

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
FACULDADE DE MEDICINA

RAQUEL AFONSO CASERTA EID

Impacto da implementação de protocolo de redução de hiperoxemia em  
UTIs públicas e privadas

SÃO PAULO  
2025

RAQUEL AFONSO CASERTA EID

**Impacto da implementação de protocolo de redução de  
hiperoxemia em UTIs públicas e privadas**

**Versão original**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina  
da Universidade de São Paulo para obtenção  
do título de Doutor em Ciências

Programa de Ciências da Respiração  
Área de concentração: Pneumologia

Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Carmen Silvia  
Valente Barbas

SÃO PAULO

2025

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Preparada pela Biblioteca da  
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Eid, Raquel Afonso Caserta

Impacto da implementação de protocolo de redução de hiperoxemia em UTIs públicas e privadas / Raquel Afonso Caserta Eid; Carmen Silvia Valente Barbas, orientador. -- São Paulo, 2025.

Tese (Doutorado) -- Programa de Ciências da Respiração.  
Área de Concentração: Pneumologia. Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, 2025.

1.Cuidados intensivos 2.Oxigênio 3.Hiperoxemia  
4.Hipoxemia 5.Melhoria da qualidade em saúde I.Barbas,  
Carmen Silvia Valente, orient. II.Título

USP/FM/DBD-574/25

Responsável: Daniela Amaral Barbosa, CRB-8 7533

Eid, Raquel AC. Impacto da implementação de protocolo de redução de hiperoxemia em UTIs públicas e privadas [doutorado]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina; 2024.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

Prof. Dr. \_\_\_\_\_

Instituição: \_\_\_\_\_

Julgamento: \_\_\_\_\_

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu marido e meus filhos pelo apoio incondicional na minha carreira profissional.

Ao meu pai que sempre foi exemplo como médico e como ser humano no cuidado ao paciente.

Ao Dr Thiago Correa pelo incentivo e oportunidade para que este projeto de vida acontecesse.

À Dra Carmen Silvia Valente Barbas pela sua orientação, direcionamento e inspiração profissional.

À minha equipe de Fisioterapia do Departamento de Pacientes Graves do Hospital Israelita Albert Einstein, por abraçar este projeto junto comigo e pela compreensão nas minhas ausências.

À toda Rede Einstein de Pacientes Graves que contribuíram com os dados e resultados deste trabalho.

## RESUMO

Eid RAC. Impacto da implementação de protocolo de redução de hiperoxemia em UTIs públicas e privadas [tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2025.

**Introdução:** O uso rotineiro de oxigênio suplementar na UTI pode levar à hiperoxemia, associada a efeitos adversos. Reconhecendo a necessidade de uso racional, foi implementado um protocolo de otimização do oxigênio em UTIs públicas e privadas de São Paulo, usando o modelo de melhoria do Institute for Healthcare Improvement (IHI). **Objetivo:** Reduzir a hiperoxemia em pacientes adultos com saturação de oxigênio >95% para um intervalo alvo de 92%–95% de SpO<sub>2</sub> ao longo de um ano, através de um protocolo implementado por ciclos PDSA do IHI. **Métodos:** Estudo prospectivo multicêntrico antes-e-depois em três hospitais (1 terciário privado, 2 públicos) entre out/2018 e set/2019. Foram incluídos 1.594 pacientes e realizadas 10.225 auditorias divididas em fase basal (3.876 auditorias) e período de intervenção/pós (6.348 auditorias). **Resultados:** Houve redução estatisticamente significativa da hiperoxemia: 41,2% → 24,3% ( $p \leq 0,001$ ) e aumento pequeno, porém significativo da hipoxemia: 5,3% → 6,8% ( $p = 0,002$ ). Consumo de oxigênio e custos não houve redução estatisticamente significante. **Conclusão:** Implementação considerada eficaz, segura, oportuna e viável, com potencial aplicabilidade em instituições com recursos limitados.

**Palavras-chave:** Cuidados intensivos, Oxigênio, Hiperoxemia, Hipoxemia, Melhoria da Qualidade em Saúde.

## ABSTRACT

Eid RAC. 2025. Impact of Implementing Hyperoxia Reduction Protocols Across Public and Private ICUs [thesis]. São Paulo: “Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo”; 2025.

**Introduction:** The routine use of supplemental oxygen in ICUs can lead to hyperoxemia, which is associated with adverse effects. Recognizing the need for rational use, an oxygen optimization protocol was implemented in public and private ICUs in São Paulo, using the *Institute for Healthcare Improvement* (IHI) improvement model. **Objective:** To reduce hyperoxemia in adult patients with oxygen saturation >95% to a target range of 92%–95% SpO<sub>2</sub> over one year, through a protocol implemented using IHI’s PDSA cycles. **Methods:** Prospective multicenter before-and-after study conducted in three hospitals (one private tertiary and two public) between Oct 2018 and Sep 2019. A total of 1,594 patients were included, with 10,225 audits performed, divided into a baseline phase (3,876 audits) and an intervention/post-implementation phase (6,348 audits). **Results:** There was a statistically significant reduction in hyperoxemia : 41,2% → 24,3% ( $p \leq 0,001$ ) and a small but significant increase in hypoxemia : 5,3% → 6,8% ( $p = 0,002$ ). Oxygen consumption and costs showed a non-significant reduction. **Conclusion:** The implementation was considered effective, safe, timely, and feasible, with potential applicability in institutions with limited resources.

**Keywords:** Intensive care, Oxygen, Hyperoxemia, Hypoxemia, Quality Improvement in Healthcare.

## SUMÁRIO

<b>SUMÁRIO.....</b>	<b>8</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Definição de Hiperoxemia.....</b>	<b>12</b>
Definição objetiva .....	12
Como identificar? .....	12
<b>1.1.1 Potenciais Danos da Hiperóxia.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Definição de Hipoxemia.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Efeitos fisiológicos da hipoxemia aguda e da hiperoxemia .....</b>	<b>14</b>
<b>1.4 Modelo de Melhoria.....</b>	<b>14</b>
<b>1.4.1 Ciclo PDSA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4.2 Indicadores: .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4.3 Melhoria da Qualidade.....</b>	<b>16</b>
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
<b>3. JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>19</b>
<b>4. MÉTODOS .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Coleta de dados e fonte de dados.....</b>	<b>23</b>
<b>4.2 Medição de linha de base.....</b>	<b>23</b>

<b>4.3 Período de intervenção .....</b>	<b>23</b>
<b>4.4 Projeto Pós.....</b>	<b>24</b>
<b>4.5 Controle Estatístico de Processo .....</b>	<b>24</b>
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>25</b>
<b>Indicadores de melhoria da qualidade.....</b>	<b>26</b>
<b>Conhecimento da equipe multidisciplinar da UTI.....</b>	<b>28</b>
<b>6. DISCUSSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>8. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>38</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O oxigênio é essencial para a sobrevivência de todas as células aeróbicas do corpo humano. Ela desempenha um papel vital no metabolismo celular, especificamente na produção de ATP (adenosina trifosfato) através do processo de fosforilação oxidativa nas mitocôndrias. O ATP é a principal moeda de energia da célula, necessária para várias funções biológicas, incluindo contração muscular, condução nervosa, síntese de proteínas e reparação celular.

Dentre os efeitos benéficos do oxigênio podemos destacar:

- Reversão da Hipoxemia: o oxigênio suplementar é crucial para corrigir a hipoxemia
- Manutenção da oxigenação tecidual: garante que todos os tecidos e órgãos recebam oxigênio suficiente para suas funções metabólicas adequadas
- Suporte à função cardíaca: em emergências, como infarto do miocárdio.

Porém, embora o oxigênio seja essencial, sua administração indiscriminada e em excesso pode levar a efeitos deletérios significativos, tais como:

- Produção excessiva de radicais livres: a hiperóxia pode levar a produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (ROS), que podem causar danos oxidativos às células e tecidos, resultando em estresse oxidativo<sup>(1)</sup>.
- Lesão pulmonar aguda: o uso prolongado de altas concentrações de oxigênio pode causar lesão pulmonar aguda, levando a uma condição conhecida como toxicidade do oxigênio ou lesão pulmonar induzida por oxigênio.
- Atelectasia por absorção: altas concentrações de oxigênio podem levar à atelectasia (colapso alveolar) de absorção, onde o nitrogênio é levado dos alvéolos, reduzindo o volume alveolar e prejudicando a troca gasosa<sup>(2)</sup>.
- Vasoconstrição: a hiperóxia pode causar vasoconstrição especialmente em vasos sanguíneos cerebrais, reduzindo o fluxo sanguíneo e potencialmente levando a isquemia tecidual<sup>(3)</sup>.

- Redução do débito cardíaco: pode ocorrer uma diminuição no débito cardíaco devido à vasoconstrição sistêmica e ao aumento da resistência vascular periférica<sup>(4)</sup>.
- Toxicidade do sistema nervoso central: a exposição prolongada a altas concentrações de oxigênio pode levar a sintomas neurológicos como tonturas, náuseas, convulsões e até coma<sup>(5)</sup>.

## 1.1 Definição de Hiperoxemia

Hiperoxemia é a condição em que há excesso de oxigênio dissolvido no sangue arterial, caracterizada por um aumento anormal da pressão parcial de oxigênio ( $\text{PaO}_2$ ) acima dos valores fisiológicos.

### Definição objetiva

Hiperoxemia:  $\text{PaO}_2 > 100$  mmHg (algumas diretrizes consideram  $> 120$  mmHg como hiperoxemia significativa, especialmente em terapia intensiva).

### Como identificar?

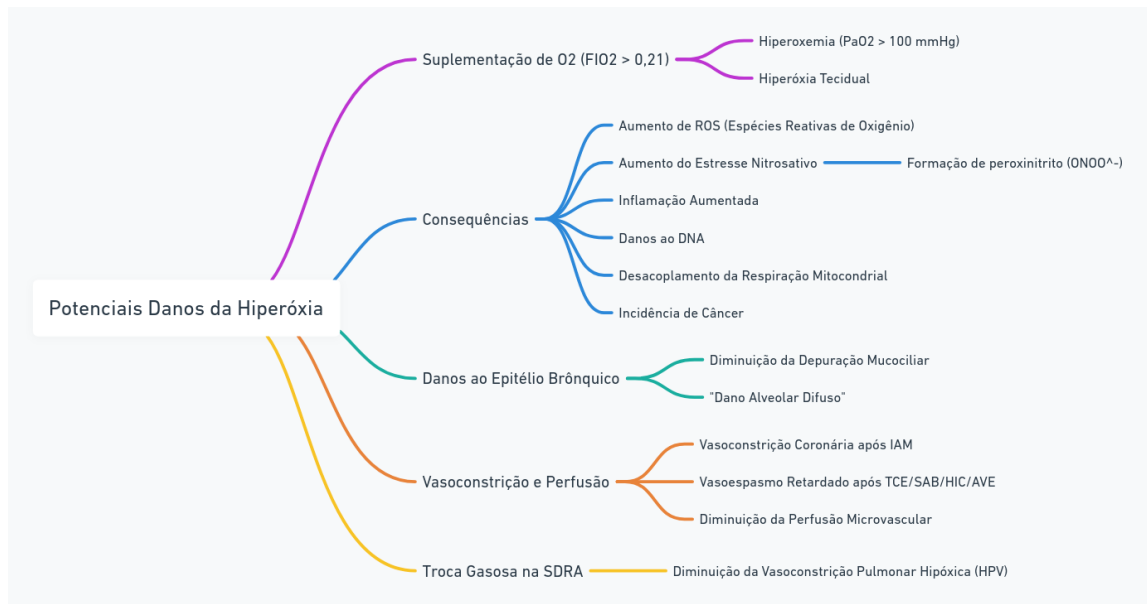
- É diagnosticada por gasometria arterial, não por oximetria.
- A  $\text{SpO}_2$  geralmente estará em 98–100%, mas não indica hiperoxemia de forma confiável.

Os níveis elevados de oxigênio por tempo prolongado podem causar:

- produção excessiva de radicais livres,
- lesão pulmonar induzida por oxigênio,
- vasoconstrição coronariana e cerebral,
- piora de desfechos em pacientes críticos.

### 1.1.1 Potenciais Danos da Hiperóxia

A Figura abaixo destaca os principais danos da hiperóxia aos sistemas:



**Figura 1:** Potenciais danos da Hiperóxia (elaborado pela autora)

## 1.2 Definição de Hipoxemia

Hipoxemia é a redução da quantidade de oxigênio no sangue arterial, definida pela diminuição da pressão parcial de oxigênio ( $PaO_2$ ) abaixo dos valores normais.

### Definição objetiva

Hipoxemia:  $PaO_2 < 80$  mmHg

(com variações conforme diretrizes; valores  $< 60$  mmHg geralmente indicam hipoxemia moderada a grave).

### Como identificar?

Diagnóstico é feito por gasometria arterial.

A  $SpO_2 < 94-95\%$  pode sugerir hipoxemia, mas não substitui a gasometria.

Classificação (aproximada):

- Leve:  $PaO_2$  60–79 mmHg

- Moderada: PaO<sub>2</sub> 40–59 mmHg
- Grave: PaO<sub>2</sub> < 40 mmHg

### 1.3 Efeitos fisiológicos da hipoxemia aguda e da hiperoxemia <sup>(6)</sup>

Sistema	Hipoxemia	Hiperoxemia
Efeitos	Riscos	Efeitos
Sistema respiratório	Aumento da ventilação Vasoconstrição pulmonar	Hipertensão pulmonar
Sistema cardiovascular	Vasodilatação coronariana Redução da resistência vascular sistêmica (transitória) Aumento do débito cardíaco Taquicardia	Isquemia/infarto miocárdio Isquemia/infarto de outros órgãos criticamente perfundidos Hipotensão Arritmias
Sistema metabólico	Aumento de 2,3-DPG Aumento do transporte de CO <sub>2</sub> (efeito Haldane)	Acidose láctica
Sistema neurológico	Aumento do fluxo sanguíneo cerebral devido à vasodilatação	Confusão, Delírio, Coma
Sistema renal	Ativação do eixo renina-angiotensina Aumento da produção de eritropoietina	Necrose tubular aguda

**Figura 2: Efeitos fisiológicos da hipoxemia aguda e hiperoxemia**

Elaborado pela autora.

CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono; 2,3 -DPG: 2,3-Difosfoglicerato

### 1.4 Modelo de Melhoria

O *Institute for Healthcare Improvement* (IHI) é uma organização sem fins lucrativos dedicada à melhoria da saúde e dos cuidados de saúde em todo o mundo. Um dos principais modelos de melhoria desenvolvido pelo IHI é o “Modelo de Melhoria” (*Model for Improvement*). Esse modelo é amplamente utilizado para guiar projetos de melhoria na área da saúde e é conhecido por sua simplicidade e eficácia. Ele se baseia em três perguntas fundamentais e no ciclo PDSA (Plan- Do- Study- Act)<sup>(7)</sup>:

1. O que estamos tentando alcançar?

Definir objetivos claros e mensuráveis. Estes objetivos devem ser específicos, mensuráveis, atingíveis, relevantes e com um prazo definido.

2. *Como saberemos se uma mudança é uma melhoria?*

Estabelecer medidas que irão mostrar se as mudanças estão resultando em melhorias. Essas medidas podem incluir dados de processos, resultados e equilíbrio.

3. *Que mudanças podemos fazer que resultarão em melhorias?*

Identificar e testar mudanças que tem o potencial de melhorar os processos. Essas mudanças devem ser baseadas em evidências e adaptadas ao contexto específico da organização.

#### **1.4.1 Ciclo PDSA**

O ciclo PDSA é um método iterativo para testar e implementar mudanças em processos<sup>(8)</sup>. Ele consiste em quatro etapas:

1. *Plan (Planejar)*: desenvolver um plano para testar a mudança. Isso inclui definir o objetivo do teste, as perguntas que precisam ser respondidas, as previsões e o plano detalhado para execução (quem, o que, quando, onde).
2. *Do (Executar)*: Implementar a mudança em pequena escala de acordo com o plano. Durante esta fase, é importante coletar dados para analisar posteriormente.
3. *Study (Estudar)*: Analisar os dados coletados durante a fase de execução. Compara os resultados com as previsões feitas e resumir o que foi aprendido.
4. *Act (Agir)*: baseado na análise dos dados, decidir se a mudança será adotada, adaptada ou abandonada. Se a mudança for bem-sucedida, ela pode ser implementada em maior escala.

#### **1.4.2 Indicadores:**

Em um diagrama de direção, os indicadores são fundamentais para medir o desempenho e o progresso de uma organização ou projeto. Eles são divididos em três categorias principais: indicadores de resultado, de processo e de equilíbrio.

Os indicadores de resultado (ou resultados) medem o impacto final das atividades realizadas. Eles geralmente estão associados a objetivos de longo prazo e refletem os resultados que a organização deseja atingir.

Os indicadores de processo medem as atividades realizadas para atingir os resultados desejados. Eles ajudam a monitorar e avaliar o desempenho das operações diárias e a identificar áreas que precisam de melhorias.

Os indicadores de equilíbrio garantem que a busca por resultados e processos eficientes não causem impactos negativos em outras áreas. Eles ajudam a garantir que o sistema como um todo permaneça estável e saudável.

Esses indicadores, quando bem definidos e monitorados, ajudam a orientar as ações da organização e garantem que todas as atividades estejam alinhadas aos objetivos estratégicos, mantendo um equilíbrio saudável entre desempenho e sustentabilidade.

### **1.4.3 Melhoria da Qualidade**

Os cuidados intensivos consomem de 15 a 20% dos orçamentos hospitalares. A preocupação com a qualidade e segurança na saúde aumentou devido aos altos custos, desperdícios e eventos adversos, resultando em maior morbidade e mortalidade.

Florence Nightingale e Earnest Codman foram pioneiros nas análises de dados sobre resultados do cuidado, provendo melhoria contínua. A indústria, no século 20, começou com iniciativas de melhoria contínua em seus processos reconhecendo a variabilidade da qualidade, implementando ferramentas como o ciclo PDSA. Na saúde a variação do cuidado passou a ser preocupante e a necessidade de iniciativas de implementação de modelos de melhoria. A partir de então o *Institute of Medicine* (IOM) incorporou a “segurança do paciente” como um dos seis atributos da qualidade, com a efetividade, a centralidade no paciente, a oportunidade do cuidado, a eficiência e a equidade. O sistema de saúde de alta qualidade e confiabilidade tem como foco processos de custo-efetividade,

Há uma crescente evidencia de que intervenções excessivas e onerosa não são benéficas para os pacientes e para o sistema de saúde, e até ser prejudiciais, diferente da década de 50 onde cuidados intensivos focavam em intervenções cada vez mais invasivos. A campanha internacional “*Choosing Wisely*” defende a prática e intervenções desnecessárias ou potencialmente prejudiciais, e o uso excessivo de oxigênio é uma delas, exemplo efetivo de um projeto de melhoria da qualidade, usando uma abordagem baseada em evidências<sup>(9)</sup>.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

O oxigênio suplementar é comumente administrado a pacientes da unidade de terapia intensiva (UTI) com hipoxemia. Tradicionalmente a hipoxemia é evitada para minimizar os riscos de hipoxia celular e disfunção orgânica. Embora a suplementação de oxigênio seja crucial para reverter a hipoxemia, tem sido demonstrado que a administração indiscriminada de oxigênio tem efeitos deletérios graves, como aumento da produção e liberação de citocinas, atelectasia de absorção, lesão pulmonar aguda, toxicidade do sistema nervoso central, redução do débito cardíaco<sup>(1)</sup> e vasoconstrição cerebral e coronária<sup>(3)</sup>. Conseqüentemente, a toxicidade do O<sub>2</sub> é motivo de preocupação e encontrar o balanço da dosagem ideal de oxigênio deveria, portanto, ser essencial para otimizar desfechos clínicos dos pacientes.

No entanto, não há ainda um consenso claro sobre o alvo ideal de SpO<sub>2</sub>. Estudos clínicos até o momento não foram capazes de determinar se administrar menos ou mais oxigênio é benéfico. No entanto vários estudos não têm demonstrado diferença nos desfechos entre uso conservador e liberal de oxigenioterapia em pacientes críticos<sup>(36,42)</sup>. Por outros achados em pacientes admitidos na UTI com COVID-19 e hipoxemia grave, terapia conservadora de oxigênio resultou em mais dias de sobrevivência sem suporte na UTI<sup>(41)</sup>.

Uma análise secundária de dois grandes ensaios randomizados — *PILOT* (EUA, 2018–2021) e *ICU-ROX* (Austrália e Nova Zelândia, 2015–2018), utilizando um modelo de aprendizado de máquina (Rboost) demonstrou que características individuais dos pacientes modificam o efeito de uma meta mais baixa versus mais alta de oxigenação (SpO<sub>2</sub>) na mortalidade em 28 dias. Pacientes que se beneficiaram de metas mais baixas (SpO<sub>2</sub> 88–92%), tendiam a ter lesão cerebral aguda e idade mais avançada. Pacientes que se beneficiaram de metas mais altas (SpO<sub>2</sub> 96–100%) tinham sepse e sinais vitais elevados (pressão, frequência cardíaca, temperatura). O modelo mostrou que, se cada paciente tivesse recebido o alvo de oxigenação “ideal” previsto, a mortalidade global teria sido 6,4% menor. A resposta ao nível de oxigenação não é uniforme, varia conforme o perfil clínico e fisiológico do paciente. O uso de modelos preditivos individualizados (machine learning) pode ajudar a definir metas de oxigênio personalizadas e potencialmente reduzir a mortalidade em pacientes críticos sob ventilação mecânica<sup>(43)</sup>.

A revisão sistemática e meta-análise da IOTA relatou que a mediana da SpO<sub>2</sub> basal no braço liberal de oxigênio foi de 96,4%, o que apresentou um aumento na mortalidade, sugerindo que esse limite abrange a faixa de SpO<sub>2</sub> de 94% a 96% <sup>(10)</sup>. Em um ensaio clínico randomizado em UTI, considerou-se oxigenoterapia para manter PaO<sub>2</sub> entre 70 e 100mmHg ou SpO<sub>2</sub> entre 94% e 98%<sup>(11)</sup>. Em um ensaio multicêntrico, randomizado, incluiu pacientes com SDRA, a oxigenoterapia conservadora medida por oximetria de pulso foi entre 88 à 92% e a meta de oxigenoterapia liberal  $\geq$  SpO<sub>2</sub> 96% <sup>(12)</sup>. A Rede de Ensaio Clínicos ARDS do National Heart, Lung, and Blood Institute recomenda uma pressão parcial alvo de oxigênio arterial entre 55 e 80 mmHg, enquanto a British Thoracic Society sugere uma SpO<sub>2</sub> alvo de 94-98% em pacientes com doenças agudas<sup>(6)</sup>.

A Stepped-Wedge Cluster Randomized Clinical Trial <sup>(44)</sup> publicado no JAMA Network Open avaliou a segurança e eficácia de se estabelecer uma meta de normóxia (saturação de oxigênio periférica, SpO<sub>2</sub>, entre 90 % e 96 %) em pacientes adultos gravemente feridos admitidos em unidades de terapia intensiva (UTI), comparando com os cuidados habituais. Não aumentou o número de dias livres de oxigênio suplementar de forma estatisticamente significativa, reduziu com segurança o uso de oxigênio suplementar e a taxa de hiperóxia, sem aumento de hipoxemia ou mortalidade, apontou para a viabilidade de políticas de uso mais racional de oxigênio em ambientes intensivos.

Em outro estudo randomizado , UK-ROX, sobre o uso de oxigenioterapia em pacientes adultos sob ventilação mecânica <sup>(45)</sup> avaliou se uma estratégia de oxigenoterapia conservadora — visando manter a saturação periférica de oxigênio (SpO<sub>2</sub>) em 90% (faixa de 88–92%) — reduziria a mortalidade em 90 dias em comparação ao tratamento usual em pacientes adultos sob ventilação mecânica na UTI, não mostrou diferença estatística, porém a exposição ao oxigênio foi 29% menor no grupo conservador e os efeitos adversos foram ligeiramente mais frequentes no grupo conservador (0,7% vs. 0,4%).

Estratégias conservadoras (evitar FiO<sub>2</sub> alta, titulação cuidadosa do oxigênio) são razoáveis dado o risco potencial, especialmente quando o paciente não apresenta hipoxemia franca. Como os estudos randomizados ainda não mostram efeitos

dramáticos de modificação de oxigênio em todos os cenários, deve-se individualizar e monitorar aspirações de oxigenação com base em contexto clínico <sup>(40)</sup>.

Neste contexto uma revisão sistemática publicada por Mol CG <sup>(25)</sup>, demonstrou que um sistema de controle de oxigênio por alça fechada (closed-loop), tem um potencial redução do tempo com hipoxemia, aumentando a porcentagem de tempo na SpO<sub>2</sub> alvo e a redução da carga de trabalho do profissional de saúde. Na mesma linha de estudo L Her Erwan and col <sup>(47)</sup> concluiu em seu trabalho que a administração de O<sub>2</sub> automático no departamento de emergência melhora parâmetros de oxigenação e a aderência de protocolos com potencial benefícios clínicos.

Chloe CA Grim <sup>(26)</sup>, concluiu em seu estudo que a implementação de um protocolo de uso de oxigênio conservador foi um método efetivo que mudou de atitude e a prática clínica, melhorando a adesão do alvo de oxigenação, corroborando com este resultado Helmerhorst HJE <sup>(46)</sup>, demonstra viabilidade e efetividade na aplicação de um guia de uso de oxigênio conservador.

### **3. JUSTIFICATIVA**

A oxigenoterapia conservadora visa a prevenção da hiperóxia iatrogênica, preservando o oxigênio tecidual adequado. Esta estratégia pragmática é adotada, mas culturalmente difícil de implementar, que depende de procedimentos coordenados por uma equipe de profissionais de saúde treinados para facilitar esta estratégia. O modelo de melhoria do *Institute for Healthcare Improvement* (IHI) é prático, barato e adequado para acelerar melhorias nas instituições de saúde. Os resultados obtidos com o uso do modelo IHI para implementar uma meta gerenciada de oxigênio em hospitais privados e públicos tem sido uma ferramenta viável e segura. Nossa missão de disseminar conhecimento e transferir nossa experiência pode ser de interesse para outros hospitais.

#### 4. MÉTODOS

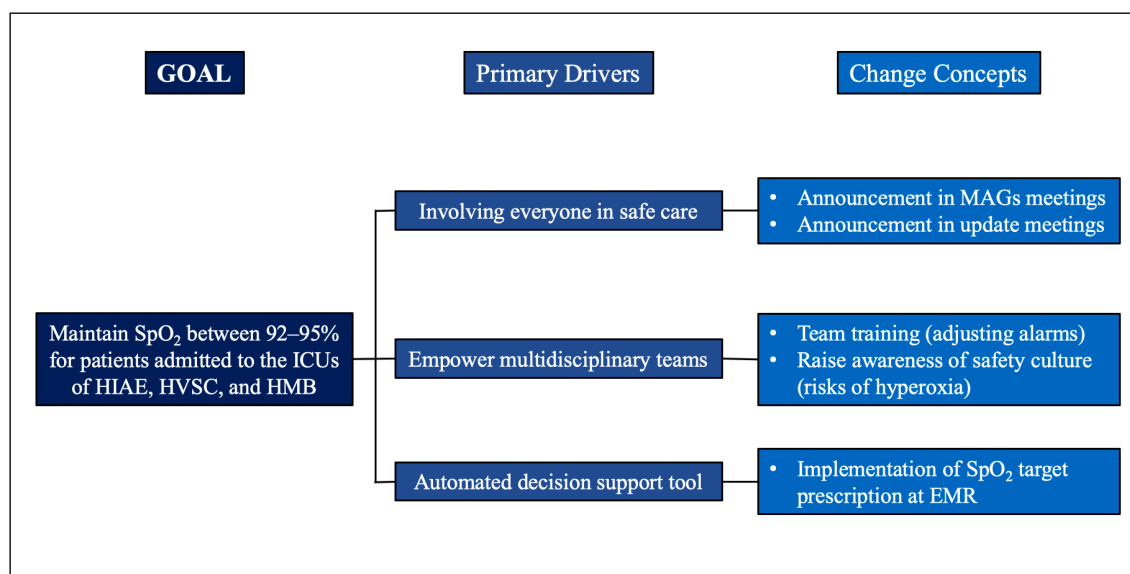
Nós realizamos este projeto de modelo de melhorias do IHI, multicêntrico, de um hospital terciário privado e dois hospitais públicos de São Paulo, Brasil, em três fases.

O estudo utilizou o método de ciclos PDSA (*Plan-Do-Study-Act*) onde desenvolve-se um plano para testar a mudança, realizar o teste, observar, analisar e aprender com o teste, e determinar quais modificações, se houver, para o próximo ciclo. Caracterizado pela identificação do problema assistencial clínico diário, é uma ferramenta útil para documentar um teste de mudança. Iniciamos o estudo relacionado à hiperóxia nas três UTIs, na primeira fase coletamos uma linha de base com dados de diagnóstico do uso excessivo de oxigênio, na segunda fase iniciamos os ciclos de PDSA e implementamos o protocolo baseado em meta terapêutica de administração de oxigênio, na terceira e última fase, acompanhamos e analisamos a sustentabilidade do projeto.

A equipe de trabalho que participou de todo o processo foi composta por fisioterapeutas, enfermeiros e médicos.

No projeto utilizamos a ferramenta do Diagrama Direcionador, que estrutura os principais norteadores das atividades proposta no estudo, como meta e objetivo, os direcionadores primários e os conceitos de mudança (figura 1).

## DIAGRAMA DIRECIONADOR



**Figure 1.** Driver diagram - hyperoxia prevention protocol

*Definition of abbreviations:* EMR = electronic medical records, HIAE = Hospital Israelita Albert Einstein, HMB = Hospital M'Boi Mirim, HVMSC = Hospital Municipal da Vila Santa Catarina, ICU = intensive care unit, MAG = medical assistance group, O<sub>2</sub> = oxygen, SpO<sub>2</sub> = saturation of peripheral oxygen.

### Indicadores

Em um diagrama de condução, os indicadores são fundamentais para medir o desempenho e o progresso de uma organização ou projeto. Eles são divididos em três categorias principais: indicadores de resultado, processo e equilíbrio.

Os indicadores de resultados medem o impacto final das atividades realizadas. Eles geralmente estão associados a objetivos de longo prazo e refletem os resultados finais que a organização deseja alcançar.

Os indicadores de processo medem as atividades realizadas para atingir os resultados desejados. Eles ajudam a monitorar e avaliar o desempenho das operações diárias e a identificar áreas que precisam de melhorias.

Os indicadores de equilíbrio garantem que a busca por resultados e processos eficientes não cause impactos negativos em outras áreas. Eles ajudam a garantir que o sistema como um todo permaneça estável e saudável.

Esses indicadores, quando bem definidos e monitorados, ajudam a orientar as ações da organização e garantem que todas as atividades estejam alinhadas aos

objetivos estratégicos, mantendo um equilíbrio saudável entre desempenho e sustentabilidade.

- **Indicador de Resultado = taxa de hiperoxemia.**

Este indicador foi calculado pelo número de pacientes com SpO<sub>2</sub> >95% / número de pacientes em oxigenoterapia.

- **Indicador de Processo = taxa de utilização de oxigenoterapia e porcentagem de adesão ao protocolo.**

Este indicador foi calculado pelo número de placas-alvo de SpO<sub>2</sub> no leito e os alarmes do monitor conectado / número de pacientes em oxigenoterapia.

- **Indicador de Equilíbrio = taxa de hipoxemia.**

Este indicador foi calculado pelo número de pacientes com SpO<sub>2</sub> <92% / número de pacientes em oxigenoterapia.

Além dos ciclos PDSA, depois de testar muitas ideias, conseguimos implementar a mudança.

Alguns exemplos das principais ideias de mudança implementadas através da Planilha PDSA foram a criação de uma placa na cama com a meta de SpO<sub>2</sub> entre 92% e 95%, testada em pequena escala até que a ideia fosse aprovada. Outro PDSA implementado foi a inserção de uma ferramenta de tomada de decisão com a prescrição médica no prontuário eletrônico, selecionando a opção de saturação de meta individualizada, meta de SpO<sub>2</sub> entre 92%-95% e entre 89%-92% para pacientes que tinham contraindicação para uma meta de SpO<sub>2</sub> maior devido a doenças que poderiam ser agravadas com o uso de oxigênio suplementar, como Doença Obstrutiva Crônica (DPOC) e doenças neuromusculares. Uma terceira ideia de mudança foi ajustar os níveis de alarme paramétricos dos monitores com níveis máximos e mínimos de SpO<sub>2</sub>. Durante a fase de implementação, também realizamos reuniões e encontros, proporcionando um ambiente para brainstorming com a equipe da UTI e engajamento da equipe, conscientizando a equipe clínica e fazendo campanhas nas UTIs com faixas e mensagens sobre a importância e o risco do uso excessivo de oxigênio.

#### **4.1 Coleta de dados e fonte de dados**

Os dados foram extraídos de um banco de dados eletrônico (RedCap). Foram incluídos na análise os dados referentes aos pacientes internados na UTI, com idade igual ou superior a 18 anos e em uso de oxigenoterapia suplementar. Foram excluídos da análise pacientes exclusivos em cuidados paliativos, pacientes em oxigenoterapia domiciliar de longa permanência e aqueles que não possuíam todas as variáveis do estudo disponíveis no banco de dados eletrônico.

Este estudo de melhoria da qualidade consistiu em 3 momentos distintos (medição inicial, período de intervenção e pós-projeto). Nestes 3 momentos foram realizadas auditorias diárias três vezes ao dia (manhã, tarde e noite) avaliando a saturação de oxigênio de pulso ( $SpO_2$ ), tipo de fisioterapia respiratória, quantidade de oxigênio ( $O_2$ ) administrada, uso de vasopressores e resultados positivos. pressão expiratória (PEEP) no caso de pacientes sob ventilação mecânica (VM). Esses dados foram coletados entre outubro de 2018 e setembro de 2019.

#### **4.2 Medição de linha de base**

As auditorias diárias da UTI foram realizadas entre outubro e dezembro de 2018 nos três períodos diários (manhã, tarde e noite) pela equipe de fisioterapia da UTI de todos os pacientes em uso de oxigenoterapia, avaliando valor de  $SpO_2$ , tipo de fisioterapia respiratória, quantidade de oxigênio administrada, uso de vasopressores e PEEP em caso de pacientes em VM.

Neste período de estudo foi realizado um levantamento com a equipe multiprofissional da UTI por meio do *Survey Monkey*, para identificar o nível de conhecimento da equipe sobre o uso excessivo de oxigênio.

#### **4.3 Período de intervenção**

A intervenção para reduzir a hiperóxia ocorreu entre janeiro e fevereiro de 2019. A intervenção de melhoria da qualidade foi baseada em um fluxograma à beira do leito indicando a meta de  $SpO_2$  dos pacientes entre 92% -95% e entre 89% -92% para pacientes que tinham contraindicação para uma  $SpO_2$  mais alta. alvo devido a doenças que podem agravar-se com o uso de oxigênio suplementar, como doença obstrutiva crônica (DPOC) e doenças neuromusculares. Neste período de estudo

foram realizados ciclos PDSA. As equipes de trabalho foram organizadas entre líderes de equipe de cada hospital e funcionários de linha. Foram agendados participantes de equipes de trabalho para desenvolver diagramas direcionadores e planejar os ciclos PDSA. Cada líder e seus funcionários dos hospitais eram responsáveis por ações de melhoria para sua área específica. Os resultados do PDSA foram discutidos pelos membros pertinentes da equipe de trabalho que identificaram intervenções bem-sucedidas.

#### **4.4 Projeto Pós**

Foram realizadas auditorias diárias nas UTIs incluídas durante os três turnos diurnos (manhã, tarde e noite) entre março e setembro de 2019 pela equipe da UTI de fisioterapia em todos os pacientes em uso de oxigenoterapia. Durante as auditorias foram coletados os seguintes dados: nível de SpO<sub>2</sub>, tipo de fisioterapia respiratória recebida; a quantidade de oxigênio fornecida, o uso de vasopressores e o nível de PEEP caso o paciente estivesse sob ventilação mecânica.

No mesmo período foi realizada pesquisa com a equipe multiprofissional da UTI por meio do *Survey Monkey*, para identificar o nível de conhecimento da equipe sobre o uso excessivo de oxigênio e comparar esses resultados com as mesmas informações da medição basal.

#### **4.5 Controle Estatístico de Processo**

A análise estatística foi realizada no software SPSS, versão 13.0. Inicialmente foi realizada uma análise descritiva. As variáveis qualitativas foram expressas em frequência relativa e absoluta (porcentagem). As variáveis quantitativas foram expressas como média e desvio padrão ou mediana e intervalo interquartil dependendo da distribuição dos dados. O teste de Kolmogorov-Smirnov foi realizado para avaliar a distribuição normal das variáveis quantitativas.

O teste qui-quadrado foi realizado para comparar a taxa de hiperoxemia, taxa de hipoxemia, taxa de utilização de oxigenoterapia, taxa de conformidade do protocolo entre o pré e pós implementação do estudo de melhoria da qualidade.

Para avaliar se houve alteração na taxa de hiperoxemia, taxa de hipoxemia, taxa de uso de oxigenoterapia e taxa de conformidade do protocolo durante o período

do estudo, foram realizados gráficos de controle utilizados em projetos de melhoria de qualidade.

Nesta análise foi considerado que, em uma mesma fase do estudo, foram feitas auditorias diárias em um mesmo paciente.

Para cada paciente foi calculada a proporção de hiperoxemia observada nas auditorias. No grupo 1(baseline), a mediana da proporção de hiperoxemia foi de 0,33 (1º quartil =0,00 e 3º quartil = 0,67); no grupo 2 a mediana foi de 0,15 (1º quartil =0,00 e 3º quartil = 0,50) (Obs: verificar se isto faz sentido)

Para verificar a associação entre a fase do estudo e a ocorrência de hiperoxemia, controlando por SAPS 3, duração da ventilação mecânica e duração da internação hospitalar foi ajustado um modelo de regressão logística misto (mixed logistic regression model - Fitzmaurise, Laird and Ware, 2011)<sup>(49)</sup>, sendo adicionado um termo aleatório no intercepto. No ajuste do modelo foi utilizada a função glmer do pacote lme4 do programa R (versão 4.2.1).

As variáveis explicativas SAPS 3, duração da ventilação mecânica e duração da internação hospitalar foram padronizadas (centradas em suas médias e divididas por 2 vezes seus desvios-padrões – Gelman (2008)<sup>(48)</sup> para evitar problemas de convergência dos algoritmos de otimização.

## **5. RESULTADOS**

Um total de 1.594 pacientes foi acompanhado durante o período do estudo, com um total de 10224 auditorias realizadas (Tabela 1).

No período de medição de linha de base, foram realizadas 3876 auditorias e, no período pós-implementação, 6.348 auditorias.

**Table 1 – Clinical characteristics and outcomes of included patients.**

Variable	Overall (n = 1,594)	Baseline (n = 602)	Post implementation (n = 992)	p value
Age – years	69 [55-80]	69 [56-80]	69 [55-80]	0.718
Male gender	861 (54.0)	327 (54.3)	534 (53.8)	0.850
Severity of Illness				
SAPS III <sup>a</sup>	49 [39-59]	48 [38-58]	50 [40-60]	0.015
SOFA <sup>b</sup>	4 [2-7]	4 [1-7]	5 [2-8]	<0.001
Admission diagnosis				
Medical	1,017 (63.8)	389 (64.6)	628 (63.3)	0.597
Surgical	577 (36.2)	213 (35.4)	364 (36.7)	
CCI <sup>c</sup>	2 [1-3]	2 [0-3]	2 [1-3]	0.121
Use of MV	636 (39.9)	227 (37.7)	409 (41.2)	0.164
Duration of ventilation, days	3 [1-8]	2 [1-9]	4 [1-8]	0.073
ICU length of stay, days	3 [2-8]	3 [2-7]	4 [2-8]	0.003
Hospital length of stay, days	15 [8-28]	13 [7-25]	16 [8-31]	<0.001
ICU mortality	204 (12.8)	75 (12.5)	129 (13.0)	0.752
Hospital mortality	380 (23.8)	122 (20.3)	258 (26.0)	0.009

\*Data are represented as median and interquartile range [quartile 25% – quartile 75%] or n (%). Percentages may not total 100 because of rounding.

*Definition of abbreviations:* CCI = Charlson Comorbidity Index; ICU = intensive care unit; MV = mechanical ventilation; SAPS: simplified acute physiology score; SOFA = sequential organ failure assessment.

<sup>a</sup>The SAPS III score ranges from 0 to 217, with higher scores indicating more severe illness and higher risk of death.

<sup>b</sup>SOFA score ranges from 0 to 4 for each organ system, with higher aggregate scores indicating more severe organ dysfunction.

<sup>c</sup>Charlson comorbidity index ranges from 0 to 5 for each comorbidity, with a score of zero indicating that no comorbidities were found. The higher the score, the more likely the predicted outcome will result in mortality or higher resource use.

## Indicadores de melhoria da qualidade

Foi observada uma redução significativa na hiperoxemia (38,4% vs. 29,4%, respectivamente;  $p < 0,001$ ), acompanhada por um pequeno aumento na taxa de hipoxemia (5,3% vs. 6,5%, respectivamente;  $p = 0,003$ ) (Tabela 2). O uso da oxigenoterapia mudou ao longo do período do estudo, demonstrando uma

redução progressiva na taxa de hiperoxemia ao longo do tempo (Figura 2-A), com uma mediana de 30,8%.

A taxa de hipoxemia permaneceu estável durante o período do estudo (Figura 2-B). Em relação à adesão ao protocolo, foi observado um aumento consistente e uma conformidade sustentável durante todo o estudo (Figura 3). Embora tenha havido uma leve redução no custo e no consumo de oxigênio por paciente-dia de UTI, a diferença não foi estatisticamente significativa (Tabela 2).

### Resultados obtidos

Em um primeiro ajuste foi obtido que a variável SAPS 3 não tem contribuição significativa para explicar a chance de hiperóxia na presença das demais variáveis no modelo ( $p=0,203$ ). A análise foi então refeita sem a inclusão do SAPS 3 entre as variáveis explicativas. A Tabela abaixo apresenta as estimativas dos coeficientes na parte fixa do modelo.

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z )
(Intercept)	-0.48551	0.07253	-6.694	2.17e-11
fase2	-0.79025	0.09099	-8.686	< 2e-16
HospitalLengthStays	0.12176	0.04791	2.541	0.011041
MechVentDurations	0.21858	0.06052	3.612	0.000304

Estimativas dos coeficientes, erros-padrões, estatísticas dos testes de significância e valores-p na parte fixa do modelo

Os resultados implicam que:

- A chance de hiperoxemia na fase 2 é menor que na fase 1 (razão de chances = 0,45; Intervalo de confiança de 95%: [0,38 ; 0,54]), mantidas constantes as demais variáveis no modelo;
- A chance de hiperoxemia aumenta com a duração da ventilação hospitalar (razão de chances=1,13; Intervalo de confiança = [1,03;1,24]), mantidas constantes as demais variáveis no modelo (\*);

- A chance de hiperoxemia aumenta com a duração da ventilação mecânica (razão de chances=1,13; Intervalo de confiança = [1,11;1,40]), mantidas constantes as demais variáveis no modelo(\*).

(\*): Como as variáveis foram padronizadas conforme descrito acima, as razões de chances significam por quanto a chance de hiperoxemia fica multiplicada, quando a variável original (sem padronização) aumenta em 2 vezes o seu desvio padrão.

### **Conhecimento da equipe multidisciplinar da UTI**

Durante o período de linha de base, 68 profissionais de saúde de UTI dos três hospitais participantes responderam ao questionário, e 62 profissionais o preencheram após a implementação do protocolo.

A maioria dos respondentes era composta por fisioterapeutas, seguidos por médicos e enfermeiros.

Após a implementação do protocolo de normóxia, o conhecimento sobre oxigenoterapia melhorou consideravelmente.

A proporção de participantes que identificaram corretamente a hiperoxemia aumentou de 39% para 79%, e o reconhecimento da hipoxemia subiu de 67% para 98% (Tabela 3).

**Table 2 – Indicators before and after the normoxia protocol implementation, based on the number of auditories.**

Variables	Baseline measurement (n = 3,876)	Post project (n = 6,348)	p value
<b>Outcome indicator</b>			
Hyperoxemia rate	1,596 (41.2)	1,542 (24.3)	<0.001
<b>Process indicators</b>			
Total oxygen consumption, m <sup>3</sup>	48,736 ± 3,239	49,066 ± 3,694	0.818
Oxygen consumption/ICU patient-day	29 ± 1.75	27 ± 2.13	0.639
Total oxygen cost, BRL	45,802 ± 3,026	46,127 ± 3,462	0.810
Oxygen cost/ICU patient-day, BRL	27 ± 1.64	25 ± 1.64	0.629
<b>Balancing indicator</b>			
Hypoxemia rate	204 (5.3)	431 (6.8)	0.002

\*Data are expressed as n (%) or mean ± standard deviation . Percentages may not total 100 because of rounding. Significant p value < 0.05.

**Table 3** – Survey responses on ICU team knowledge of clinical situations considered as hyperoxemia and hypoxemia

Variables	Baseline measurement (n = 68)	Post project (n = 62)
<b>Hospitals</b>		
HIAE	36 (53.0%)	49 (79%)
HMVSC	15 (22.0%)	13 (21%)
HMMD	17 (25.4%)	0 (0)
<b>Professional category</b>		
Physicians	20 (29.4%)	21 (33.9%)
Nurses	14 (20.5%)	1 (1.6%)
Physiotherapists	34 (50%)	40 (64.5%)
<b>Hyperoxemia</b>		
SpO <sub>2</sub> = 100%	20 (29.4)	9 (14.5)
SpO <sub>2</sub> > 95%	27 (39.7)	49 (79.0)
SpO <sub>2</sub> > 92%	8 (11.7)	4 (6.5)
None of the above	13 (19.1)	–
<b>Hypoxemia</b>		
SpO <sub>2</sub> < 100%	0 (0.0)	0 (0)
SpO <sub>2</sub> < 95%	1 (1.6)	1 (1.6)
SpO <sub>2</sub> < 92%	46 (67.6)	61 (98.4)
None of the above	21 (30.8)	–

\*Data are n (%). Percentages may not total 100 because of rounding.

Definition of abbreviations: SpO<sub>2</sub> = pulse oxygen saturation.

Figura 2-A

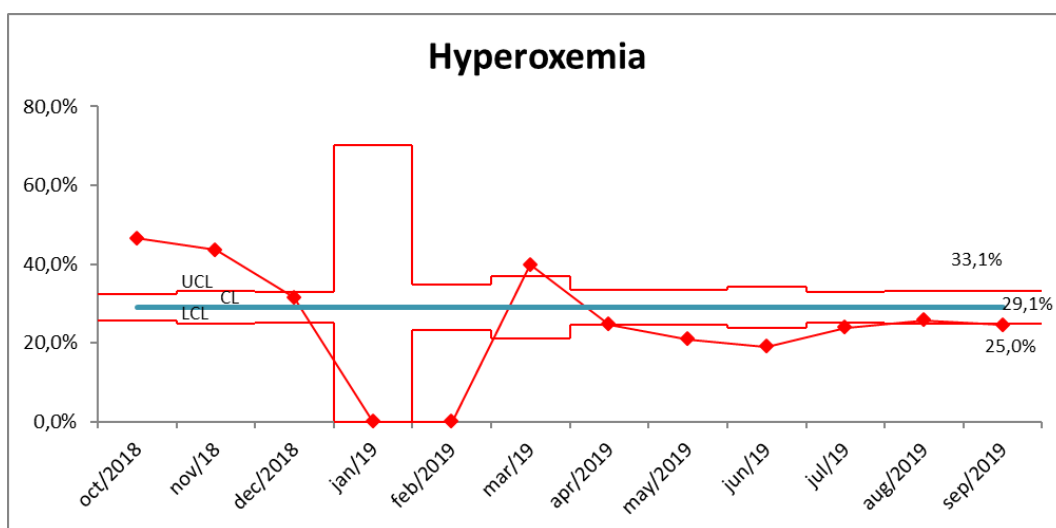
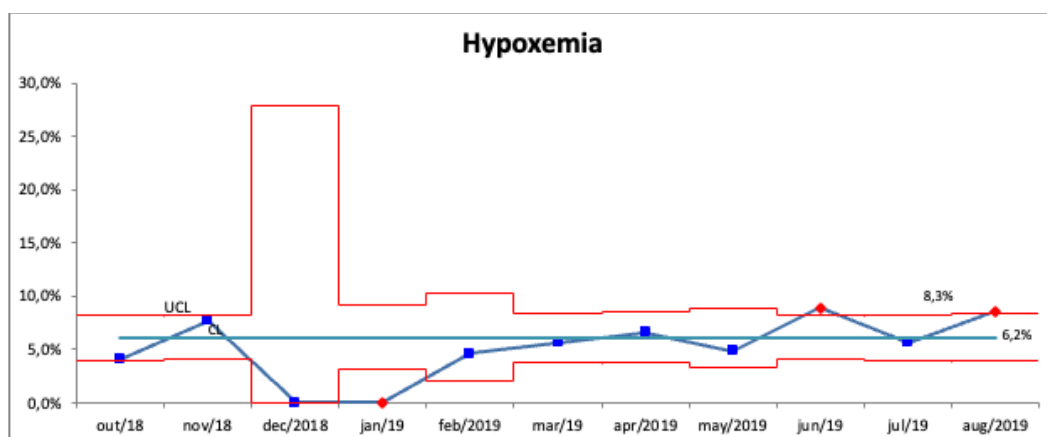


Figura 2-B



**Figura 2.** Gráfico de controle (Shewhart) mostrando as taxas mensais de hiperoxemia (A) e hipoxemia (B).

**Definição das abreviações:** CL = linha central; LCL = limite inferior de controle; UCL = limite superior de controle.

*A linha azul indica a taxa média de hiperoxemia*

## 6. DISCUSSÃO

Este estudo multicêntrico de melhoria da qualidade avaliou a implementação de um protocolo de normóxia em UTIs públicas e privadas e demonstrou que uma intervenção estruturada e multidisciplinar pode ser eficaz na redução da incidência de

hiperoxemia e na melhora da adesão às práticas de manejo do oxigênio. No entanto, não foi observada redução estatisticamente significativa nos custos e no consumo de oxigênio, nem nas taxas de hipoxemia.

Os resultados deste estudo mostram que a utilização do modelo IHI para implementar um protocolo direcionado de suplementação de oxigênio foi viável e atingiu o objetivo de manter níveis de oxigenação adequados, a fim de minimizar a taxa de hiperoxemia após sete meses de sua implementação, sugerindo que o processo de implementação tem aprendido. fases, nas quais as ações são progressivamente aceitas e incorporadas na prática clínica. Há necessidade de mudança de comportamento e cultura institucional para que um projeto de melhoria da qualidade esteja bem estabelecido e obtenha melhorias nos indicadores dos processos e conseqüentemente um melhor resultado. Dessa forma, manter auditorias diárias e educação continuada é fundamental.

A hiperóxia e o alto uso de oxigênio inspirado fracionado são prevalentes em pacientes com SDRA precoce segundo a coorte LUNG SAFE <sup>(13)</sup>, em torno de 30%, semelhante aos nossos achados que foram de 38,4% na pré-intervenção.

Acreditamos que intervenções como auditorias com feedback no momento da avaliação contribuíram para os resultados e foram fundamentais para a adesão ao protocolo, reforçando o compromisso com a qualidade e segurança do atendimento ao paciente. A maior dificuldade foi ajustar os alarmes de SpO<sub>2</sub>, devido ao estresse da equipe, paciente, família, desencadeado pelo ruído e pela quantidade de alarmes gerados nas UTIs, levando ao cansaço e falta de tomada de decisão <sup>(29)</sup>.

As mudanças nas atitudes dos médicos da UTI são influenciadas por novos insights e recomendações para serem mais conservadores com a oxigenoterapia, como relata a publicação por Grim <sup>(26)</sup>, onde a implementação de uma diretriz conservadora de oxigenação melhorou a adesão à meta de oxigênio.

Assim como a implementação de metas identificadas por etiquetas à beira do leito, individualizando o paciente, foi importante para o processo de cultura da equipe e da família no nosso projeto.

Durante a pandemia da COVID-19, o sistema de saúde de muitas nações sofreu, especialmente dos países de baixo rendimento. O manejo de pacientes com COVID-19 grave permanece amplamente favorável, incluindo a oxigenação como terapia. A aquisição e a manutenção do sistema de fornecimento de oxigênio,

juntamente com a prevenção do uso indevido e do desperdício de oxigênio, são de suma importância para melhor utilizar os escassos recursos em meio aos picos de uma pandemia <sup>(30)</sup> foi necessário redesenhar modelos de cuidado. O oxigênio está incluído na lista de medicamentos essenciais da Organização Mundial da Saúde e é utilizado no atendimento de pacientes em todos os níveis das redes integradas de serviços de saúde <sup>(31)</sup>. Um medicamento é considerado de uso racional quando os pacientes o recebem de acordo com suas necessidades clínicas, em doses apropriado às suas necessidades individuais, por um período apropriado e com baixo custo para eles e sua comunidade <sup>(31)</sup>. Por estas razões, um conjunto de diretrizes<sup>(32)</sup> foi elaborado para o desenvolvimento de um sistema de gestão eficiente para lidar com situações de escassez de oxigênio, tanto agora como no futuro. Corroborando com esse tema, uma menor dose de oxigênio utilizada em pacientes com COVID-19 e hipoxemia grave pode ser benéfica, resultando em mais dias de vida sem suporte de vida <sup>(33)</sup>.

Por outro lado, a revisão sistemática e a meta-análise da IOTA relataram que a mediana da SpO<sub>2</sub> basal no braço liberal de oxigênio foi de 96,4%, o que apresentou um aumento na mortalidade, sugerindo que esse limiar abrange a faixa de SpO<sub>2</sub> de 94% a 96% <sup>(10)</sup>. Nessa mesma linha de raciocínio, o ensaio clínico randomizado Oxygen-ICU <sup>(15)</sup> também encontrou redução na mortalidade com o uso racional e conservador de oxigênio. Estudos mais recentes <sup>(34-36)</sup> não demonstraram redução da mortalidade, porém não observaram diferença significativa com as estratégias de uso mais liberal de oxigênio. Em um estudo publicado por Shjorring <sup>(36)</sup>, multicêntrico e randomizado com pacientes com insuficiência respiratória aguda hipoxêmica, uma meta de oxigenação menor não resultou em menor mortalidade do que uma meta maior em 90 dias. Resultados semelhantes de Robin Hofmann <sup>(14)</sup> que não encontraram redução da mortalidade por todas as causas em 1 ano, porém nos levam a avaliar o uso racional e o desperdício de oxigênio por não haver diferença na mortalidade.

Também os resultados do estudo ICU-ROX <sup>(35)</sup> não encontraram diferença significativa entre o número de dias livres de ventilação mecânica com uso de oxigenoterapia conservadora em comparação com a oxigenoterapia usual. Semelhante ao nosso estudo em que não houve diferença estatística no tempo de ventilação mecânica.

Em contraste, as taxas de hipoxemia eram baixas e permaneceram estáveis após a implementação do protocolo, sem mudança significativa. Esse achado pode ser explicado pelas baixas taxas basais, possivelmente porque as equipes clínicas tendem a ser mais vigilantes em relação à hipoxemia do que à hiperoxemia, já que a primeira exige reconhecimento e intervenção imediatos. O achado de aumento do número de pacientes em hipoxemia pode ter ocorrido pelo fato dos pacientes terem oscilado no nível de oxigenação ou SpO<sub>2</sub> durante a internação e as auditorias terem sido pontuais em um único momento do período. Lellouche <sup>(37)</sup> em seu estudo desenvolveu um dispositivo (FreeO<sub>2</sub>) que ajusta automaticamente as taxas de fluxo de oxigênio com base nas necessidades do paciente, a fim de limitar a hiperoxemia e a hipoxemia e afastá-los automaticamente do oxigênio. Na mesma linha de publicação Orion Roca <sup>(38)</sup> demonstrou o desempenho do controle de oxigênio em circuito fechado em pacientes críticos com hipoxemia aguda moderada a grave insuficiência respiratória tratada com oxigênio nasal de alto fluxo, onde o controle de oxigênio em circuito fechado melhora a administração de oxigênio e aumenta a porcentagem de tempo na faixa ideal de oxigenação e diminui a carga de trabalho do pessoal de saúde.

Uma revisão sistemática e meta-análise de Denault <sup>(39)</sup> conclui que em pacientes que necessitam de oxigênio suplementar no hospital, a titulação automática de oxigênio foi associada a uma redução no tempo de internação hospitalar e de oxigenoterapia, bem como a um maior percentual de tempo gasto dentro da faixa alvo de saturação. No entanto, estes efeitos não foram associados a uma diferença na mortalidade ou na necessidade de assistência ventilatória. Uma análise econômica <sup>(36)</sup> de um dispositivo automatizado de titulação de oxigênio de um ensaio em pacientes hospitalizados por exacerbação aguda de DPOC sugeriu uma redução nos custos relacionados à oxigenoterapia em até 20%. Portanto, discutimos em nossa revisão sistemática o impacto do controle de oxigênio em circuito fechado para pacientes graves, sua eficácia, carga de trabalho e segurança em comparação com sistemas manuais de titulação de oxigênio, que provavelmente aumentam a porcentagem de tempo gasto dentro da faixa desejada de SpO<sub>2</sub> e reduz a carga de trabalho e os custos dos cuidados de saúde <sup>(25)</sup>.

Não foram observadas diferenças nos desfechos clínicos entre os períodos pré e pós-intervenção. Esse resultado está alinhado com estudos recentes que mostram que estratégias conservadoras de oxigenação não reduzem a mortalidade,

mas também não aumentam o risco de eventos adversos, mesmo quando metas mais baixas de oxigênio são aplicadas (44,45). Embora este estudo não tenha sido desenhado ou dimensionado para avaliar desfechos clínicos, esses resultados levantam a hipótese de que a oxigenoterapia conservadora, ainda que não melhore diretamente os resultados em UTI, pode reduzir a exposição ao oxigênio de forma segura, sem comprometer o prognóstico do paciente.

São necessários estudos futuros avaliando análises de custo-efetividade, bem como o impacto da implementação de equipamentos de oxigênio em circuito fechado. Um modelo de aprendizado de máquina para prever o efeito do tratamento com uma meta de SpO<sub>2</sub> menor versus maior na mortalidade de pacientes individuais foi demonstrado por Kevin G. Buell, onde as metas de oxigenação individualizadas podem reduzir a mortalidade de pacientes adultos graves<sup>(29 - 40)</sup>.

Poucos estudos investigaram os custos e o consumo relacionados às estratégias de suplementação de oxigênio, mas alguns sugerem que dispositivos automatizados de titulação de oxigênio ou estratégias conservadoras podem reduzir os custos da oxigenoterapia (21, 25). No presente estudo, entretanto, não houve redução significativa no consumo ou no custo de oxigênio após a implementação do protocolo. Uma limitação desse indicador é que os gastos foram analisados com base em “paciente-dia de UTI”, sem restringir apenas aos pacientes que efetivamente recebiam oxigênio. Apesar dessas limitações, a tendência observada de redução no uso de oxigênio reforça o potencial de projetos de melhoria da qualidade para promover o uso mais racional e sustentável dos recursos nas UTIs.

Fatores limitantes importantes do nosso estudo foram a falta de dados contínuos de SpO<sub>2</sub> através de ferramentas Business Intelligence (BI) e a gestão de consumo de O<sub>2</sub> das UTIs, dificultando a análise de custo-benefício dos hospitais. A lição apreendida é que o sucesso dos projetos de melhoria exige apoio contínuo da liderança e pessoas motivadas na linha de frente, impulsionadas por campeões treinados, responsáveis por multiplicar as ações necessárias e difundir informações.

#### Impacto prático

O protocolo baseado no modelo IHI conseguiu melhorar a adequação da suplementação de oxigênio na UTI, diminuindo exposição excessiva ao oxigênio sem

provocar aumento clínico relevante de eventos adversos, embora tenha havido um leve aumento nos episódios de hipoxemia que exige atenção operacional.

#### Comentários e avaliação crítica

##### Forças do estudo

- Desenho multicêntrico e prospectivo com grande número de auditorias, aumentando robustez das observações.
- Uso de metodologia de melhoria reconhecida (IHI e ciclos PDSA), adequada para intervenções de processo e implementação em contexto real.
- Foco em intervenção prática e mensurável, com indicadores claros (taxas de hiperoxemia e hipoxemia) e monitoramento contínuo.
- Aplicabilidade direta para serviços com restrição de recursos, pois o protocolo é baseado em mudanças de processo e treinamento, não em tecnologia de alto custo.

##### Limitações e riscos potenciais

- Desenho antes-e-depois sem grupo controle concorrente torna difícil excluir efeitos de tendência secular, sazonalidade ou mudanças simultâneas em prática clínica.
- Aumento da hipoxemia, embora pequeno, é clinicamente relevante; falta informação sobre gravidade, consequências clínicas (ex.: eventos adversos, necessidade de reintervenção, mortalidade) e se episódios foram transitórios ou persistentes.
- Dados agregados não esclarecem variações entre hospitais, leitos ou turnos; heterogeneidade de implementação pode influenciar resultados.
- Não há descrição detalhada das estratégias específicas usadas (frequência de titulação, algoritmos, suporte educacional, responsáveis pela titulação), limitando reprodutibilidade.
- Possível viés de medição se auditorias não foram cegas ou se houve mudança no comportamento observado por estar sendo auditado (efeito Hawthorne).

- Período de follow-up relativamente curto para avaliar sustentabilidade a médio/longo prazo além da fase pós-projeto.

#### Sugestões para aprimoramento e pesquisas futuras

- Incluir um grupo controle ou usar desenho em períodos escalonados (*stepped wedge*) para fortalecer inferências causais.
- Reportar desfechos clínicos relevantes além das taxas de saturação: eventos de hipoxemia clinicamente significativos, tempo até correção, ventilação mecânica, tempo de UTI, mortalidade.
- Descrever em detalhe os componentes do protocolo (limiares exatos, responsabilidades, fluxos de trabalho, material educativo) e a adesão por profissional/unidade.
- Analisar heterogeneidade de efeito por hospital, tipo de UTI e perfil de pacientes para identificar contextos onde a intervenção é mais ou menos eficaz.
- Monitorar tendências a médio e longo prazo para avaliar sustentabilidade e possíveis compensações indesejadas.
- Implementar mecanismos de segurança que detectem e respondam rapidamente a aumentos de hipoxemia (alertas, revisões caso a caso).

#### Recomendações operacionais imediatas

- Manter o protocolo com reforço no treinamento focalizado para reduzir episódios de hipoxemia.
- Implementar monitoramento contínuo com indicadores de processo e resultado (ex.: taxa de hiperoxemia, hipoxemia significativa, tempo médio até ajuste de  $FiO_2$ ).
- Estabelecer um plano de resposta rápida para episódios de hipoxemia e auditorias de feedback frequentes para equipes.
- Compartilhar o protocolo detalhado e materiais de implementação para facilitar replicação em outras unidades.

## **7. CONCLUSÃO**

Os resultados deste estudo demonstram que aplicar o modelo do IHI para implementar um protocolo direcionado de suplementação de oxigênio foi viável e eficaz para manter níveis adequados de oxigenação e reduzir taxas de hiperoxemia, mesmo após sete meses de implementação. Esses achados também sugerem que manter auditorias regulares e educação contínua é essencial para garantir adesão e impacto duradouros. De modo geral, o estudo reforça a viabilidade de adotar metas de oxigênio baseadas em evidências na prática rotineira de UTIs. Pesquisas futuras devem explorar a sustentabilidade em longo prazo e a relação custo-efetividade das estratégias conservadoras, bem como o potencial papel de sistemas automatizados na otimização da oferta de oxigênio e na redução do uso de recursos.

## 8. REFERÊNCIAS

1. Turrens JF. Mitochondrial formation of reactive oxygen species. *J Physiol.* 2003;552:335-44.
2. Singer M, Young PJ, Laffey JG, Asfar P, Taccone FS, Skrifvars MB, et al. Dangers of hyperoxia. *Crit Care.* 2021;25:440.
3. Sjöberg F, Singer M. The medical use of oxygen: a time for critical reappraisal. *J Intern Med.* 2013;274:505-28.
4. Kilgannon JH, Jones AE, Shapiro NI, Angelos MG, Milcarek B, Hunter K, et al. Association between arterial hyperoxia following resuscitation from cardiac arrest and in-hospital mortality. *JAMA.* 2010;303:2165-71.
5. Brenner M, Stein D, Hu P, Kufera J, Wooford M, Scalea T. Association between early hyperoxia and worse outcomes after traumatic brain injury. *Arch Surg.* 2012;147:1042-6.
6. O'Driscoll BR, Howard LS, Earis J, Mak V; British Thoracic Society Emergency Oxygen Guideline Group; British Thoracic Society Standards of Care Committee. BTS guideline for oxygen use in adults in healthcare and emergency settings. *Thorax.* 2017;72(Suppl 1):ii1-90.
7. Langley GJ, Moen R, Nolan KM, Nolan TW, Norman CL, Provost LP. *The Improvement Guide: A Practical Approach to Enhancing Organizational Performance.* 2nd ed. San Francisco: Jossey-Bass; 2009.
8. Knudsen SV, Laursen HVB, Johnsen SP, Bartels PD, Ehlers LH, Mainz J. Can quality improvement improve the quality of care? A systematic review of reported effects and methodological rigor in plan-do-study-act projects. *BMC Health Serv Res.* 2019;19:683.
9. Stephens TJ, Thomson WR. Choosing wisely for quality improvement: more is not always better. *BMJ Qual Saf.* 2023;32:444-6.
10. Chu DK, Kim LH, Young PJ, Zamiri N, Almenawer SA, Jaeschke R, et al. Mortality and morbidity in acutely ill adults treated with liberal versus conservative oxygen therapy (IOTA): a systematic review and meta-analysis. *Lancet.* 2018;391:1693-705.

11. Page D, Ablordeppey E, Wessman BT, Mohr NM, Trzeciak S, Kollef MH, et al. Emergency department hyperoxia is associated with increased mortality in mechanically ventilated patients: a cohort study. *Crit Care*. 2018;22:9.
12. Damiani E, Adrario E, Girardis M, Romano R, Pelaia P, Singer M, et al. Arterial hyperoxia and mortality in critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care*. 2014;18:711.
13. Madotto F, Rezoagli E, Pham T, Schmidt M, McNicholas B, Protti A, et al. Hyperoxemia and excess oxygen use in early acute respiratory distress syndrome: insights from the LUNG SAFE study. *Crit Care*. 2020;24:125.
14. Hofmann R, James SK, Jernberg T, Lindahl B, Erlinge D, Witt N, et al. Oxygen therapy in suspected acute myocardial infarction. *N Engl J Med*. 2017;377:1240-9.
15. Girardis M, Busani S, Damiani E, Donati A, Rinaldi L, Marudi A, et al. Effect of conservative vs conventional oxygen therapy on mortality among patients in an intensive care unit: the Oxygen-ICU randomized clinical trial. *JAMA*. 2016;316:1583-9.
16. Stub D, Smith K, Bernard S, Nehme Z, Stephenson M, Bray JE, et al. Air versus oxygen in ST-segment-elevation myocardial infarction. *Circulation*. 2015;131:2143-50.
17. de Jonge E, Peelen L, Keijzers PJ, Joore H, de Lange D, van der Voort PH, et al. Association between administered oxygen, arterial partial oxygen pressure and mortality in mechanically ventilated intensive care unit patients. *Crit Care*. 2008;12:R156.
18. Helmerhorst HJ, Arts DL, Schultz MJ, van der Voort PH, Abu-Hanna A, de Jonge E, et al. Metrics of arterial hyperoxia and associated outcomes in critical care. *Crit Care Med*. 2017;45:187-95.
19. Kilgannon JH, Jones AE, Parrillo JE, Dellinger RP, Milcarek B, Hunter K, et al. Relationship between supranormal oxygen tension and outcome after resuscitation from cardiac arrest. *Circulation*. 2011;123:2717-22.
20. Kim TY, Kim DH, Kim SC, Kang C, Lee SH, Jeong JH, et al. Impact of early hyperoxia on 28-day in-hospital mortality in patients with myocardial injury. *PLoS One*. 2018;13:e0201286.

21. Poder TG, Kouakou CRC, Bouchard PA, Tremblay V, Blais S, Maltais F, et al. Cost-effectiveness of FreeO<sub>2</sub> in patients with chronic obstructive pulmonary disease hospitalised for acute exacerbations: analysis of a pilot study in Quebec. *BMJ Open*. 2018;8:e018835.
22. Rincon F, Kang J, Vibbert M, Urtecho J, Athar MK, Jallo J. Significance of arterial hyperoxia and relationship with case fatality in traumatic brain injury: a multicentre cohort study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2014;85:799-805.
23. Helmerhorst HJF, Schouten LRA, Wagenaar GTM, Juffermans NP, Roelofs J, Schultz MJ, et al. Hyperoxia provokes a time- and dose-dependent inflammatory response in mechanically ventilated mice, irrespective of tidal volumes. *Intensive Care Med Exp*. 2017;5:27.
24. Palmer E, Post B, Klapaukh R, Marra G, MacCallum NS, Brealey D, et al. The association between supraphysiologic arterial oxygen levels and mortality in critically ill patients: a multicenter observational cohort study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019;200:1373-80.
25. Mól CG, Vieira AGDS, Garcia BMSP, Dos Santos Pereira E, Eid RAC, Schultz MJ, et al. Closed-loop oxygen control for critically ill patients: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2024;19:e0304745.
26. Grim CC, Helmerhorst HJ, Schultz MJ, Winters T, van der Voort PH, van Westerloo DJ, et al. Changes in attitudes and actual practice of oxygen therapy in ICUs after implementation of a conservative oxygenation guideline. *Respir Care*. 2020;65:1502-10.
27. Donabedian A. The quality of care. How can it be assessed? *Arch Pathol Lab Med*. 1997;121:1145-50.
28. Chelluri LP. Quality and performance improvement in critical care. *Indian J Crit Care Med*. 2008;12:67-76.
29. Asadi N, Salmani F, Asgari N, Salmani M. Alarm fatigue and moral distress in ICU nurses in COVID-19 pandemic. *BMC Nurs*. 2022;21:125.
30. Shrestha GS, Lamsal R. Rational use of oxygen in COVID-19 pandemic: are we doing enough? *JNMA J Nepal Med Assoc*. 2021;59:429-31.
31. Sema FD, Asres ED, Wubeshet BD. Evaluation of rational use of medicine using WHO/INRUD core drug use indicators at Teda and Azezo Health Centers, Gondar Town, Northwest Ethiopia. *Integr Pharm Res Pract*. 2021;10:51-63.

32. Pan American Health Organization. Good practices in the rational and effective use of oxygen [Internet]. Washington, D.C.: PAHO; 2022 [cited 2025 Oct 17]. Available from: <http://iris.paho.org/handle/10665.2/55735>
33. Nielsen FM, Klitgaard TL, Siegemund M, Laake JH, Thormar KM, Cole JM, et al. Lower vs higher oxygenation target and days alive without life support in COVID-19: the HOT-COVID randomized clinical trial. *JAMA*. 2024;331:1185-94.
34. Barrot L, Asfar P, Mauny F, Winiszewski H, Montini F, Badie J, et al. Liberal or conservative oxygen therapy for acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2020;382:999-1008.
35. Mackle D, Bellomo R, Bailey M, Beasley R, Deane A, Eastwood G, et al. Conservative oxygen therapy during mechanical ventilation in the ICU. *N Engl J Med*. 2020;382:989-98.
36. Schjørring OL, Klitgaard TL, Perner A, Wetterslev J, Lange T, Siegemund M, et al. Lower or higher oxygenation targets for acute hypoxemic respiratory failure. *N Engl J Med*. 2021;384:1301-11.
37. Lellouche F, Bouchard PA, Roberge M, Simard S, L'Her E, Maltais F, et al. Automated oxygen titration and weaning with FreeO<sub>2</sub> in patients with acute exacerbation of COPD: a pilot randomized trial. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2016;11:1983-90.
38. Roca O, Caritg O, Santafé M, Ramos FJ, Pacheco A, García-de-Acilu M, et al. Closed-loop oxygen control improves oxygen therapy in acute hypoxemic respiratory failure patients under high flow nasal oxygen: a randomized cross-over study (the HILOOP study). *Crit Care*. 2022;26:108.
39. Denault MH, Péloquin F, Lajoie AC, Lacasse Y. Automatic versus manual oxygen titration in patients requiring supplemental oxygen in the hospital: a systematic review and meta-analysis. *Respiration*. 2019;98:178-88.
40. Buell KG, Spicer AB, Casey JD, Seitz KP, Qian ET, Graham Linck EJ, et al. Individualized treatment effects of oxygen targets in mechanically ventilated critically ill adults. *JAMA*. 2024;331:1195-204.
41. Nielsen FM, Klitgaard TL, Siegemund M, Laake JH, Thormar KM, Cole JM, et al. Lower vs higher oxygenation target and days alive without life support in COVID-19: the HOT-COVID randomized clinical trial. *JAMA*. 2023;330(10):941–951. doi:10.1001/jama.2023.14620.

42. ICU-ROX Investigators; Australian and New Zealand Intensive Care Society Clinical Trials Group. Conservative oxygen therapy during mechanical ventilation in the ICU. *N Engl J Med*. 2020;382(11):989–998. doi:10.1056/NEJMoa1916435.
43. Buell KG, Spicer AB, Casey JD, Seitz KP, Qian ET, Graham Linck EJ, *et al*. Individualized treatment effects of oxygen targets in mechanically ventilated critically ill adults. *JAMA*. 2024;331(14):1195–1204. doi:10.1001/jama.2024.2933
44. Douin DJ, Rice JD, Anderson EL, Jackson CL, Cheng AC, Xiao M, *et al*. Targeted Normoxemia and Supplemental Oxygen-Free Days in Critically Injured Adults: A Stepped-Wedge Cluster Randomized Clinical Trial. *JAMA Netw Open*. 2025;8:e252093
45. Martin DS, Gould DW, Shahid T, Doidge JC, Cowden A, Sadique Z, *et al*. Conservative Oxygen Therapy in Mechanically Ventilated Critically Ill Adult Patients: The UK-ROX Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2025;334:398–408.
46. Helmerhorst HJF, Schultz MJ, van de Voor PHJ, *et al*. Effectiveness and Clinical Outcomes of a Two-Step Implementation of Conservative Oxygenation Targets in Critically Ill Patients: A Before and After Trial. *Crit Care Med* 2016; 44:554-563.
47. L'Her Erwan, Dias P, Gouillou M, *et al*. Automatic *versus* manual Oxygen administration in the emergency department. *Eur Respir J*. 2017;50.
48. Gelman A.. (2008). "Scaling regression inputs by dividing by two standard deviations". *Statistics in medicine* 27: 2865-2873. <http://www.stat.columbia.edu/~gelman/research/published/standardizing7.pdf>
49. Fitzmaurice, G. M., Laird, N. M., & Ware, J. H. (2011). *Applied longitudinal analysis* (2nd ed.). Wiley.



