

Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA
Engenharia Eletrônica

Avaliação dos Sistemas Concentradores de Oxigênio do tipo PSA

Autor: Marcos Breno da Silva Aguiar
Orientador: Prof. Dr. Gerardo Antonio Idrobo

Brasília, DF
2023



Marcos Breno da Silva Aguiar

Avaliação dos Sistemas Concentradores de Oxigênio do tipo PSA

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Universidade de Brasília – UnB

Faculdade UnB Gama – FGA

Orientador: Prof. Dr. Gerardo Antonio Idrobo

Brasília, DF

2023

Marcos Breno da Silva Aguiar

Avaliação dos Sistemas Concentradores de Oxigênio do tipo PSA/ Marcos
Breno da Silva Aguiar. – Brasília, DF, 2023-
60 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Gerardo Antonio Idrobo

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília – UnB
Faculdade UnB Gama – FGA , 2023.

1. PSA. 2. Concentradores de Oxigênio. I. Prof. Dr. Gerardo Antonio Idrobo.
II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Avaliação dos Sistemas
Concentradores de Oxigênio do tipo PSA

CDU 02:141:005.6

Marcos Breno da Silva Aguiar

Avaliação dos Sistemas Concentradores de Oxigênio do tipo PSA

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 13/12/2023:

Prof. Dr. Gerardo Antonio Idrobo
Orientador

Prof. Dr. Jose Felicio da Silva
Convidado 1

Prof. Dra. Maria del Pilar Hidalgo
Falla
Convidado 2

Brasília, DF
2023

À minha família, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e incentivando em todos os momentos. Vocês são minha fonte inesgotável de amor, suporte e inspiração. Dedico este trabalho a vocês com profunda gratidão.

Agradecimentos

Neste momento especial de conclusão do meu Trabalho de Conclusão de Curso, gostaria de expressar minha profunda gratidão a vocês. Sem o apoio e suporte de ambos, essa jornada não teria sido possível.

À minha amada família, sou imensamente grato por estar ao meu lado em todos os momentos. Vocês foram minha fonte inesgotável de incentivo, amor e compreensão. Seu apoio incondicional me deu forças para superar os desafios, manter o foco e perseverar até o fim. Suas palavras de encorajamento e gestos de carinho foram combustível para minha motivação. Agradeço a cada um de vocês por acreditar em mim e por me impulsionar a dar o meu melhor.

A todos os familiares e amigos que estiveram presentes em minha jornada acadêmica, agradeço por compartilharem comigo alegrias, desafios e conquistas. Seu apoio inabalável e encorajamento constante foram essenciais para minha motivação e bem-estar emocional ao longo dessa caminhada.

Por fim, expresso minha gratidão à instituição de ensino pela oportunidade de crescimento e desenvolvimento acadêmico. Os recursos e a infraestrutura disponíveis foram fundamentais para minha formação. Agradeço a todos os professores que compartilharam seu conhecimento e despertaram em mim a paixão pelo aprendizado.

Minha jornada acadêmica foi enriquecida pela presença de vocês, minha amada família e meus dedicados orientadores. Sei que esta conquista é resultado do trabalho em equipe, do amor e do apoio que recebi. Levarei cada um de vocês em meu coração e serei eternamente grato pelo impacto que tiveram em minha vida.

*“O maior prazer que se pode encontrar na vida é
fazer aquilo que as pessoas dizem que você não é capaz de fazer.
(Walter Bagehot)*

Resumo

O oxigênio medicinal desempenha um papel fundamental no tratamento de condições respiratórias, sendo comumente produzido por meio da criogenia ou por Sistemas Concentradores de Oxigênio (SCO). Este trabalho buscou realizar um levantamento abrangente dos principais métodos de produção de oxigênio medicinal, incluindo processos de armazenamento e distribuição. Além disso, analisou e avaliou as regulamentações que impactam a implementação de usinas concentradoras de oxigênio do tipo PSA (Pressure Swing Adsorption), destacando a importância das normativas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária e da Associação Brasileira de Normas Técnicas. Para atingir esses objetivos, a metodologia adotada envolveu uma revisão bibliográfica detalhada para mapear os métodos de produção de oxigênio e entender as regulamentações pertinentes. A análise das regulamentações, em particular, focou em como elas afetam a implementação específica de usinas concentradoras de oxigênio do tipo PSA. A pesquisa também empregou uma abordagem de avaliação de viabilidade econômica, utilizando o cálculo do payback. Esse método foi aplicado considerando os custos de instalação, operação, manutenção e o retorno oferecido pelos sistemas concentradores de oxigênio PSA. Adicionalmente, a identificação e avaliação de riscos operacionais e ambientais foram realizadas, utilizando análises de cenários potenciais e considerando medidas de mitigação para cada risco identificado. Apesar dos resultados promissores, é crucial mencionar algumas limitações do estudo. A análise se concentrou em um modelo específico de SCO. Além disso, a viabilidade econômica foi avaliada com base nos custos específicos da região do Distrito Federal, podendo variar em outras localidades. Essas limitações destacam a necessidade de futuras pesquisas que abordem diferentes modelos de SCO e considerem variações regionais para uma compreensão mais abrangente.

Palavras-chave: Oxigênio Medicinal. Sistemas Concentradores de Oxigênio. PSA.

Abstract

Medicinal oxygen plays a crucial role in the treatment of respiratory conditions, commonly produced through cryogenics or Oxygen Concentrator Systems. This study aimed to conduct a comprehensive survey of the main methods of producing medicinal oxygen, including storage and distribution processes. Additionally, it analyzed and evaluated the regulations impacting the implementation of Pressure Swing Adsorption (PSA) oxygen concentrator plants, emphasizing the importance of regulations from the National Health Surveillance Agency and the Brazilian Association of Technical Standards. To achieve these objectives, the adopted methodology involved a detailed literature review to map out oxygen production methods and understand relevant regulations. The analysis of regulations, in particular, focused on how they affect the specific implementation of PSA oxygen concentrator plants. The research also employed an economic feasibility assessment approach, using payback calculation. This method was applied considering installation, operation, maintenance costs, and the return provided by PSA oxygen concentrator systems. Additionally, the identification and evaluation of operational and environmental risks were carried out, using potential scenario analyses and considering mitigation measures for each identified risk. Despite promising results, it is crucial to mention some limitations of the study. The analysis focused on a specific model of Oxygen Concentrator System, and generalizations to other models may be limited. Furthermore, economic feasibility was evaluated based on specific costs in the Federal District region, which may vary in other locations. These limitations underscore the need for future research addressing different Oxygen Concentrator System models and considering regional variations for a more comprehensive understanding.

Key-words: Medical Oxygen. PSA. Oxygen Concentrator Systems.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Retificador a coluna dupla	30
Figura 2 – Esquema de distribuição de oxigênio criogênico	31
Figura 3 – Diferença entre um processo de adsorção e um processo de absorção.	32
Figura 4 – Sistema de compressão e tratamento de ar	33
Figura 5 – Esquema de válvulas que atuam no processo PSA	34
Figura 6 – Configuração de um concentrador VPSA	35
Figura 7 – Fluxograma PRISMA2020	42

Lista de tabelas

Tabela 1 – Ponto de Ebulição	29
Tabela 2 – Descrição do funcionamento das válvulas em cada fase da produção	34
Tabela 3 – Descrição das ações que ocorrem em cada fase da produção	35
Tabela 4 – Especificações do oxigênio 93	37
Tabela 5 – Normativas	44
Tabela 6 – Requisitos dos SCO NBR 13587	48
Tabela 7 – Custos do Sistema Concentrador de Oxigênio PSA	52
Tabela 8 – Custos para aquisição de Oxigênio	52
Tabela 9 – Riscos ao utilizar SCO	54

Lista de abreviaturas e siglas

ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
EAS	Estabelecimento Assistencial de Saúde
m^3	Metro Cúbico
PSA	Pressure Swing Adsorption
SCO	Sistema Concentrador de Oxigênio
VPSA	Vacuum Pressure Swing Adsorption

Sumário

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Contextualização	23
1.2	Definição do Problema	25
1.3	Objetivos	26
1.3.1	Objetivo Geral	26
1.3.2	Objetivos Específicos	26
1.4	Organização do trabalho	27
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	29
2.1	Processos de Produção de Oxigênio	29
2.1.1	Sistema Criogênico	29
2.1.1.1	Distribuição	31
2.1.2	Sistemas Concentradores de Oxigênio	32
2.1.2.1	Sistema Concentrador de Oxigênio tipo PSA	32
2.1.2.2	Sistemas Concentrador VPSA	35
2.2	Normativas	36
2.3	Oxigênio na Pandemia	37
2.4	Considerações Finais	38
3	METODOLOGIA	41
3.1	Introdução	41
3.2	Revisão Bibliográfica	41
3.3	Estudo de Mercado	42
3.4	Conformidade com as Normas	43
3.5	Análise de Riscos	44
3.6	Limitações	45
3.7	Considerações Finais	45
4	RESULTADOS	47
4.1	Conformidade do SCO com as Normas	47
4.2	Análise de Custos	51
4.3	Riscos	53
5	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	59

1 Introdução

1.1 Contextualização

O oxigênio é um elemento essencial para a existência da vida na Terra, sendo um dos elementos mais abundantes no universo e desempenhando um papel crucial em uma variedade de processos biológicos e físico-químicos, sendo um item indispensável para manutenção da vida (CERQUEIRA *et al.*, 2021).

Nos organismos vivos, o oxigênio desempenha um papel fundamental no metabolismo celular. Ele é utilizado nos processos de respiração celular, onde é necessário para a produção de energia. Durante a respiração, o oxigênio é transportado para as células pelos glóbulos vermelhos no sangue, onde participa da quebra da glicose para a produção de adenosina trifosfato, a molécula responsável pelo armazenamento e liberação de energia (CERQUEIRA *et al.*, 2021).

Além de seu papel essencial na respiração celular, o oxigênio também desempenha um papel importante em processos de combustão, sendo necessário para a queima de combustíveis, como carvão, gás natural e petróleo, que são fontes de energia amplamente utilizadas em todo o mundo. O oxigênio é amplamente utilizado na indústria, seja na produção de aço, fabricação de vidro, purificação de água e tratamento de águas residuais (PETTY, 1987).

Dentre as diversas aplicações do oxigênio, o oxigênio medicinal se destaca por seu papel como insumo indispensável para as atividades dos EAS (Estabelecimentos Assistenciais de Saúde) no processo de tratamento de diversos enfermos. A administração de oxigênio em concentrações elevadas à um paciente, é um processo terapêutico definido como oxigenoterapia, que é recomendada para tratamento de pacientes que apresentam baixa concentração de oxigênio nos tecidos, decorrente da baixa concentração de oxigênio na corrente sanguínea conhecida como hipóxia (GONZÁLEZ-MORO *et al.*, 2020).

O oxigênio medicinal também pode ser utilizado como meio para administração de medicamentos através da inalação, como parte da mistura de gases utilizados em processos anestésicos durante cirurgias, tratamento de embolia gasosa pelo método hiperbárico, onde o indivíduo é submetido a um ambiente rico em oxigênio com pressão elevada, dentre diversas outras aplicações na área da saúde, demonstrando a sua essencialidade para o funcionamento dos EAS no tratamento dos seus pacientes, onde a sua indisponibilidade pode por em risco a saúde e a vida destes (GONZÁLEZ-MORO *et al.*, 2020).

O oxigênio medicinal possui elevados requisitos de qualidade a serem seguidos que foram estabelecidos pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária e pela Associação Bra-

sileira de normas técnicas, requisitos bem mais rígidos quando se comparado ao oxigênio industrial (ROCHA et al., 2021).

O suprimento de oxigênio medicinal para os EAS pode ser fornecido de diferentes formas, o meio mais comum é fornecido por meio de grandes tanques criogênicos abastecidos com oxigênio líquido produzidos em unidades de produção distantes e transportados por caminhões até o consumidor final, o fornecimento também pode ocorrer por meio de cilindros de aço com capacidade de até $10m^3$, envasados com oxigênio gasoso sob alta pressão. Outra alternativa para o fornecimento de oxigênio medicinal para os EAS, é a produção in-loco do oxigênio medicinal por meio de SCO (Sistema Concentrador de Oxigênio), meio menos popular para abastecimento de oxigênio para os EAS (ROSSO, 2011).

Existe um grande desafio logístico quando se trata do transporte de oxigênio, que se faz necessário quando este é produzido distante do consumidor final, o oxigênio líquido para ser transportado necessita de caminhões especiais capazes de manter o oxigênio em baixíssima temperatura para conservar o seu estado líquido. Para o transporte de oxigênio em cilindros de alta pressão também existe a necessidade de veículos apropriados, que devem possuir carroceria aberta e compartimento de carga separado da cabine, possuir estrutura para fixação dos cilindros, além do oxigênio ser classificado como produto perigoso devendo seguir os critérios estabelecidos pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (TERRESTRES, 2016).

O transporte do oxigênio pode ser ainda mais desafiador quando se trata de regiões mais isoladas, normalmente localizadas longe dos centros de produção de oxigênio, essas regiões se caracterizam por possuir uma infraestrutura rodoviária inadequada ou até mesmo inexistente, o que eleva os custos do transporte e em alguns casos torna-o inviável. Como uma alternativa aos desafios logísticos, a utilização dos SCO se apresenta como uma solução, por ser capaz de produzir oxigênio diretamente no consumidor final, assim eliminando a necessidade do transporte do produto.

Os SCO não é o método mais adotado para produção de oxigênio medicinal, mas nos últimos anos houve um aumento no número de SCO instalados nos EAS do país, principalmente para atender o aumento da demanda de oxigênio durante a pandemia de Covid-19 (ANVISA, 2021).

Neste estudo, propomos uma investigação abrangente sobre a produção de oxigênio medicinal, destacando o levantamento dos métodos de produção, armazenamento e distribuição. Buscaremos compreender as regulamentações que impactam a implementação de Sistemas Concentradores de Oxigênio do tipo PSA, avaliando seu impacto na segurança e conformidade. Além disso, nosso objetivo inclui uma análise detalhada da viabilidade econômica desses sistemas, utilizando o cálculo do payback para considerar custos e retornos, sendo o payback um indicador que mensura em quanto tempo um investimento

trará retorno. Identificar e avaliar riscos operacionais associados à implementação de SCO é uma parte crucial do nosso escopo, visando assegurar uma adoção segura e eficaz dessas tecnologias na produção de oxigênio medicinal.

1.2 Definição do Problema

O oxigênio medicinal é um insumo indispensável para o funcionamento dos EAS, por exemplo, um hospital com 111 leitos pode gastar em média $8400m^3$ de oxigênio por mês, quando fornecido em forma líquida por meio de sistemas de criogenia ou cilindros, reflete em um elevado custo mensal somente com oxigênio (KIST, 2023).

Em alguns cenários, a disponibilidade de oxigênio medicinal pode ser ameaçada, como durante a pandemia do novo coronavírus, os hospitais sofreram com uma alta demanda que ocasionou na sobrecarga de todo o sistema (BONG et al., 2020). Um dos grandes problemas enfrentados em todo o mundo durante a pandemia, foi a escassez de oxigênio medicinal em todo o mundo (FILHO et al., 2021).

A disponibilidade de oxigênio também pode ser ameaçada por outras situações, como greve dos caminhoneiros que interrompe o tráfego em diversas rodovias do país impedindo o trânsito do oxigênio, também pode ser afetado devido a questões climáticas, pois nas estações chuvosas algumas estradas do país ficam intransitáveis. A indisponibilidade do oxigênio afeta todo o funcionamento dos EAS, colocando em risco a saúde dos pacientes e podendo a causar a morte.

Durante a pandemia de Covid-19, de maneira especial, a escassez de oxigênio medicinal se mostrou um problema complexo, no qual envolveu diversas questões, tais como infraestrutura, logística e capacidade de produção. Durante o período de maior crise, medidas emergenciais tiveram que ser tomadas, tais como o envio de oxigênio líquido em tanques, por meio de transporte aéreo, também houve a necessidade de enviar cilindros de oxigênio gasoso para atender a demanda das regiões mais isoladas do país.

As ações emergenciais por sua natureza apresentam um elevado custo para execução, o que torna insustentável ao longo do tempo. A operação de transporte de oxigênio líquido por meio aéreo durante a pandemia no Brasil foi algo inédito em todo o mundo, devido aos riscos neste tipo de operação e sendo realizado somente devido a situação emergencial. O transporte dos cilindros de oxigênio gasoso se mostra ainda mais complexo, pois os cilindros apresentam baixa capacidade e pouca autonomia durante o tratamento dos pacientes (FAB, 2021).

Os sistemas concentradores de oxigênio surge como uma alternativa para o suprimento de oxigênio medicinal aos EAS, estes sistemas produzem oxigênio localmente. Os SCO podem ser instalados diretamente nos EAS, o que elimina a necessidade do transporte

do produto até o cliente final, reduzindo os custos e não afetando a disponibilidade caso existam problemas relacionados a logística. No Brasil durante a pandemia de Covid-19 o número de SCO instalados em todo o país aumentou substancialmente, com a intenção de suprir o abastecimento de oxigênio nos EAS ([ANVISA, 2021](#)).

O desabastecimento de oxigênio medicinal é um problema que pode ocorrer por diversos motivos, seja devido a aumento inesperado da demanda ou por questões climáticas que possam impedir o transporte do produto, o oxigênio também representa um grande custo operacional para o funcionamento dos EAS. Uma alternativa para o abastecimento de oxigênio medicinal se faz necessário, sendo os SCO apontados como como uma solução adequada para o suprimento do oxigênio.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho buscou analisar de forma abrangente os sistemas concentradores de oxigênio, investigando suas características de funcionamento, a eficiência desses sistemas para produção de oxigênio medicinal, custos envolvidos na aquisição e operação dos sistemas e a conformidade dos SCO com as normativas vigentes. O estudo buscou fornecer uma percepção sobre as vantagens e desvantagens desses sistemas, contribuindo para a compreensão mais aprofundada de sua aplicabilidade e para a tomada de decisões informadas na escolha e implementação desses dispositivos em ambientes de saúde.

1.3.2 Objetivos Específicos

Com o intuito de atingir o objetivo geral, o desenvolvimento do trabalho ocorrerá em etapas, as quais estão listadas abaixo:

- Realizar um levantamento dos principais métodos de produção de oxigênio medicinal, incluindo os processos de armazenamento e distribuição;
- Analisar e avaliar as regulamentações referentes a implementação de sistemas concentradores de oxigênio do tipo PSA;
- Avaliar a viabilidade econômica da adoção de sistemas concentradoras de oxigênio PSA, aplicando o cálculo do payback considerando os custos de instalação, operação, manutenção e o retorno oferecido;
- Identificar e avaliar os riscos operacionais associados à implementação de sistemas concentradoras de oxigênio PSA.

1.4 Organização do trabalho

O presente trabalho é composto por 5 capítulos. O primeiro apresenta a contextualização, definição do problema e quais os objetivos do trabalho.

O Capítulo 2 apresenta uma fundamentação teórica composta por uma revisão bibliográfica utilizada como referência para o desenvolvimento do estudo. Inclui uma análise detalhada dos diferentes métodos de produção de oxigênio medicinal, incluindo os processos de armazenamento e distribuição de oxigênio. Também será apresentado um levantamento das normativas relativas à produção de oxigênio medicinal. Na fundamentação teórica contém um breve histórico da disponibilidade de oxigênio medicinal durante a pandemia no Brasil e paralelamente é abordada as mudanças das normativas durante o período de emergência devido à escassez do oxigênio medicinal.

Segue-se no Capítulo 3, a proposta da metodologia aplicada no trabalho, aqui são descritos os métodos utilizados para a análise dos sistemas concentradores de oxigênio. A metodologia é composta por uma revisão em artigos científicos e livros que tratam a respeito da produção de oxigênio, também é realizado um levantamento das normativas vigentes que regulamentam o oxigênio medicinal, adicionalmente será apresentado um estudo de mercado com o levantamento dos custos envolvidos na utilização dos SCO de modo a estudar a viabilidade financeira da utilização dos sistemas.

No Capítulo 4, são apresentados os resultados obtidos durante o estudo e discutida a análise dos sistemas concentradores de oxigênio. Neste capítulo será apresentada a conformidade dos SCO com as normativas do país, também será realizado um estudo de viabilidade financeira, onde são verificados os custos para a implementação dos SCO, permitindo avaliar o payback apresentado ao utilizar esses sistemas para o fornecimento de oxigênio. Por fim, é apresentado um levantamento dos riscos operacionais e ambientais envolvidos na utilização dos SCO.

Finalmente, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões deste trabalho, também é avaliado se o objetivo foi alcançado. Neste também são apresentadas as limitações enfrentadas durante o estudo, juntamente com sugestões de melhorias baseadas nas limitações encontradas durante a elaboração do estudo.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Processos de Produção de Oxigênio

O oxigênio medicinal pode ser obtido de diferentes formas, o sistema criogênico é o processo mais avançado e industrializado, o qual ocorre em uma planta industrial afastada do consumidor final, sendo este o método que produz cerca de 80% de todo o oxigênio medicinal utilizado (SANTOS, 2002), já as usinas concentradoras de oxigênio são uma alternativa para produção do oxigênio medicinal, apresentando uma planta de produção mais simples localizada no cliente final (MORAES; MOREIRA; LEITE, 2005).

2.1.1 Sistema Criogênico

O principal processo de produção de oxigênio é por meio da liquefação e retificação do ar. Este é o processo mais industrializado com capacidade de produção de Oxigênio de altíssima pureza, com concentração mínima de 99,5%, este processo de obtenção de oxigênio a partir do ar é chamado de processo criogênico (PETTY, 1987).

São processos criogênicos aqueles que consistem em comprimir o ar e resfriá-lo a ponto de liquefação parcial, permitindo que ocorra a destilação deste, a partir do princípio de que os elementos do ar possuem temperaturas de liquefação diferentes. Para que o processo seja viável, é necessária uma avançada estrutura composta por equipamentos que estejam isolados termicamente do ambiente, tais como coluna de destilação e trocadores de calor (VILA; SERRANO; SÁNCHEZ, 2001).

Tabela 1 – Ponto de Ebulição

Elemento do Ar	Ponto de Ebulição (1 atm)
Oxigênio	-183°C
Argônio	-186°C
Nitrogênio	-196°C

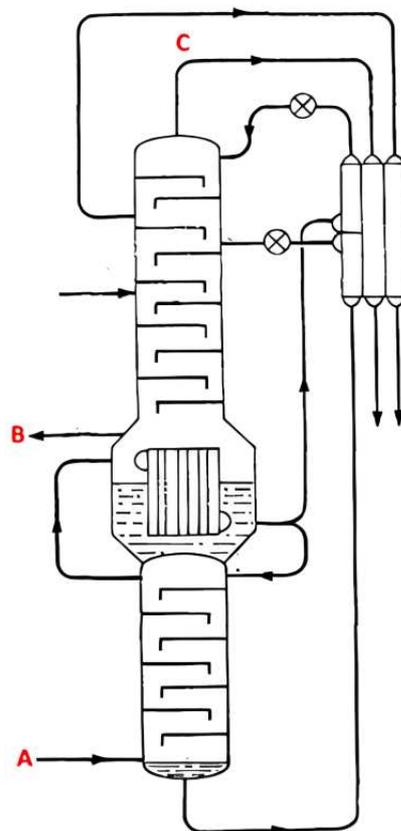
Fonte: (CERQUEIRA et al., 2021)

O processo de obtenção de Oxigênio de alta pureza pelo sistema de criogenia consiste em uma sequência de processos, o ar atmosférico é filtrado e comprimido, em seguida é iniciado o resfriamento. O processo de resfriamento é contínuo e ocorre no interior de um trocador de calor, ao atingir o ponto de orvalho a umidade é condensada e em seguida é congelada nas paredes do trocador de calor, em temperaturas abaixo de -56,6°C o dióxido de carbono também se solidifica, passando a aderir às paredes do

trocador de calor, como resultado desta fase do processo, se obtém o ar seco cujo mais de 99% do dióxido de carbono tenha sido removido (SHREVE; JR, 1997).

O ar tratado é enviado para um retificador composto por duas colunas de destilação, as colunas de destilação são separadas em superior e inferior, as quais unidas por um trocador de calor que atua como refeedor para a coluna superior e condensador para a coluna inferior onde ocorre a destilação fracionada do ar. A porção de ar tratado é admitido pela base do retificador na coluna inferior, devido a maior volatilidade do nitrogênio, apresentando ponto de ebulição $12,8^{\circ}\text{C}$ menor que o oxigênio, este se concentrará na parte superior das colunas, conseqüentemente o oxigênio escorrerá pelos pratos no interior das colunas e se concentrará na parte inferior. O retificador é apresentado na figura 1, onde 'A' é admitido o ar tratado a uma baixa pressão, em 'B' temos a saída do oxigênio de elevada pureza, com no mínimo 99,5% pureza e em 'C' temos a saída da fração de nitrogênio concentrado (SHREVE; JR, 1997).

Figura 1 – Retificador a coluna dupla



- (A) Admissão de ar tratado a uma baixa pressão;
- (B) Saída de oxigênio de alta pureza;
- (C) Saída de nitrogênio concentrado.

Fonte: Adaptado de (SHREVE; JR, 1997)

2.1.1.1 Distribuição

No processo de produção de oxigênio pelo método de criogenia, o produto final encontrasse em estado líquido e são armazenados localmente em grandes tanques a baixa pressão isolados termicamente do ambiente (DALPIAZ, 2010).

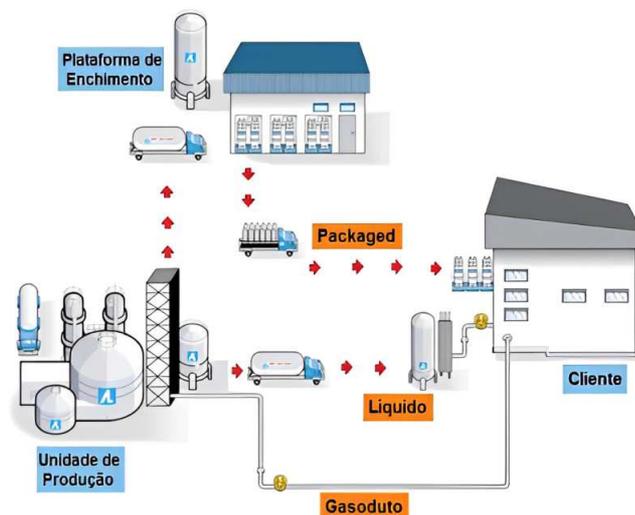
Segundo Dalpiaz (2010, p.9), "o tipo de fornecimento é escolhido em função de vários fatores, principalmente pelo volume de gás adquirido e a distância do centro distribuidor. Assim, existem basicamente três categorias de fornecimento destes produtos criogênicos".

O produto pode ser transportado em estado líquido até o cliente final por veículos de carga especialmente preparados para este tipo de transporte. Nesta modalidade o oxigênio líquido será estocado em tanques criogênicos localizados no próprio cliente, que contam com um trocador de calor capaz de vaporizar o oxigênio conforme a demanda (DALPIAZ, 2010).

Para clientes com médio e baixo consumo, a modalidade de fornecimento mais utilizada é a packaged, essa modalidade consiste no transporte do oxigênio líquido da planta de produção até plataformas de enchimento regionais, onde o oxigênio líquido é transferido para tanques criogênicos móveis menores ou são vaporizados e comprimidos em cilindros à 200bar e com volume de até $10m^3$ (DALPIAZ, 2010).

Em alguns casos especiais, quando o consumidor final está localizado próximo à planta de produção e apresenta um grande volume de consumo do produto, tais como indústrias químicas, siderúrgicas, entre outras, o fornecimento pode ocorrer por meio de gasodutos. As 3 formas de distribuição de oxigênio criogênico são apresentadas esquematicamente na figura 2.

Figura 2 – Esquema de distribuição de oxigênio criogênico



Fonte: (DALPIAZ, 2010)

O processo de obtenção de oxigênio por criogenia é caracterizado por exigir uma complexa planta de produção, infraestrutura para armazenamento do produto finalizado e logística de transporte para chegada do oxigênio ao consumidor final, elevando o custo do oxigênio produzido por este método.

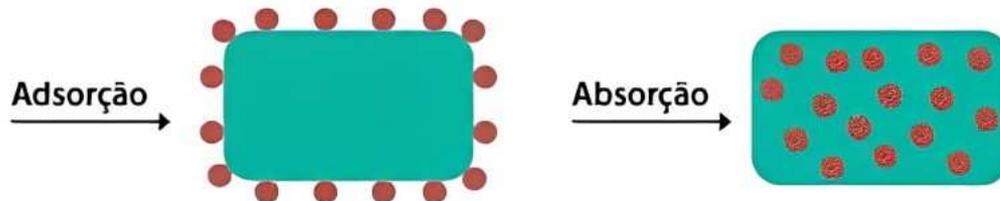
2.1.2 Sistemas Concentradores de Oxigênio

2.1.2.1 Sistema Concentrador de Oxigênio tipo PSA

Um método eficaz para obtenção do oxigênio é por meio de sistemas concentradores de oxigênio, iniciado no final da década de 1960 o processo de adsorção por alternância da pressão (pressure swing adsorption - PSA) tornou viável a produção de oxigênio on-site com baixo custo operacional impulsionando rapidamente a tecnologia, os sistemas concentradores PSA podem ser empregados para o abastecimento de oxigênio para hospitais de pequeno, médio e grande porte (LEITE, 2006).

A adsorção é um processo físico-químico onde um componente líquido ou gasoso adere a uma superfície sólida, é amplamente utilizado para purificação ou separação de componentes de uma mistura. Nos concentradores de oxigênio a adsorção permite a separação do oxigênio do nitrogênio presente no ar atmosférico, o processo de adsorção em comparação com o processo de absorção é apresentado na figura 3.

Figura 3 – Diferença entre um processo de adsorção e um processo de absorção.



Fonte: (OPAS, 2022)

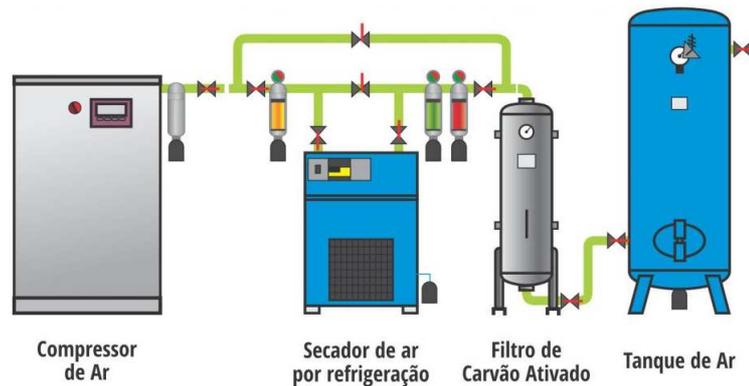
Os concentradores PSA, consistem em uma usina produtora de oxigênio instalada no consumidor final, dessa forma não havendo custos com o transporte do oxigênio até o consumidor. Este tipo de sistema é capaz de separar e concentrar oxigênio presente no ar, ao submeter o ar atmosférico sob baixa pressão a uma peneira molecular de zeólita, que permite a adsorção do monóxido de carbono, dióxido de carbono e o nitrogênio presente no ar (LEITE, 2006). Segundo Glowacki (p. 33, 2003), resulta na saída do vaso um gás composto por até 95,6% de O₂, por gases nobres, cujo componente relevante é o Ar (4,3%), e pela parcela de N₂ que não consegue ser adsorvido devido à eficiência da peneira e do processo.

Para o funcionamento de uma usina concentradora do tipo PSA é necessário o suprimento de ar comprimido filtrado e seco. O ar atmosférico possui uma quantidade de vapor

de água e quando este é admitido pelo compressor, todo o vapor de água é juntamente admitido. Durante o processo de compressão ocorre a elevação da temperatura do ar que facilita a retenção do vapor de água, elevando a umidade presente no ar comprimido. Uma primeira etapa de tratamento faz o uso de um conjunto de pré-filtros em sequência que permitem a remoção de partículas de impurezas do ar, juntamente com uma parte da umidade presente.

Nesta etapa, o ar comprimido ainda apresenta vapor de água em elevadas quantidades, sendo necessário a incorporação de dispositivos secadores de ar, os mais comuns são os secadores por refrigeração, estes são capazes de resfriar o ar até 3°C, condensando efetivamente o vapor de água presente no ar comprimido. Ainda na linha de ar comprimido, são instalados um conjunto de filtros capazes de remover as bactérias, poeiras e outras partículas. Todo o sistema responsável pelo tratamento do ar é apresentando na figura 4.

Figura 4 – Sistema de compressão e tratamento de ar

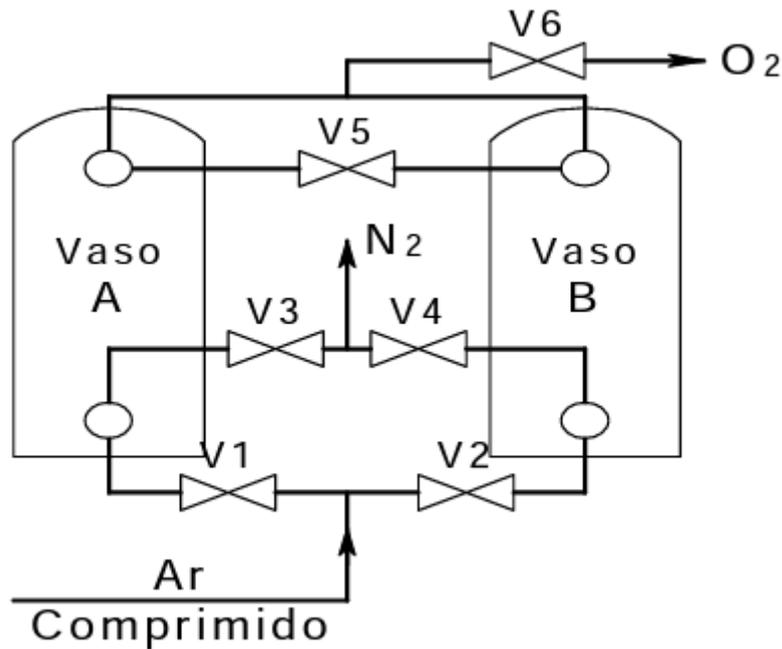


Fonte: (AIR, 2023)

O ar tratado é admitido por um concentrador composto por dois vasos de pressão preenchidos por zeólita, um silicato de alumínio que desempenha o papel de peneira molecular, a sua estrutura cristalina realiza a filtragem do ar devido aos seus poros. No caso dos sistemas concentradores de oxigênio, a zeólita realiza a adsorção do nitrogênio e permite a passagem do oxigênio.

Quando um dos vasos passa a ser pressurizado e começa a liberar o oxigênio, o nitrogênio adsorvido no outro vaso é liberado para a atmosfera através da despressurização natural, onde um fluxo de uma pequena parcela do oxigênio produzido no vaso que está sendo pressurizado realiza a "lavagem da peneira", auxiliando na regeneração da zeólita. A medida que o nitrogênio vai sendo adsorvido durante a pressurização do vaso, o oxigênio é concentrando na extremidade superior do vaso, somente quando a concentração desejada é atingida a válvula V6 representada na figura 5 é aberta, liberando assim o fluxo de oxigênio (GLOWACKI, 2003).

Figura 5 – Esquema de válvulas que atuam no processo PSA



Fonte: (GLOWACKI, 2003)

Um ciclo de produção de O₂ em uma usina PSA é composto por 8 fases, onde o funcionamento das válvulas e o desempenho dos vasos em cada uma das fases são apresentados na tabela 2, enquanto as ações em cada etapa do processo de produção de oxigênio são apresentadas na tabela 3:

Tabela 2 – Descrição do funcionamento das válvulas em cada fase da produção

FASE	VÁLVULAS						VASOS	
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	VA	VB
8	X	X	X	X	O	X	Equalizam	
1	O			O			Pressuriza	Despressuriza
2						O	Produz	Purga
3				X			Fecha	Fecha
4	X				O	X	Equalizam	
5		O	O				Despressuriza	Pressuriza
6						O	Purga	Produz
7			X				Fecha	
8		X			O	X		Fecha

X = Válvula Fechada; O = Válvula Aberta

Fonte: Adaptado de (GLOWACKI, 2003)

Tabela 3 – Descrição das ações que ocorrem em cada fase da produção

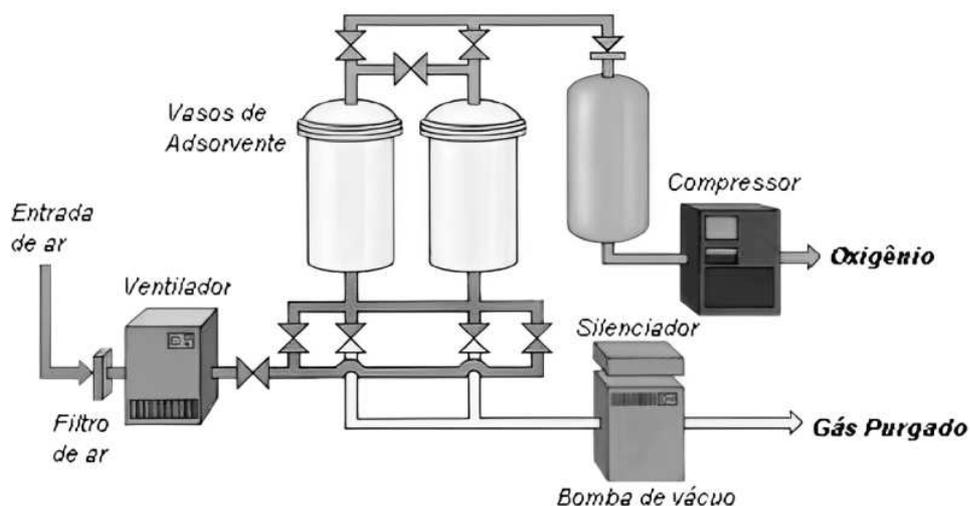
FASE	AÇÕES
8	Os dois vasos com as pressões equivalentes
1	Inicia admissão no vaso A e a liberação natural de N ₂ do vaso B
2	Inicia produção do vaso A e a lavagem do vaso B
3	Cessa a purga do vaso B
4	Cessa a produção do vaso A e equalizam-se as pressões
5	Inicia admissão no vaso B e a liberação natural de N ₂ do vaso A
6	Inicia produção do vaso B e a lavagem do vaso A
7	Cessa a purga do vaso A
8	Cessa a produção do vaso B

Fonte: Adaptado de (GLOWACKI, 2003)

2.1.2.2 Sistemas Concentrador VPSA

Um sistema VPSA consiste em uma variante do sistema PSA apresentado anteriormente, o processo de adsorção por variação de pressão e vácuo do inglês Vacuum Pressure Swing Adsorption (VPSA). Diferente da tecnologia PSA, o sistema VPSA conta com um sistema de ventilação para a admissão do ar ambiente e não um sistema de compressão com compressores de ar, além de possuir uma bomba de vácuo que realizando a regeneração forçada da zeólita, auxiliando no processo de purgar os elementos adsorvidos para a atmosfera, a configuração de um concentrador VPSA é apresentada na figura 6 (GLOWACKI, 2003).

Figura 6 – Configuração de um concentrador VPSA



Fonte: (GLOWACKI, 2003)

Neste tipo de sistema a regeneração forçada realizada pela bomba de vácuo, per-

mite que a regeneração da zeólita ocorra de forma mais completa elevando a eficiência do processo. Quando comparado aos concentradores do tipo PSA, os concentradores VPSA apresentam maior eficiência, ao mesmo tempo que se adiciona mais complexibilidade ao sistema (LEITE, 2006).

Os concentradores VPSA são aplicados a plantas com elevada produção, normalmente com capacidade de $300\text{ m}^3/\text{h}$ a $10000\text{ m}^3/\text{h}$ e pureza de até 95%, também podendo ser utilizado em plantas de menor capacidade, mas se destacando nas plantas com alta vazão, apresentando maior eficiência e menor custo em relação a cada m^3 produzido, os sistemas VPSA são indicados para aplicações onde há demanda muito elevada por oxigênio, tais como indústrias (LINDE, 2023).

2.2 Normativas

O Conselho Federal de Medicina publicou em 1992 a resolução n°. 1355, sendo a primeira a estabelecer critérios para a utilização de sistemas concentradores de oxigênio, definindo os requisitos mínimos para a utilização dos SCO:

- 1 -Estabelecer, como parâmetro mínimo de segurança, a concentração de oxigênio igual ou maior que 92% para a utilização hospitalar, devendo tal valor integrar a farmacopéia brasileira.
- 2 -Aprovar os seguintes padrões mínimos para a instalação e funcionamento das usinas concentradoras de oxigênio:
 - a -A Usina Concentradora de Oxigênio deverá ter medidor que indique continuamente a concentração do oxigênio que está sendo fornecido.
 - b -Que possua um sistema para interromper automaticamente o funcionamento da usina quando o teor do oxigênio na mistura for inferior a 92%.
 - c -Que seja mantido o sistema usual de Oxigênio, que deverá entrar em funcionamento automaticamente, em qualquer instante em que a usina processadora interrompa sua produção.
 - d -Que existam filtros que assegurem o grau de pureza, de forma que a mistura de gases não contenha elementos danosos à saúde, inclusive argônio com concentração superior a 5% ou nitrogênio em concentração superior a 4%.
 - e -Que periodicamente seja efetuado um controle da composição dos gases (análises qualitativa e quantitativa) que permita absoluta segurança do sistema, sob a responsabilidade do Diretor Técnico da instituição.
 - f -Que existam na instituição placas indicadoras do sistema utilizado.
 - g -Que os aparelhos de anestesia sejam providos de analisadores de oxigênio (oxímetro de linha), quando utilizarem mistura com outros gases[...] (CFM, 1992).

Alguns anos após a publicação da resolução pelo CFM, entrou em vigor em 1996 a Norma Brasileira NBR 13587, a qual conta com sua terceira edição publicada em 2017, onde são especificados os requisitos mínimos de segurança e de desempenho de sistemas

concentradores de Oxigênio (SCO). Tal norma aplica-se somente aos SCO que produzem oxigênio a com concentração não menor que 90%, não englobando os concentradores portáteis de utilização domiciliar (TÉCNICAS, 2017).

A norma define que o abastecimento de oxigênio para a rede de distribuição do EAS não deve ser interrompido em caso de falha no SCO e o suprimento do gás também não deverá ser afetado em caso de manutenção no sistema, devendo possuir um sistema de suprimento secundário e de reserva, podendo ser composto por no mínimo de 2 baterias de cilindros de alta pressão com capacidade de assumir automaticamente o abastecimento da rede, com a vazão máxima que possa ser requerida pelo EAS por no mínimo 6 horas. A NBR 13587 define o gás produzido pelo sistema concentrador de oxigênio como oxigênio 93, as especificações são apresentadas na tabela 4 (TÉCNICAS, 2017).

Tabela 4 – Especificações do oxigênio 93

Parâmetro	Limites
Concentração de Oxigênio	90 % (mínimo)
Concentração de monóxido de carbono (CO)	5 mL/m ³ (máximo)
Concentração de dióxido de carbono (CO ₂)	300 mL/m ³ (máximo)
Concentração de óleo ou vapor de óleo (Hidrocarbonetos)	0,1 mg/m ³ (máximo)
Umidade (como vapor de água)	67 mL/m ³ (máximo)

Fonte: (TÉCNICAS, 2017)

A NBR 13587 especifica que o gás gerado por SCO pode ser utilizado para o enchimento de cilindros de pressão, desde que o SCO tenha capacidade de suprir o enchimento dos cilindros sem prejudicar o abastecimento do EAS, estabelecendo que os cilindros cheios com oxigênio 93 deve ser utilizado somente no o sistema de reserva do próprio estabelecimento. Esta norma também apresenta as especificações dos sistemas de controle e análise, que garantem o funcionamento adequado do sistema, garantido que todo o suprimento de oxigênio entregue a rede de distribuição esteja dentro do especificado (TÉCNICAS, 2017).

A Resolução de Diretoria Colegiada, RDC 50/2002, que Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de EAS, estabelece a concentração mínima de 92% para o oxigênio medicinal produzido por um SCO e que o sistema possua uma reserva que assuma automaticamente o abastecimento da rede do EAS em caso de falha do SCO (BRASIL, 2002).

2.3 Oxigênio na Pandemia

Durante a pandemia de Covid-19, os sistemas de saúde de todo o mundo passaram por desafios jamais vistos, no Brasil de maneira especial a falta de suprimentos médicos,

com o oxigênio medicinal, se tornou uma questão gravíssima. A falta de planejamento e uma infraestrutura insuficiente, foram fatores agravantes para a indisponibilidade do oxigênio medicinal durante os picos de infecções.

No Brasil, durante os picos de infecções o consumo de oxigênio em todo o país chegou a aumentar em até 440%. Na região norte do país, mais especificamente no estado do Amazonas, o consumo de oxigênio aumentou em mais de 11 vezes, chegando a consumir mais de 70 mil m^3 por dia, o equivalente a mais de 7 mil cilindros de oxigênio gasoso por dia (EBC, 2021).

Com a demanda por oxigênio medicinal aumentando substancialmente, as autoridades do Brasil foram obrigadas a realizar alterações nas normativas a fim de garantir o suprimento de oxigênio. O processo para instalação de novas unidades de produção de oxigênio foi simplificado, também ocorreu a flexibilização de alguns requisitos para aumentar produção.

Já durante a pandemia, foi publicada a resolução da diretoria colegiada n.º 392 em 26 de maio de 2020, alterada mais tarde pela RDC n.º 461, que passou a prever a excepcionalidade de especificação de teor de oxigênio medicinal. A partir desta resolução foi autorizada a produção de oxigênio medicinal por meio de liquefação criogênica com a concentração mínima de 95%, desde que se obtenha uma elevação da eficiência no processo de produção e que sejam seguidos os requisitos de qualidade já estabelecidos para o oxigênio medicinal com a exceção da concentração a 95% (BRASIL, 2021a).

Novamente em março de 2021, a RDC 392 sofre alterações através da RDC n.º 482. Tal resolução passa a prever excepcionalmente a utilização de cilindros do gás não medicinal, permitindo também a utilização dos sistemas de produção e envase de gases industriais para o envase de gases medicinais. Tais excepcionalidades passaram a ser permitidas desde que fossem respeitados a correta rotulagem dos cilindros de gás medicinal, assim como aos cilindros deviam passar por limpeza e inspeções, até mesmo internas, para evitar qualquer risco de contaminação (BRASIL, 2021b).

A ANVISA, em frente ao aumento do número de SCO instalados em EAS no país, elaborou a Norma Técnica n.º 155 de 2021, onde foram destacados os principais requisitos mínimos de qualidade que contemplam desde a instalação e utilização dos SCO, até o processo de manutenção destes, a nota se baseava em todas as normativas e resoluções anteriormente aqui apresentadas.

2.4 Considerações Finais

O oxigênio medicinal é utilizado para o tratamento de diferentes quadros clínicos, sendo um insumo indispensável para o funcionamento dos EAS. O oxigênio medicinal

pode ser produzido por dois meios, sendo o processo de destilação fracionada do ar por criogenia, o mais industrializado e mais utilizado, ou por meio de sistemas concentradores de oxigênio, que consiste em equipamentos capazes de produzir oxigênio localmente através da adsorção.

A produção e distribuição do oxigênio medicinal seguem rigorosos requisitos de segurança e qualidade, tais características se devem ao fato de a ANVISA considerar o oxigênio medicinal como um medicamento. É evidenciado que o oxigênio medicinal é um insumo crítico e que sua disponibilidade pode ser ameaçada diante de situações adversas, como durante a pandemia de Covid-19, causando uma falha em todo o processo de cuidados a saúde.

Trazer o contexto da pandemia é importante para entender como existe uma fragilidade no sistema produtivo e de distribuição de oxigênio medicinal em todo o país. Nesse contexto de falta de oxigênio, os SCO se apresentam como uma solução viável para o abastecimento de oxigênio quando os meios convencionais não estão disponíveis ou não suprem a demanda.

A abordagem teórica a respeito dos meios de produção e a importância do oxigênio medicinal, é indispensável para trazer uma percepção sobre os sistemas concentradores de oxigênio, pois permite entender o funcionamento desses SCO e torna possível avaliar a conformidade dos SCO com as normativas vigentes. O embasamento teórico também permite a identificação dos riscos existentes ao se utilizar esses sistemas, formando assim uma base sólida de conhecimento necessário para a avaliação da viabilidade da utilização dos SCO.

3 Metodologia

3.1 Introdução

A metodologia adotada neste trabalho consiste em duas fases principais: uma revisão bibliográfica detalhada e um estudo de mercado que consiste em um levantamento de custos. A revisão bibliográfica enfoca artigos científicos e teses de mestrado sobre sistemas concentradores de oxigênio, complementada por um livro sobre processos químicos. Isso visa fornecer uma base sólida de conhecimento. A análise dos aspectos legais baseia-se nas normativas da ANVISA e ABNT para garantir conformidade. O estudo de mercado abrange consultas a fornecedores de gases medicinais na região e à marca Oxywise fabricante de SCO, visando compreender custos regionais e operacionais. A viabilidade financeira será avaliada comparando os custos de aquisição de oxigênio produzido por criogenia com os sistemas concentradores de oxigênio, incluindo o cálculo do Payback. A metodologia proporciona uma compreensão abrangente, considerando aspectos técnicos, financeiros e regulatórios para confirmar a viabilidade dos sistemas concentradores de oxigênio em ambientes de assistência à saúde.

A escolha dos métodos adotados nesta pesquisa é justificada pela necessidade de uma abordagem abrangente e embasada para avaliar a viabilidade dos sistemas concentradores de oxigênio em ambientes de assistência à saúde. A revisão bibliográfica, visa construir uma base sólida de conhecimento e identificar lacunas críticas. A análise dos aspectos legais, permite avaliar a conformidade dos sistemas com as normas regulatórias e o estudo de mercado é orientado pela busca por dados práticos e estratégicos. A avaliação da viabilidade financeira, por meio de análise econômica comparativa e cálculo do Payback, fundamenta a decisão, considerando custos de aquisição de oxigênio e custos operacionais para produção por meio de SCO.

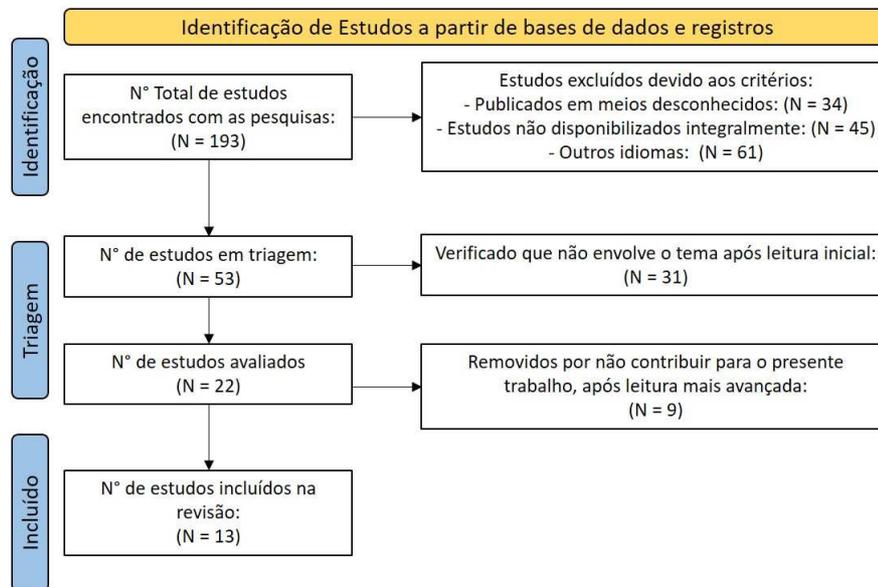
3.2 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica será conduzida com base em artigos científicos e teses de mestrado, centrando-se em sistemas concentradores de oxigênio. Ao realizar a seleção das referências bibliográficas, foram adotados alguns critérios que visaram garantir a relevância, atualidade e confiabilidade das fontes utilizadas. A escolha desses critérios teve como objetivo assegurar que as referências selecionadas fossem pertinentes ao tema em questão. Inicialmente foi realizado o levantamento para embasamento a respeito dos métodos de produção de oxigênio medicinal, foram considerados como critério de inclusão: referências que abordassem o tema, que estivessem disponíveis na íntegra, com menos de 10 anos

de publicados, em português. Após a aplicação dos critérios foram identificados que um elevado número de estudos relevantes ao tema possuíam mais de 10 anos de publicados e alguns materiais importantes foram encontrados em inglês e espanhol. Dessa forma os critérios de inclusão passaram a ser: estudos que abordassem o tema, que estivessem disponíveis na íntegra, publicadas em português, inglês e espanhol. Foram definidos como critério de exclusão: resumos, estudos disponibilizadas de forma incompleta, em outros idiomas, publicados em meios ou instituições desconhecidas. Foram realizadas buscas com as palavras-chave, Sistemas Concentradores de Oxigênio, Processos Criogênicos. As buscas foram realizadas nos seguintes meios: SciELO, Periódicos Capes e Google Acadêmicos.

Foi realizada a aplicação do fluxograma PRISMA2020 para a seleção dos artigos, conforme apresentado na figura 7:

Figura 7 – Fluxograma PRISMA2020



Fonte: Autor, 2023.

A pesquisa inicial, fundamentada nas palavras-chave, resultou na identificação de um total de 193 estudos relevantes para o escopo do trabalho. Por meio da aplicação dos critérios previamente estabelecidos e do método PRISMA, foi possível realizar uma avaliação criteriosa dos estudos disponíveis. Foram selecionados 13 estudos que se destacaram pela sua contribuição significativa para o embasamento teórico dos meios de produção de oxigênio abordados neste estudo.

3.3 Estudo de Mercado

O estudo de mercado abrangerá duas etapas. A primeira consiste em consultar os principais fornecedores de gases medicinais na região do Distrito Federal, notadamente

as empresas White Martins e Air Liquide, para levantamento de custos. Na segunda etapa, será realizada uma consulta ao representante da marca Oxywise, privilegiada pela familiaridade do autor com seus equipamentos. Essa abordagem permitirá a análise de custos de aquisição e operação dos SCO, contribuindo para a avaliação da viabilidade financeira.

A escolha dos fornecedores de gases medicinais e da marca Oxywise para o estudo de mercado é baseada em critérios práticos e estratégicos. A consulta aos principais fornecedores da região do Distrito Federal permite uma compreensão realista dos custos associados ao fornecimento de oxigênio. A preferência pela marca Oxywise se fundamenta na familiaridade prévia do autor com seus equipamentos, facilitando o acesso a informações cruciais para a análise da viabilidade.

O levantamento dos custos associados à implementação de um sistema concentrador de oxigênio representa uma etapa crucial na análise abrangente deste projeto. Neste processo, foram considerados desde os custos iniciais de aquisição até os custos operacionais contínuos, que envolvem contrato de manutenção e energia elétrica. A análise financeira inclui a avaliação do retorno de investimento por meio do indicador de payback. Essa abordagem visa fornecer uma visão completa dos recursos financeiros necessários para a implementação do sistema, bem como a projeção do período esperado para recuperar o investimento inicial. A avaliação do payback, proporcionando uma avaliação sobre a viabilidade econômica da utilização dos SCO.

3.4 Conformidade com as Normas

Complementando a busca bibliográfica, foram conduzidas pesquisas nos portais da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, Conselho Federal de Medicina e Targed, onde foram verificados as resoluções e normas, visando a identificação e compreensão das normativas pertinentes ao escopo do estudo. Essa abordagem permitiu uma análise mais abrangente e atualizada das regulamentações vigentes, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada do contexto normativo relacionado aos meios de produção de oxigênio abordados, onde foram identificadas 2 resoluções da ANVISA, 1 do Conselho Federal de Medicina e 1 norma da ABNT que normatiza o oxigênio medicinal, conforme apresentado na tabela 5.

Tabela 5 – Normativas

Autor	Nome	Ano	Informações-chave
Conselho Federal de Medicina	Resolução N°: 1355	1992	Primeira resolução a tratar de SCO, define a concentração mínima de 92%, que deve possuir sistema de monitoramento de concentração e sistema de Backup.
Associação Brasileira de Normas Técnicas	Norma Brasileira N°: 13587	2017	Estabelece requisitos para o projeto e a instalação de centrais de suprimento contendo sistema concentrador de oxigênio, define os requisitos do SCO e específica o oxigênio 93.
ANVISA	RDC 50	2002	Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento, programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde.
ANVISA	RDC 461	2021	Flexibiliza os requisitos mínimos de qualidade do oxigênio, visando aumentar a produção durante a pandemia de Covid-19.

Fonte: Autor, 2023.

Dentro das normativas aplicáveis, apenas a norma NBR 13587 especifica de forma detalhada os requisitos relacionados aos Sistemas Concentrador de Oxigênio, foram identificados um total de 34 requisitos relacionados. Estes requisitos abrangem uma variedade de aspectos, desde especificações técnicas e critérios de segurança até parâmetros operacionais fundamentais para garantir o desempenho adequado dos SCO. A conformidade com os requisitos estabelecidos, será verificada com base nos manuais e especificações técnicas do equipamento.

3.5 Análise de Riscos

Dada a vital importância do oxigênio medicinal, será conduzido um levantamento dos potenciais riscos associados à sua utilização dos SCO. Este processo de avaliação de riscos visa identificar e compreender possíveis cenários que possam comprometer a segurança, eficácia e o fornecimento de oxigênio medicinal para EAS.

Como complemento, serão identificadas todas as medidas de mitigação incorporadas nos SCO. Este processo abrangerá a avaliação do impacto efetivo de cada medida, considerando sua eficácia na redução ou eliminação dos riscos potenciais associados à utilização do SCO.

3.6 Limitações

A metodologia adotada para este estudo limita-se à avaliação dos custos relacionados ao fornecimento de oxigênio, tanto em termos operacionais do SCO quanto de aquisição de oxigênio, na região do Distrito Federal. Além disso, é importante destacar que a avaliação se concentra em um modelo específico de SCO, visando aprofundar a análise em um contexto mais restrito e direcionado.

Essa abordagem permite obter percepções sobre a viabilidade financeira do uso de SCO na região específica do Distrito Federal, considerando as características locais e específicas do modelo escolhido.

3.7 Considerações Finais

A abordagem metodológica adotada para este estudo é composta por três pilares fundamentais: viabilidade financeira, conformidade e avaliação de riscos associados à implementação de SCO em EAS. A análise de viabilidade financeira contempla a avaliação dos custos de aquisição e operação dos SCO, considerando indicadores como o payback para uma compreensão do retorno sobre o investimento e verificando a viabilidade financeira. Paralelamente, será efetuada uma análise de conformidade, garantindo que o SCO seja adequado com as normativas. Além disso, será realizada uma análise de riscos, identificando possíveis cenários adversos e avaliando as medidas de mitigação que o SCO possui.

4 Resultados

4.1 Conformidade do SCO com as Normas

A avaliação da conformidade dos Sistemas Concentradores de Oxigênio foi conduzida com base nas normas em vigor. Diante da ampla diversidade de fabricantes e modelos de SCO PSA disponíveis no mercado brasileiro, optou-se por eleger um modelo da fabricante Oxywise como objeto de estudo. Essa escolha fundamenta-se na familiaridade do autor com esse modelo e marca específicos.

Embora a RDC 50 da ANVISA seja uma das normas atualmente em vigor que trata sobre os sistemas concentradores de oxigênio, ela não será empregada na análise de conformidade. Isso se deve ao fato de a RDC 50 abordar requisitos relacionados à segurança e qualidade das instalações dos SCO, não incidindo diretamente nos critérios dos equipamentos em si. Para conduzir a verificação da conformidade, adotou-se a Norma Brasileira (NBR) 13587, que estabelece os requisitos mínimos para os Sistemas Concentradores de Oxigênio. Esses requisitos estão detalhados na tabela 6.

Tabela 6 – Requisitos dos SCO NBR 13587

-
- 1- Cilindros devem ficar funcionais mesmo após exposto à pressão de 1,5 vezes a pressão de trabalho;
 - 2- Os materiais devem ser resistente à corrosão;
 - 3- Presença de um filtro coalescente na saída do sistema, manter o nível de partículas abaixo de 0,01um;
 - 4- Meios de indicação do estado do elemento do filtro e o momento de sua troca;
 - 5- Possuir um tanque de armazenamento de oxigênio 93;
 - 6- Possuir um sistema de regulação de pressão;
 - 7- Possuir um analisador de oxigênio;
 - 8- Pelo menos 1 um compressor de ar, sempre dedicado ao sistema;
 - 9- Possuir pelo menos uma peneira molecular;
 - 10- Sistema de válvulas de transferência e de controle;
 - 11- O tanque de ar comprimido deve estar conforme com o código ASME Section VIII, Division 1 e a NR-13;
 - 12- O tanque de ar comprimido deve ser equipado com válvula(s) de bloqueio;
 - 13- O tanque de ar comprimido deve possuir pelo menos um dreno automático;
 - 14- O tanque de ar comprimido deve possuir no mínimo um manômetro e uma válvula de alívio de pressão;
 - 15- O tanque de ar comprimido deve ser equipado com um sistema de controle da pressão;
 - 16- O tanque de oxigênio 93 comprimido deve estar conforme com o código ASME Section VIII, Division 1 e a NR-13;
 - 17- O tanque de oxigênio 93 comprimido deve ser equipado com válvula(s) de bloqueio e com pelo menos um dreno automático;
 - 18- O tanque de oxigênio 93 comprimido deve ser equipado com um manômetro e uma válvula de alívio de pressão;
 - 19- O tanque de oxigênio 93 comprimido deve ser equipado com um sistema de controle da pressão;
 - 20- O tanque de oxigênio 93 deve ser montado de forma que cada tanque possa passar por manutenção em separado;
 - 21- Possuir sistema de controle que desligue o SCO caso a concentração caia abaixo do especificado;
 - 22- As válvulas de alívio da pressão devem ser calibradas conforme as especificações de projeto;
 - 23- As válvulas de alívio de pressão devem fechar automaticamente quando o excesso de pressão for liberado do sistema;
 - 24- Possuir uma válvula de bloqueio instalada entre o SCO e a rede de distribuição;
 - 25- Possuir uma válvula de retenção instalada a montante da válvula de bloqueio;
 - 26- Possuir ponto de amostra;
 - 27- Possuir alarmes sonoros e visuais;
 - 28- Os sistemas de alarme e monitoração devem ser supridos por fonte autônoma de alimentação;
 - 29- Possuir alarmes de queda de pressão;
 - 30- Possuir alarmes de falha no equipamento;
 - 31- Possuir alarmes de queda no suprimento de energia;
 - 32- O fabricante deve fornecer informações sobre a descrição do sistema concentrador de oxigênio;
 - 33- O fabricante deve fornecer informações sobre a descrição do(s) sistema(s) de alarme e monitoração;
 - 34- O fabricante deve fornecer informações sobre a procedimentos em caso de emergência.
-

Fonte: ([TÉCNICAS, 2017](#))

1. Conforme - Os tanques apresentam comumente uma pressão de trabalho de aproximadamente 5 bar, mas possui capacidade de suportar até 12 bar;
2. Conforme - Equipamento fabricado em aço carbono e aço inox, no caso do aço carbono o mesmo é revestido por uma pintura de primer com uma base epóxi;
3. Conforme - O equipamento apresenta dois filtros coalescentes antes do SCO e dois após o sistema, garantindo o nível de partículas desejado;

4. Conforme - Os filtros possuem uma janela de inspeção do elemento filtrante, onde pode ser verificado o estado deste, sendo possível visualizar quando o elemento estiver saturado;
5. Conforme - O sistema possui um tanque de armazenamento de oxigênio 93, logo após a saída do SCO com capacidade de 500 litros;
6. Conforme - O sistema possui dois sistemas de controle de pressão, tanto eletrônico na parte do compressor, como mecânico por meio de uma válvula reguladora de pressão na admissão do SCO;
7. Conforme - O SCO possui um analisador de oxigênio interno que realiza leituras em dois pontos, um logo após a saída do SCO e o outro imediatamente antes da saída para a rede de gases do EAS;
8. Conforme - O SCO pode contar com 1 ou 2 compressores dedicados, a depender a aplicação;
9. Conforme - O SCO possuem duas peneiras moleculares;
10. Conforme - O SCO é composto de 6 válvulas que fazem o controle do funcionamento do sistema;
11. Conforme - O tanque de ar comprimido estar conforme com a NR 13, assim como as normas internacionais também;
12. Conforme - O tanque de ar comprimido possui válvulas de bloqueios tanto na entrada, como na saída;
13. Parcial Conforme - O tanque de ar comprimido possui suporte para a instalação do dreno automático, mas é necessário a compra dos purgadores automáticos;
14. Conforme - O tanque de ar comprimido possui um manômetro na parte frontal e conta com uma válvula de alívio de pressão.
15. Conforme - A pressão do tanque é controlada eletronicamente pelo compressor de ar;
16. Conforme - O tanque de oxigênio 93 comprimido estar conforme com a NR 13, assim como as normas internacionais também;
17. Parcial Conforme - O tanque de oxigênio 93 comprimido possui válvulas de bloqueios tanto na entrada, como na saída, possui suporte para a instalação do dreno automático, mas é necessário a compra dos purgadores automáticos;

18. Conforme - O tanque de oxigênio 93 comprimido possui um manômetro na parte frontal e conta com uma válvula de alívio de pressão;
19. Conforme - A pressão do tanque de oxigênio 93 é controlado por meio do próprio SCO;
20. Conforme - O tanque é montado ao SCO de forma que facilitada a retirada do mesmo para qualquer manutenção;
21. Conforme - O sistema de controle do SCO quando identifica que a concentração de oxigênio está abaixo do especificado, ele para a produção e o sistema de backup assume o abastecimento do EAS;
22. Conforme - As válvulas de alívio de pressão são calibradas conforme a necessidade do projeto, os laudos de calibração são fornecidos com a documentação do equipamento;
23. Conforme - Em caso de atuação das válvulas de alívio, quando a pressão volta para faixa da pressão de trabalho, ela automaticamente se fecha;
24. Conforme - Possui duas válvulas de bloqueio entre o SCO e a rede de distribuição, sendo uma automática e outra manual;
25. Conforme - Possui uma válvula de retenção instalada a montante da válvula de bloqueio;
26. Conforme - Possui ponto de amostra de oxigênio imediatamente após a válvula de bloqueio;
27. Conforme - O dispositivo possui alarmes sonoros e visuais que indicam inconformidades no funcionamento do SCO;
28. Conforme - O SCO possui um nobreak de baixa capacidade interno, que mantém o suprimento de energia para o sistema de controle do SCO;
29. Conforme - O sistema possui alarme que indica queda de pressão;
30. Conforme - O sistema possui alarme que indica qualquer anomalia;
31. Conforme - O sistema possui alarme que indica queda de energia;
32. Conforme - O fabricante disponibiliza junto ao equipamento o documento que descreve todo o SCO;
33. Conforme - O fabricante disponibiliza junto ao equipamento o documento que descreve todo o sistema de alarme do SCO;

34. Conforme - O fabricante disponibiliza junto ao equipamento instruções de uso e treinamentos para manuseio e operação do SCO, para situações normais e adversas.

Foram analisados um total de 34 requisitos estipulados pela NBR 13587. Dentre esses requisitos, 32 demonstraram conformidade integral. Em relação aos requisitos que especificam a necessidade de drenos automáticos nos tanques, a conformidade é parcial, uma vez que embora os drenos estejam presentes, o sistema de automatização não é nativo do Sistema Concentrador de Oxigênio. Nesse caso, a conformidade parcial sugere a possibilidade de ajuste, mediante a aquisição de purgadores automáticos para a devida adequação.

Devido à natureza contornável dessa condição, os requisitos foram classificados como parcialmente conformes, com potencial para atingir total conformidade por meio de ajustes mínimos no equipamento.

Considerando o panorama geral dos requisitos, o SCO alcançou uma conformidade global de 94,12%. Esse índice reflete a adequação dos Sistemas Concentradores de Oxigênio à normativa vigente no Brasil, evidenciando a viabilidade técnica desses sistemas para utilização no país.

Em um estudo semelhante, (ROSSO, 2011) identificou uma taxa de conformidade significativamente menor, totalizando apenas 43% no sistema que foi submetido à avaliação. Essa baixa conformidade foi atribuída, em grande parte, à idade avançada do Sistema Concentrador de Oxigênio analisado. O contraste entre essa taxa e a conformidade de 94,12% encontrada no SCO avaliado no presente estudo destaca a importância da atualização tecnológica para manter a conformidade com as normativas vigentes e garantir a eficácia e segurança desses sistemas.

4.2 Análise de Custos

Para avaliação dos custos foi selecionado um SCO com capacidade de produção de 30 m^3/h , um equipamento desse porte é capaz de atender um EAS de médio porte, ou seja a maioria dos EAS do país. A implementação de um SCO envolve a necessidade de um grande investimento inicial, necessário para a aquisição do sistema. Para a operação dos SCO é consumido uma grande quantidade de energia elétrica, o que pode resultar em um grande custo mensal com energia elétrica. Por último, existe a necessidade de se ter um contrato de manutenção do equipamento, pois este apresenta a necessidade de manutenções periódicas, com a troca dos filtros, óleo e correias do compressor, necessitando também de mão de obra especializada para a execução dos reparos.

Para o levantamento dos custos, foi considerado um valor médio de um SCO com capacidade de produção de 30 m^3/h de oxigênio medicinal. O consumo médio de energia

elétrica desses sistemas é de aproximadamente 0,97 kWh por metro cúbico produzido, de acordo com o manual do fabricante, considerando o funcionamento do sistema na capacidade máxima durante um mês gera um consumo total de 20.952 kWh de energia elétrica.

Tabela 7 – Custos do Sistema Concentrador de Oxigênio PSA

Sistema Concentrador de Oxigênio 30 m^3/h	R\$ 925.000,00
Custo mensal com energia elétrica	(20952 kWh x 0,766)= R\$ 16.049,23
Contrato de manutenção com peças	R\$ 6.500,00

Fonte: Autor, 2023.

Com o concentrador avaliado é possível produzir cerca de 21.600 m^3 de oxigênio gasoso por mês, com um custo mensal de R\$ 22.549,23, englobando os custos com energia elétrica, considerando que na região o valor médio do kWh é de R\$ 0,766 e que existe um custo mensal de R\$ 6.500,00 com o contrato de manutenção do equipamento. Foi realizado um levantamento dos valores de oxigênio que tem sido praticado no mercado local, foi verificado que o valor varia de acordo com a negociação que o cliente possui com o fornecedor. Para validar o estudo de viabilidade, foi considerado os valores presentes na tabela 8, que são valores praticados pela Air Liquide para fornecimento de oxigênio para um Hospital público do Entorno do Distrito Federal, que foi ganhador de uma licitação em julho de 2023.

Tabela 8 – Custos para aquisição de Oxigênio

Tipo	Valor por m^3
Oxigênio Líquido	R\$ 3,90
Oxigênio Gasoso em Cilindro	R\$ 24,00

Fonte: Autor, 2023.

Considerando os valores apresentados na tabela 8, podemos calcular o custo que se terá utilizando os diferentes meios para abastecimento de oxigênio. Como já apresentado, com o sistema PSA é possível produzir 21.600 m^3 de oxigênio com um custo de R\$ 22.549,23, para o abastecimento por meio de oxigênio líquido o custo seria de R\$ 84.240,00 e por último o custo total seria de R\$ 518.500,00 caso fosse utilizado o abastecimento por meio de cilindros de oxigênio de alta pressão.

Em todos os custos apresentados anteriormente, não foi considerado o investimento inicial para a aquisição do sistema concentrador de oxigênio PSA. Quando rapidamente observado, o custo de aquisição de um sistema concentrador de oxigênio é bastante elevado, sendo assim necessário aplicar um método de avaliação de investimentos. O Payback é um termo utilizado na área de finanças e investimentos para se referir ao período de tempo necessário para recuperar o investimento inicial, é uma métrica de retorno de investimento

que indica quanto tempo levará para que os fluxos de caixa gerados por um investimento igualarem o custo inicial do investimento, o Payback pode ser calculado por meio da fórmula a seguir:

$$payback = \frac{investimentoinicial}{ganhonoperíodo} \quad (4.1)$$

Onde:

- Investimento inicial = R\$ 925.000,00.
- Ganho no período = R\$ 61.690,77.

O investimento inicial é representado pelos custos de aquisição do Sistema Concentrador de Oxigênio PSA. Já o ganho no período é representado pela economia mensal apresentada ao se utilizar o SCO para o abastecimento de oxigênio, comparando os custos operacionais que o concentrador apresenta, com os custos para aquisição da mesma quantidade de oxigênio líquido.

$$payback = \frac{925.000,00}{61.690,77} = 14,99meses \quad (4.2)$$

Um payback de aproximadamente 15 meses significa que o investimento no SCO levará 15 meses para recuperar o investimento inicial feito. Em outras palavras, durante esse período de tempo, a economia gerada pela utilização do SCO será suficiente para cobrir o valor investido.

Dada a dependência desses sistemas de uma fonte contínua de energia para realizar a concentração de oxigênio, alterações nos custos da energia elétrica podem impactar diretamente os gastos operacionais associados aos SCO. O custo com a energia elétrica representa uma parcela significativa do custo operacional desses sistemas, tornando-os sensíveis às oscilações nos preços de eletricidade. Em situações em que há um aumento substancial nos preços da energia elétrica, os custos operacionais dos SCO podem se elevar, afetando a viabilidade financeira a longo prazo desses sistemas. Mas com o avanço tecnológico, a viabilidade financeira dos SCO torna-se ainda mais robusta, possibilitando a atualização desses sistemas para melhorar a eficiência energética.

4.3 Riscos

A tabela 9 apresenta os possíveis riscos identificados ao se utilizar os sistemas concentradores de oxigênio PSA e como eles são gerenciados.

Tabela 9 – Riscos ao utilizar SCO

Risco	Medida de Gerenciamento
Alta Pressão	Válvula de alívio de pressão
Baixa Concentração	O SCO para de produzir e o backup assume
Falta de Energia	O gerador do EAS assume o fornecimento
Falha no Compressor	O SCO para de produzir e o backup assume
Explosão ou Incêndio	Instalação e manutenção conforme recomendação do fabricante
Contaminação do Oxigênio	Manutenção conforme recomendação do fabricante

Fonte: Autor, 2023.

Ao todo foram identificados 6 riscos em potencial que podem ser apresentados com a utilização dos SCO, para cada um dos riscos também foram identificadas as medidas de gerenciamento e são melhores avaliados mais adiante.

O risco de alta pressão em Sistemas Concentradores de Oxigênio pode surgir de diversas fontes, como obstruções internas no sistema, defeito em dispositivos de regulação de pressão, problemas em sensores de pressão ou operação fora das especificações do fabricante. Essa situação apresenta impactos significativos, incluindo o risco de danos materiais ao equipamento, vazamentos de oxigênio que comprometem a segurança. Em caso de ocorrência, as válvulas de alívio de pressão atuam para a liberação do excesso de pressão mantendo o equipamento seguro.

O risco de baixa concentração em Sistemas Concentradores de Oxigênio pode ser causado por diversos motivos, como defeito nos filtros, calibração incorreta do sensor de concentração, falha nos componentes internos entre outros diversos fatores que podem ser apresentados com a falta de manutenção preventiva do equipamento. A baixa concentração compromete o tratamento do paciente, colocando em risco a vida do mesmo. Em caso de ocorrência, o sistema de alarme identifica a baixa concentração, o SCO para de produzir e o backup assume o abastecimento de oxigênio.

A falta de energia em um Sistema Concentrador de Oxigênio pode ocorrer devido a interrupções na rede elétrica. Essa situação impacta significativamente a operação do equipamento, resultando na interrupção imediata do fornecimento de oxigênio. Em situações como essa, o sistema de backup deve assumir automaticamente o abastecimento, em caso de falta de energia, o gerador elétrico do EAS também deve assumir o suprimento de energia elétrica e manter o SCO em funcionamento.

A falha no compressor em um SCO pode ser resultado de desgaste mecânico ao longo do tempo, sobrecarga operacional, contaminação do ar de entrada, problemas de lubrificação ou possíveis defeitos de fabricação. Em caso de ocorrência o SCO irá parar de produzir oxigênio imediatamente e automaticamente o sistema de backup assumirá o fornecimento de oxigênio. As manutenções preventivas adequadas mitigam a ocorrência desse tipo de falha, diminuindo ou quase eliminando o risco.

O risco de explosão e incêndio no SCO pode ser por diversas causas, demandando atenção especial devido à natureza do oxigênio concentrado. O contato do oxigênio com materiais inflamáveis, como óleos ou substâncias combustíveis, pode criar um ambiente propício para incêndios. O impacto desses eventos é extremamente grave, oferecendo risco a estrutura do EAS e a vida dos profissionais e pacientes que ali estão. O risco de explosão e incêndio são mitigados quando se segue corretamente as regras de instalação e manutenção dos SCO.

A contaminação do oxigênio em um concentrador pode acontecer por diversos motivos, com o funcionamento inadequado dos filtros, partículas contaminantes podem adentrar no sistema. A contaminação do sistema afeta a pureza do oxigênio podendo colocar em risco o funcionamento do equipamento e os pacientes submetidos ao tratamento com o oxigênio contaminado. O risco de contaminação do oxigênio é mitigado quando as manutenções preventivas do equipamento são seguidas corretamente.

5 Conclusão

Neste estudo, foi conduzida uma análise abrangente dos meios de produção de oxigênio medicinal, com ênfase na tecnologia de produção por criogenia, considerada o método mais industrializado. Além disso, foram examinados os Sistemas Concentradores de Oxigênio, destacando-se por sua capacidade de produção local, ou seja, diretamente no consumidor final.

A revisão bibliográfica aprofundada proporcionou uma compreensão mais aprimorada dos processos de produção e distribuição de oxigênio medicinal, incluindo uma análise histórica das normativas que regulamentam a produção, especialmente aquelas relacionadas aos SCO. Ao analisar os requisitos estabelecidos pela NBR 13587 para os SCO, identificamos 34 requisitos, dos quais o sistema avaliado atende integralmente a 32 e parcialmente a 2, referentes à exigência de drenos automáticos nos tanques.

É importante observar que os resultados obtidos podem ter sido influenciados pela análise concentrar-se em um modelo específico de SCO. Esse modelo, embora atenda às normativas de forma satisfatória, é reconhecido como um dos mais caros do mercado quando comparado a modelos semelhantes. O que poderia afetar a viabilidade financeira do SCO, mas mesmo assim tivemos um cenário favorável quando avaliado esse quesito.

Para a aquisição de um SCO, é necessário um grande investimento inicial que à primeira vista pode parecer inviável, mas quando avaliado o payback do investimento foi verificado que o retorno ocorre em 15 meses, indicando que a partir do 15º mês todo o dinheiro investido na aquisição do sistema seria recuperado.

Ao considerar a viabilidade financeira, observamos que a análise se baseou nos custos operacionais específicos da região do Distrito Federal. No entanto, é relevante ressaltar que um cenário semelhante pode ser apresentado em outras regiões, uma vez que os custos operacionais podem variar de forma discreta, pois ele se baseia somente no custo com energia elétrica que varia pouco entre as regiões e o contrato de manutenção praticamente não se altera o valor.

Além da conformidade normativa, da viabilidade financeira e da limitação ao modelo específico, a avaliação dos riscos associados aos SCO revelou que o próprio sistema já possui medidas integradas para mitigar esses riscos, confirmando sua segurança no uso dos SCO.

Os Sistemas Concentradores de Oxigênio surgem como uma estratégia altamente vantajosa no contexto do fornecimento de oxigênio medicinal. Esses sistemas, ao permitirem a produção localizada de oxigênio diretamente no consumidor final, apresentando

uma série de benefícios. Primeiramente, ao comparar com métodos tradicionais, como a produção por criogenia, os SCO proporcionam uma alternativa economicamente mais eficiente, evidenciada pela rápida recuperação do investimento, como demonstrado na análise financeira realizada. Além disso, a conformidade desses sistemas com as normativas brasileiras assegura a qualidade e segurança do oxigênio medicinal produzido.

À medida que concluímos esta análise dos SCO, a metodologia empregada revelou-se eficaz para atender aos objetivos propostos inicialmente. A revisão bibliográfica permitiu a compreensão do cenário regulatório e histórico, enquanto a análise dos requisitos normativos destacou a conformidade do SCO com as normas estabelecidas.

Além disso, a análise financeira, baseada nos custos operacionais, proporcionou uma visão clara da viabilidade econômica da implementação dos SCO. A consideração dos riscos associados, juntamente com a identificação das medidas de mitigação incorporadas nos sistemas, contribuiu para uma avaliação abrangente da segurança e confiabilidade dos SCO.

Para pesquisas futuras, sugerimos explorar a aplicação desses sistemas em regiões remotas do Brasil, especialmente em contextos como a da pandemia de Covid-19, onde a produção local de oxigênio pode ser uma solução vital em áreas de difícil acesso. A capacidade de produção local não apenas reduz a dependência de plantas de produção distantes, como também permite uma resposta mais ágil em situações de emergência.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13587: sistema concentrador de oxigênio (SCO) para uso em sistema centralizado de oxigênio medicinal. Rio de Janeiro, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 37 e 48.

Nitrogen and oxygen generators. Disponível em: <<https://www.omega-air.si/products/generator-stations>>. Acesso em: 10 jun. 2023. Citado na página 33.

Anvisa orienta sobre usinas concentradoras de oxigênio. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2021/anvisa-orienta-sobre-usinas-concentradoras-de-oxigenio>>. Acesso em: 20 ago. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 26.

BONG, C.-L. et al. The COVID-19 pandemic: Effects on low- and middle-income countries. *Anesthesia and analgesia*, v. 131, n. 1, p. 86–92, 2020. Citado na página 25.

BRASIL, 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. Brasília, DF, 21 fev. 2002. Citado na página 37.

BRASIL, RDC nº 461, de 22 de janeiro de 2021. Altera a Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 392, de 26 de maio de 2020. Brasília, DF, 22 jan. 2021. Citado na página 38.

BRASIL, RDC nº 482, de 19 de março de 2021. Altera o art. 7º da Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 392. Brasília, DF, 21 fev. 2002. Citado na página 38.

CERQUEIRA, B. et al. OXIGÊNIO NO CONTEXTO DA COVID-19: O QUE SABEMOS SOBRE A MOLÉCULA QUE RESPIRAMOS E O PAPEL CENTRAL DA QUÍMICA. *Química nova*, 2021. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 29.

CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA, CFM nº 1.355, de 11 de setembro de 1992. O CONSELHO FEDERAL DE MEDICINA, no uso das atribuições que lhe confere a Lei nº 3.268, de 30 de setembro de 1957. Brasília, DF, 14 ago. 1992. Citado na página 36.

DALPIAZ, Lucas de Medeiros. Análise do fornecimento dos produtos da destilação criogênica do ar. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 32.

Consumo de oxigênio hospitalar no Amazonas aumentou mais de 11 vezes. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2021-01/consumo-de-oxigenio-hospitalar-no-amazonas-aumentou-mais-de-onze-vezes>>. Acesso em: 14 jul. 2023. Citado na página 38.

BRASILEIRA, F. A. Aeronaves da FAB realizam transporte de insumo e oxigênio para Manaus (AM): Disponível em: <[https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/36847/OPERA%C3%87%C3%83O%20COVID-19%20-%20Aeronaves%20da%20FAB%20realizam%20transporte%20de%20insumo%20e%20oxig%C3%AAnio%20para%20Manaus%20\(AM\)](https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/36847/OPERA%C3%87%C3%83O%20COVID-19%20-%20Aeronaves%20da%20FAB%20realizam%20transporte%20de%20insumo%20e%20oxig%C3%AAnio%20para%20Manaus%20(AM))>. Acesso em: 14 jul. 2023. Citado na página 25.

FILHO, A. dos S. et al. Covid-19 – Uso racional do gás oxigênio (O₂). Subsecretaria de Saúde Gerência de Informações Estratégicas em Saúde CONECTA-SUS, 2021. Citado na página 25.

GLOWACKI, L. A. Avaliação de efetividade de sistemas concentradores de oxigênio: Uma ferramenta em gestão de tecnologia médico-hospitalar. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis 2003. Citado 3 vezes nas páginas 34, 35 e 36.

GONZÁLEZ-MORO, J. M. R. et al. Oxigenoterapia continua domiciliaria. Open Respiratory Archives, v. 2, n. 2, p. 33–45, 2020. Citado na página 23.

KIST, D. Hospital de venancio articula a implantacao de usina de oxigenio. 2023. Disponível em: <<https://folhadomate.com/noticias/saude/hospital-de-venancio-articula-a-implantacao-de-usina-de-oxigenio/>>. Acesso em: 14 set. 2023. Citado na página 25.

LEITE, V. O. Produção local de oxigênio hospitalar. TCC (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006. Citado 3 vezes nas páginas 32, 33 e 35.

MORAES, E. de; MOREIRA, J. R. S.; LEITE, V. O. Desenvolvimento de um protótipo para produção de oxigênio "on site" para unidades hospitalares. Universidade de São Paulo. São Paulo 2005. Citado na página 29.

OPAS, d. S. Recomendações para adoção e aquisição de usinas geradoras de oxigênio mediante adsorção por alternância de pressão. 2022.

PETTY, C. R. Anaesthesia Machine. Londres, England: Churchill Livingstone, 1987.

ROCHA, L. S. dos S. et al. Oxigênio Medicinal e a sua importância durante a pandemia de COVID-19: uma visão preliminar sobre o mercado de oxigênio medicinal do Brasil. Revista Eletrônica TECCEN, v. 14, n. 2, p. 07–16, 2021.

ROSSO, A. L. Estudo de viabilidade para usina de oxigênio medicinal: Estudo de caso em um hospital da região centro-oeste. 2011. Monografia (Pós-graduação em Engenharia Clínica). Universidade de Brasília, Brasília 2011. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 51.

SANTOS, R. A. da L. Sistemas centralizados de gases e vácuo medicinais – uma abordagem para o gerenciamento da tecnologia médico-hospitalar. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002. Citado na página 29.

SHREVE, R. N.; JR, J. A. B. Indústrias de processos químicos. 4 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.

TERRESTRES, A. N. de T. Resolução no 5.232 ANTT. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil, 2016. Citado na página 24.

VILA, P. L. C.; SERRANO, M. A. L.; SÁNCHEZ, A. H. Modelización y simulación de plantas criogenicas de sepracion de aire con hysys. I Encuentro Universitario sobre Simulación de Procesos, Valencia, 2001. Citado na página 29.