de Saúde –. Acesso e Cuidados Especializados. Brasília: Conselho Nacional de Secretários de Saúde – Conass. Disponível em: www.conass.org.br/biblioteca. Acesso em: 13 jan. 2025.

COFFMAN, K. **Everything You Need to Know about Medical Gas Systems**. Published January 13, 2023. Disponível em: <<https://tri-techmedical.com/everything-you-need-to-know-about-medical-gas-systems/>> Acesso em 10 de agosto de 2023.

CORRAL, V. **Estudo para planejamento estratégico de crescimento arquitetônico sustentável de hospitais**. Revista Educação, v. 8, n. 2, p. 95-95, 2013.

COSTA, G. A. **Regulação dos Gases Medicinais no Brasil**. 2022. Tese de Doutorado.

COSTEIRA, Elza Maria Alves. A segurança do paciente nos cuidados de saúde. **Revista Sustinere**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 431–435, 2019.

CHIAVENATO, Idalberto. **Planejamento estratégico**. [S. l.]: Elsevier Brasil, 2004.

DA SILVA, M. M. P. **O papel do farmacêutico na gestão dos gases medicinais**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 5, p. 46590-46603, 2021.

DINIS, E.; CAPOULAS, M.; NEVES, V. **Manual de Gases Medicinais. Ordem dos Farmacêuticos– Conselho do Colégio de Especialidade de Farmácia Hospitalar**, 2012.

DUARTE, C. S. **Análise de fornecimento de ar medicinal por meio da destilação criogênica em uma instituição hospitalar**. TCC – Curso de Engenharia mecânica, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2017. 63p.

FERREIRA, Ana Cassia Cople; LIMA, Luciana Dias de. **Planos de contingência e coordenação estadual do SUS na pandemia de covid-19**. **Saúde em Debate**, v. 48, p. e9229, 2024.

FERRI, Sônia Mara Neves. **Modelo de acolhimento com classificação de risco em unidade de pronto-atendimento: Estratégia para reorganização do trabalho e reordenação do acesso à rede de saúde**. 2013. [s. l.], 2013. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4670167/mod_resource/content/1/Tese%20doutorado-Sonia%20Ferri.pdf. Acesso em: 25 abr. 2024.

FORNARI JUNIOR, C. C. M. **Aplicação da Ferramenta da Qualidade (Diagrama de Ishikawa) e do PDCA no Desenvolvimento de Pesquisa para a reutilização dos Resíduos Sólidos de Coco Verde**. São Paulo: INGEPRO, 2010.

FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P.J. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 7ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

GOMES, P. A. **Avaliação das oportunidades do gás natural liquefeito em pequena escala no Brasil sob as perspectivas do produtor, transportador e do consumidor final**. 2018.

GOMES, P.; COUTO, B. **Pedro Gomes Engenharia**. Disponível em: <<http://pedrogomes.eng.br/gasesmedicinais/>>. Acesso em: 10 de agosto de 2023.

GÓMEZ-CHAPARRO, M.; GARCÍA-SANZ-CALCEDO, J.; ARMENTA MÁRQUEZ, L. **Analytical determination of medical gases consumption and their impact on hospital sustainability**. *Sustainability*, v. 10, n. 8, p. 2948, 2018.

HIBBELER, R. C. **Mecânica dos Fluidos**, Editora Pearson Universidades; 1ª. Edição, 2016.

HIGHLEY, D. **Medical gases, their storage and delivery**. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, v. 10, n. 11, p. 523-527, 2009.

LEAL, A. B. **Estudo do escoamento de fluidos não newtonianos em dutos**. 2005.

LEITE, V. O. **PRODUÇÃO LOCAL DE OXIGÊNIO HOSPITALAR**. 2006.

LIMA, Telma Cristiane Sasso de; MIOTO, Regina Célia Tamasso. **Procedimentos metodológicos na construção do conhecimento científico: a pesquisa bibliográfica**. *Revista katálysis*, v. 10, p. 37-45, 2007.

LOPEZ, M. P.; ABREU, F. R. **Central de gases medicinais: coração de uma instituição hospitalar**. *Caderno de Estudos Tecnológicos*, v. 1, n. 1, 2013.

MACHADO, Cristiani Vieira Gestão do trabalho nas Unidades de Pronto Atendimento: estratégias governamentais e perfil dos profissionais de saúde. **Cadernos de Saúde Pública**, [s. l.], v. 32, n. 2, 2016.

MACHADO CV, Pereira AMM, Freitas CM, organizadores. **Políticas e sistemas de saúde em tempos de pandemia: nove países, muitas lições**. Série Informação para ação na Covid-19. Rio de Janeiro: Fiocruz; 2022. DOI: <https://doi.org/10.7476/9786557081594>

MACINTYRE, A. J. **instalações hidráulicas, prediais e industriais**, LTC livros técnicos e científicos Editora, Rio de janeiro RJ, 3ª edição, 1996.

MARCHON, Simone Grativol; MENDES, Walter. 13. Segurança do paciente na Atenção Primária à Saúde. **Segurança do paciente: conhecendo os riscos nas organizações de saúde**, [s. l.], p. 283, 2014.

MARCZYK, C. E. S. **Análise de folgas na infraestrutura de unidades de terapia intensiva: estudo no contexto da pandemia da COVID-19**. 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Atenção Primária e Atenção Especializada: Conheça os níveis de assistência do maior sistema público de saúde do mundo**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/noticias/2022/marco/atencao-primaria-e-atencao-especializada-conheca-os-niveis-de-assistencia-do-maior-sistema-publico-de-saude-do-mundo>. Acesso em: 25 maio 2024.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Atendimento na Unidade de Pronto Atendimento Assistencial UPA**. [S. l.], 2023.

MIMBARCAS JUNIOR, G. V. **Iniciando o processo de gestão de gases medicinais em um hospital filantrópico**. 2018. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS.

MOLL, J. R. **Usinas concentradoras de oxigênio: evolução da fração inspirada de oxigênio e repercussões no paciente anestesiado em sistema com absorvedor de CO₂**. Estudo piloto. Revista Brasileira de Anestesiologia, v. 57, p. 649-657, 2007.

MUNSON, B. R., YOUNG, D. F., OKIISHI, T. H. **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos**, Editora Blucher, 1ª. Edição, 2004.

NASCIMENTO JUNIOR, George. **A gestão da manutenção em uma instituição hospitalar**. [s. l.], 2016.

NASCIMENTO, Genildo Ribeiro do et al. **Escoamento multifásico não isotérmico em riser flexível: modelagem e simulação**. 2011.

NAVA JÚNIOR, M. M. H. **Programa de gestão da manutenção predial para edificações hospitalares da rede de atendimento no município de Fortaleza**. 2007.

NORMA TÉCNICA Nº 155/2021/sei/GRECS/GGTES/DIRE1/ANVISA Orientações gerais sobre usinas concentradoras de oxigênio em estabelecimentos assistenciais de saúde.

PEREIRA, R. **Melhoria da eficiência energética em sistemas de geração de vapor**. 2022.

Revista Veja, Editora Abril, Edição de 31 de dezembro de 2024. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/saude/cinco-anos-de-covid-19-paises-precisam-se-preparar-como-bombeiros-diz-pesquisadora>>.

RIBEIRO, M. A. **Instrumentação**. Tek Treinamentos LTDA, v. 16, 1999.

RIBEIRO, P. M. M. **Gestão dos gases medicinais**. Relatório de projeto apresentado no I Curso de Mestrado em Gestão da Qualidade da Saúde. Escola Superior de Saúde do Vale do Ave, 2012.

RODRIGUES, Thalisson Silva. **Proposta de implantação da gestão estratégica de materiais em um hospital filantrópico de médio porte utilizando Matriz de Posicionamento Estratégico de Materiais e Classificação ABC**. [s. l.], 2021.

ROLLINS, J. P. Manual de Ar Comprimido e Gases. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

SANTOS, R. A. L. **Sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais- uma abordagem para o gerenciamento da tecnologia médico-hospitalar**. 2002. 166p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

São Paulo Oxigênio Gases Medicinais e industriais. **Central com alimentação através de cilindros**. Disponível em: <<https://saopaulooxigenio.com.br/>> Acesso em 10 de agosto de 2023.

SARANGI, S.; BABBAR, S.; TANEJA, D. **Safety of the medical gas pipeline system**. Journal of anaesthesiology, clinical pharmacology, v. 34, n. 1, p. 99, 2018.

SCHNEIDER, E. E. **Instalações de dispositivos segurança para máquinas operatrizes conforme a norma regulamentadora nº12 com ênfase em dispositivos elétricos**. 2011.

SILVA, B. M. **Avaliação técnico-econômica da ampliação na rede de gases em hospital de referência para tratamento de COVID-19.** 2021.

SILVA, Márcia Moraes Paulino da *et al.* Elaboração de um plano de gestão farmacêutica de gases medicinais em um hospital universitário público de Belém. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. e20612230236, 2023.

SILVA, Anny MA; LIMA, Marina; MEYER, João Frederico CA. Modelagem e simulação dos Diferentes Cenários da Pandemia de COVID-19 no Brasil. **Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**, v. 8, n. 1, 2021.

Souza CM. **Coordenação de políticas públicas.** Brasília, DF: Escola Nacional de Administração Pública, ENAP; 2018. 72 p.

TOSIN, Michel; DANTAS, Eber; CUNHA JR, Americo. **Modelagem e Simulação da Dinâmica do Zika Vírus.** 2018. Tese de Doutorado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

WESTWOOD, M.; RIELEY, W. **Medical gases, their storage and delivery.** *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, v. 13, n. 11, p. 533-538, 2012.

WHITE, F. M., **Mecânica dos Fluidos**, Editora AMGH, 8ª. Edição, 2018.

WOLKER, Sergio Luiz; COSTA, Tania Portella; PETERLINI, Olga Laura Giral di. Revisão integrativa sobre o processo de compra e distribuição de materiais médicos e hospitalares. **Revista de Saúde Pública do Paraná**, [s. l.], v. 2, p. 103–112, 2019b.