

Revista Brasileira de Saúde

Data de aceite: 11/08/2025

IMPACTO DA UTILIZAÇÃO DE UM FLUXÔMETRO DE OXIGÊNIO DIGITAL NO CONSUMO HOSPITALAR DE OXIGÊNIO MEDICINAL EM UMA REDE HOSPITAIS DE CUIDADOS PÓS AGUDOS: SAÚDE BASEADA EM VALOR E RETORNO DE INVESTIMENTO - PROJETO PILOTO

Ana Carolina Cavalcante Alves

Pós-graduação em Fisioterapia Hospitalar
pelo Hospital Israelita Albert Einstein. São
Paulo-SP

ORCID: 0009-0002-7815-4117

Fabio Yoshito Ajimura

Médico Especialista em Medicina Preventiva
pela FMUSP. Mestre em Administração de
Empresas pela FGV. São Paulo-SP

ORCID: 0009-0009-5004-5243

Caio Henrique Veloso da Costa

Fisioterapeuta Especialista em Fisioterapia
em Terapia Intensiva. Coordenador de
Produtos. Salvus Tecnologia. Recife-PE

ORCID: 0000-0002-5768-9975

Autor Correspondente

Todo o conteúdo desta revista está
licenciado sob a Licença Creative
Commons Atribuição 4.0 Interna-
cional (CC BY 4.0).



Resumo: Introdução: A oxigenoterapia consistenaadministraçãodeoxigênioemconcentrações superiores a 21% com objetivo de garantir níveis adequados de oxigênio arterial e evitar hipóxia tecidual. Em pacientes com doenças agudas, deve-se evitar níveis excessivos de oxigenação, recomendando-se a administração conforme faixa alvo de saturação específica. Objetivo: Verificar o impacto da utilização de um fluxômetro digital de O₂ no consumo de oxigênio medicinal e na redução de necessidade de compra de oxigênio medicinal, analisando cenários de viabilidade econômica. Métodos: Estudo prospectivo realizado entre outubro e dezembro de 2024, em duas unidades hospitalares de cuidados pós-agudos dacidadedeSãoPaulo.Novembrofoi o mês de utilização do fluxômetro digital, com outubro e dezembro como medidas comparativas. Analisou-se o consumo de O₂ hospitalar, faturamento, retorno de investimento (ROI) e análise de sensibilidade para diferentes cenários de redução. Resultados: Foram analisados 12 pacientes. O projeto teve custo inicial de R\$ 1.790. Houve redução de 230 m³ no consumo de O₂ (17,3%) e redução de R\$ 3.071,40 (17,2%) na necessidade de compra doO₂.OROIfoidede71%compaybackde18dias. A análise de sensibilidade demonstrou que reduções mínimas de 10,1% já garantem ROI positivo. **Conclusão:** Demonstrou-se redução significativa no consumo de O₂ e nos custos associados, com ROI positivo e baixo ponto de equilíbrio para viabilidade econômica.

Palavras-chave: Oxigenoterapia; Fluxômetros, ConsumodeOxigênio

INTRODUÇÃO

A oxigenoterapia representa uma das intervenções terapêuticas mais fundamentais e amplamente utilizadas na prática médica hospitalar contemporânea[1]. Definida como a administração de oxigênio em concentrações superiores aos 21% presentes no ar ambiente,

esta modalidade terapêutica tem como objetivo primordial garantir níveis adequados-deoxigenaçãoarterial,prevenindoassimaocorrênciadehipóxiateciduale suas consequências deletérias ao organismo[2].

Em cenários hospitalares, particularmente em unidades de emergência e cuidados intensivos, a utilização criteriosa da oxigenoterapia torna-se imperativa. Estudos recentes têm demonstrado que a administração excessiva de oxigênio podeacarretar efeitos adversos, incluindo toxicidade pulmonar, vasoconstrição cerebral ecoronariana, além de interferência na regulação ventilatória[3]. Dessa forma, as diretrizes atuais preconizam a administração de oxigênio conforme faixas-alvo de saturação específicas para cada condição clínica, promovendo uma abordagem mais precisa e segura[4].

No contexto da gestão hospitalar moderna, a implementação de tecnologias que otimizem o uso de recursos médicos representa uma estratégia essencial para a sustentabilidade econômica das instituições de saúde[5]. Os fluxômetros digitais de oxigênio emergem como uma solução tecnológica promissora, oferecendo maior precisão no controle de fluxo, monitoramento em tempo real e potencial redução de desperdícios[6].

A importância da precisão na administração de oxigênio torna-se ainda mais evidente quando consideramos que fluxômetros analógicos tradicionais podem apresentar variações significativas em sua precisão, especialmente em diferentes níveis de fluxo[7]. Estudos recentes demonstram que estes dispositivos podem apresentar desvios percentuais que variam de 2% em fluxos baixos (1 L/min) até 30% em fluxos elevados (15 L/min), comprometendo tanto a eficácia terapêutica quanto a segurança na administração de oxigenoterapia[8].

O conceito de Saúde Baseada em Valor (Value-Based Healthcare) tem ganhado crescente relevância, enfatizando a importância de maximizar resultados em saúde em relação aos custos investidos[9]. Neste contexto, a análise do retorno de investimento (ROI) em tecnologias médicas torna-se fundamental para a tomada de decisões estratégicas nas instituições de saúde.

A análise econômica de tecnologias médicas requer avaliação não apenas dos resultados alcançados, mas também dos cenários mínimos de viabilidade, permitindo que gestores hospitalares compreendam os pontos de equilíbrio financeiro e os riscos associados ao investimento[10]. Esta abordagem de análise de sensibilidade é particularmente relevante em contextos de recursos limitados, onde a eficiência alocativa representa um imperativo institucional.

Considerando a importância econômica e clínica da otimização do uso de oxigênio medicinal, este estudo teve como objetivo verificar o impacto da utilização de um fluxômetro digital de O₂ no consumo de oxigênio medicinal e no faturamento hospitalar em uma rede de cuidados pós-agudos, incluindo análise de cenários de viabilidade econômica.

MÉTODOS

Trata-se de um estudo prospectivo, observacional, do tipo antes-e-depois, realizado em duas unidades hospitalares especializadas em cuidados pós-agudos localizadas na cidade de São Paulo, Brasil.

O estudo foi conduzido durante o período de outubro a dezembro de 2024, totalizando quatro meses de observação. As unidades hospitalares selecionadas caracterizam-se por atender pacientes em fase de recuperação pós-aguda, com demandas específicas de oxigenoterapia prolongada.

O estudo foi estruturado em três fases distintas: Pré intervenção (Set- Out 2024):

Período controle pré-intervenção, utilizando fluxômetros convencionais; Intervenção (Nov 2024): Período de intervenção, com implementação do fluxômetro digital de oxigênio e Pós intervenção (Dez 2024): Período controle, retornando ao uso de fluxômetros convencionais.

Foram incluídos no estudo todos os pacientes internados nas unidades participantes durante o período de observação que fizeram uso de oxigenoterapia. Os critérios de inclusão compreenderam: pacientes com idade superior a 18 anos, internação por período mínimo de 7 dias, e necessidade de oxigenoterapia contínua ou intermitente. As principais variáveis coletadas incluíram o Consumo total de oxigênio medicinal (em metros cúbicos-m³), Custo associado ao consumo de oxigênio, Custo de implementação da tecnologia, Custo unitário por m³ de oxigênio medicinal.

Para avaliação da viabilidade econômica do projeto, foram calculados: Retorno de Investimento (ROI): calculado pela fórmula $[(\text{Benefício Líquido} / \text{Custo do Investimento}) \times 100]$, Payback: período necessário para recuperação do investimento inicial, Análise de custo-efetividade: relação entre custos e benefícios observados, Análise de sensibilidade: cenários alternativos de redução de consumo (10%, 15%, 20%, 25%, 30%) e Ponto de equilíbrio: percentual mínimo de redução para ROI positivo.

O custo unitário por m³ de oxigênio medicinal foi calculado dividindo-se a economia total observada pela redução volumétrica correspondente, estabelecendo-se como referência para projeções de cenários alternativos.

Foram modelados cenários hipotéticos de redução de consumo variando de 10% a 30%, calculando-se para cada cenário: Economia mensal projetada, ROI esperado, Período de payback e Ponto de equilíbrio financeiro.

Os dados foram organizados e analisados utilizando o software Microsoft Excel©2016. A análise estatística foi realizada por meio de estatística descritiva, com resultados apresen-

tados em números inteiros, percentuais e medidas de tendência central. As variações percentuais foram calculadas comparando-se os períodos pré e pós-intervenção.

RESULTADOS

Durante o período de estudo, foram analisados dados de 12 pacientes que atenderam aos critérios de inclusão estabelecidos. A distribuição temporal dos pacientes manteve-se relativamente homogênea ao longo das três fases de observação (Tabela 1). A taxa de ocupação de uma das unidades, foi de 78% no período pré-intervenção, caindo para 67% no período da intervenção, subindo para 81% no período pós-intervenção. Já na segunda unidade, a taxa de ocupação no período pré-intervenção e intervenção foi de 60%, aumentando para 71% no período pós-intervenção.

Período	Pacientes	Paciente-sem uso de oxigênio (n)	Pacientes em uso de oxigênio (%)
Pré-intervenção	60	12	20
Intervenção	50	10	20
Pós-intervenção	59	10	16,9

Tabela1: Distribuição temporal dos pacientes em oxigenoterapia

A implementação do projeto piloto demandou um investimento inicial de R\$ 1.790,00, valor que contemplou a aquisição e instalação dos fluxômetros digitais de oxigênio nas duas unidades hospitalares participantes. O consumo de O₂ durante o período estudado se comportou conforme a Tabela 2.

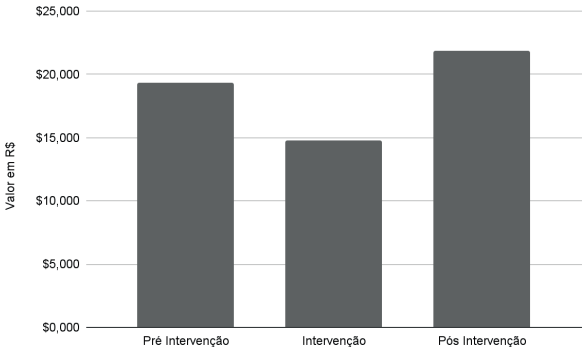
Período	Consumo (m³)	Variação Absoluta (m³)	Variação Percentual (%)
Pré-intervenção	1440	-	-
Intervenção	1098	-342	-17
Pós-intervenção	1662	564	54

m³: metro cúbico

Tabela2-Consumo de Oxigênio Medicinal por Período de Estudo

A análise determinou que o ponto de equilíbrio para ROI positivo ($\geq 0\%$) ocorre com redução mínima de aproximadamente 10,1% no consumo de oxigênio, correspondendo a uma economia de 134,1 m³ mensais ou R\$ 1.790,00 em custos evitados.

Houve uma variação significativa no consumo de oxigênio medicinal ao longo dos períodos analisados conforme a imagem 1. Observou-se redução de 230 m³ no consumo total de oxigênio, representando uma diminuição de 17,3% em relação ao período pré-intervenção. Após a retirada dos fluxômetros digitais, verificou-se aumento de 564 m³ no consumo (54,1% de aumento comparado a novembro), demonstrando retorno aos padrões de consumo anteriores à intervenção



Os resultados demonstram que um Cenário Conservador (10% redução) o ROI ligeiramente negativo (-0,9%), indicando ponto próximo ao equilíbrio, já em um Cenário Moderado (15% redução) o ROI positivo de 48,8% com payback de 20 dias. No Cenário Observado (17,3% redução) o ROI de 71% com payback de 18 dias e em Cenários Otimistas ($\geq 20\%$ redução) o ROI projetado pode ser superior a 98% com payback inferior a 15 dias.

Observou-se uma redução de 17,2% nos gastos das unidades com oxigênio medicinal, o que representou uma economia de R\$ 3.071,40 durante o período de intervenção. O custo unitário por m³ de oxigênio medicinal foi calculado em R\$ 13,35. O cálculo do ROI demonstrou

um retorno de 71% sobre o investimento inicial, indicando viabilidade econômica robusta do projeto, já o tempo necessário para recuperação do investimento inicial foi de 18 dias, demonstrando rápida amortização dos custos implementados.

Na análise de sensibilidade, foram criados cenários alternativos baseados no percentual de redução de consumo e o resultado projetado na economia mensal, ROI e payback (Tabela 3).

Redução (%)	ΔConsumo mensal (m³)	Economia mensal (R\$)	ROI (%)	Payback (dias)
10%	133	1774,6	-0,9	30,2
15%	199,5	2664,8	48,8	20,2
20%	266	3553,1	98,5	15,1
25%	332,5	4441,9	148,1	12,1
30%	399	5330	197,2	10,1

Δ: Diferença, m³: metros cúbicos, R\$: reais

Tabela 3-Análise de Sensibilidade para Diferentes Cenários de Redução

Não foram observadas situações referentes à segurança do paciente e uso da oxigenoterapia durante o período analisado.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo piloto demonstram o potencial impacto positivo da implementação de fluxômetros digitais de oxigênio na gestão hospitalar de recursos de oxigenoterapia. A redução de 17,3% no consumo de oxigênio medicinal durante o período de intervenção corrobora achados de estudos anteriores que evidenciam a eficácia de tecnologias de monitoramento digital na otimização do uso de recursos médicos[11].

Os resultados observados neste estudo encontram embasamento técnico na literatura científica recente sobre precisão de fluxômetros. Costa et al.[7] demonstraram, em estudo experimental controlado, que fluxômetros digitais apresentam precisão superior e consistente

em toda a faixa operacional de 1 a 15 L/min, enquanto fluxômetros analógicos mostram deterioração progressiva da precisão com o aumento do fluxo.

O padrão de erro observado em fluxômetros analógicos, onde o desvio percentual aumenta progressivamente de 2% em 1L/min para 30% em 15L/min, fornece uma explicação técnica para a redução de consumo observada em nosso estudo. Esta deterioração progressiva da precisão em fluxômetros analógicos pode ser atribuída a características inerentes dos tubos de Thorpe, onde a precisão diminui com o aumento da taxa de fluxo devido a fatores como turbulência e limitações na escala de leitura[7]. Em contraste, a estabilidade dos fluxômetros digitais, com desvio consistente inferior a 1,5% em toda a faixa operacional, reflete a capacidade dos sensores eletrônicos de manter a precisão independentemente do nível de fluxo. Esta característica técnica explica a redução de desperdício observada em nosso estudo, uma vez que a maior precisão resulta em administração mais eficiente de oxigênio[7].

A correlação direta entre a redução do consumo de oxigênio e a diminuição proporcional dos custos (17,2%) sugere que a tecnologia implementada promoveu não apenas eficiência operacional, mas também sustentabilidade econômica. Este achado alinha-se com os princípios da Saúde Baseada em Valor, demonstrando que é possível alcançar melhores resultados com menor utilização de recursos[12]. É importante observar que houve uma variação na taxa de ocupação durante os meses estudados, o que pode ter influenciado nos resultados encontrados.

Costa et al.[7] calcularam que um hospital com 50 pacientes recebendo oxigênio a 15 L/min poderia desperdiçar até 220 L/min de oxigênio (50 pacientes x 4,4 L/min de erro médio) apenas devido à imprecisão dos fluxômetros analógicos, equivalente a aproximadamente 317 m³ de oxigênio desperdiçado por dia. Esta

projeção teórica encontra respaldo prático em nossos resultados, onde a implementação de fluxômetros digitais resultou em redução de 230 m³ mensais no consumo.

O ROI de 71% observado neste estudo supera significativamente os benchmarks usuais para investimento em tecnologia médica, que tipicamente variam entre 10-30% em projetos similares[13]. Este resultado excepcional pode ser atribuído ao baixo custo de implementação (R\$ 1.790) combinado com os benefícios imediatos observados na redução de consumo, respaldados pela superioridade técnica demonstrada dos fluxômetros digitais.

A análise de sensibilidade revelou aspectos importantes sobre a robustez do investimento. O ponto de equilíbrio identificado em 10,1% de redução no consumo demonstra que mesmo cenários conservadores podem resultar em viabilidade econômica, conferindo baixo risco ao investimento. Esta robustez é particularmente relevante considerando que Costa et al.[7] demonstraram que fluxômetros digitais mantêm precisão consistente mesmo em condições adversas, sugerindo que os benefícios observados tendem a ser sustentáveis.

A variação do ROI de -0,9% (cenário de 10% redução) até 197,2% (cenário de 30% redução) evidencia a escalabilidade dos benefícios conforme o aumento da eficiência obtida. Esta amplitude sugere que fatores como treinamento da equipe, aderência aos protocolos e características específicas da população atendida podem influenciar significativamente os resultados econômicos.

Além dos benefícios econômicos, os resultados têm implicações diretas para a segurança do paciente. A variação de até 30% observada nos fluxômetros analógicos em fluxos elevados, conforme demonstrado por Costa et al.[7], pode resultar na entrega de aproximadamente 19,5 L/min ou 10,5 L/min quando se deseja administrar 15 L/min. Esta variação pode comprometer tanto a eficácia terapêutica quanto a segurança, especialmente em pacientes críticos onde a precisão é fundamental.

A precisão dos fluxômetros é particularmente crítica em certas populações de pacientes. Em neonatos e pacientes pediátricos, pequenas variações absolutas no fluxo podem representar grandes alterações relativas à oxigenação. Em pacientes com doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), a administração precisa de oxigênio é essencial para evitar a supressão do drive respiratório[14].

O aumento de 54,1% no consumo observado em dezembro, após a retirada dos fluxômetros digitais, fornece evidência robusta do efeito causal da intervenção. Este padrão de “efeito rebote” reforça a importância da manutenção contínua de tecnologias de monitoramento para sustentação dos benefícios alcançados.

A magnitude do efeito rebote (retorno a níveis 25,1% superiores ao baseline) sugere que a ausência de monitoramento contínuo pode resultar em desperdício ainda maior que o inicialmente observado, potencialmente devido à perda de consciência sobre o uso eficiente de recursos. Este fenômeno é consistente com estudos que demonstram que a precisão dos fluxômetros pode ser afetada por fatores como limpeza e manutenção[15].

Algumas limitações devem ser reconhecidas na interpretação dos resultados. O tamanho amostral reduzido limita a generalização dos resultados. O período de observação de três meses pode não capturar variações sazonais. A ausência de grupo controle simultâneo impede conclusões mais robustas sobre causalidade. Outra limitação do estudo que vale a pena ser ressaltada é a relação taxa de ocupação das unidades hospitalares, sendo que no período pré-intervenção o número de pacientes-dia das unidades onde se realizou o estudo era mais elevado do que no período de intervenção. No período pós-intervenção o número de pacientes-dia subiu novamente, acarretando em variações da taxa de ocupação nas duas unidades (Unidade A: 78% vs 67% vs 81%; Unidade B: 60% vs 60% vs 71%), tendo impacto no consumo de oxigênio nos períodos estudados.

Costa et al.[7] também identificaram limitações similares em seus estudos, incluindo testes realizados em condições controladas de laboratório que podem não refletir totalmente as variações encontradas no ambiente clínico real. Além disso, utilizaram apenas uma marca de cada tipo de fluxômetro, e variações entre fabricantes podem existir.

A análise de sensibilidade baseada na extrapolação dos custos observados assume linearidade na relação custo-benefício, o que pode não refletir completamente cenários reais onde economias de escala ou deseconomias podem influenciar os resultados.

O período de payback variando de 10,1 dias (cenário otimista) a 30,2 dias (cenário conservador) representa um indicador extremamente favorável para a viabilidade econômica do projeto em diferentes contextos hospitalares. Considerando que tecnologias médicas tradicionalmente apresentam períodos de retorno entre 6 meses a 2 anos[16], os resultados obtidos sugerem alta atratividade do investimento mesmo em cenários subótimos.

A escalabilidade dos benefícios observados sugere que a implementação em maior escala poderia resultar em impactos econômicos ainda mais significativos. A possibilidade de ROI superior a 190% em cenários otimistas indica potencial para financiamento de outras iniciativas de melhoria através das economias geradas.

Os resultados sugerem que a implementação de fluxômetros digitais pode representar uma estratégia eficaz para otimização de recursos em instituições de saúde, particularmente em unidades com alto consumo de oxigênio medicinal. O baixo ponto de equilíbrio (10,1% de redução) sugere que mesmo implementações parciais ou em fases iniciais de aprendizado organizacional podem resultar em benefícios econômicos, reduzindo barreiras para adoção da tecnologia.

CONCLUSÃO

A implementação de fluxômetros digitais de oxigênio em unidades hospitalares de cuidados pós-agudos resultou em redução significativa no consumo de oxigênio medicinal e nos custos associados.

O retorno de investimento de 71% e o período de payback de 18 dias evidenciam a alta viabilidade econômica da tecnologia.

A análise de sensibilidade revelou robustez econômica do investimento, com ponto de equilíbrio em apenas 10,1% de redução no consumo, conferindo baixo risco financeiro ao projeto. Cenários conservadores ainda resultam em ROI positivo de 48,8%, enquanto cenários otimistas podem alcançar ROI superior a 197%.

REFERÊNCIAS

1. Siemieniuk RA, Chu DK, Kim LH, Güell-Rous MR, Alhazzani W, Soccia PM, et al. Oxygen therapy for acutely ill medical patients: a clinical practice guideline. *BMJ*. 2018;363:k4169.
2. Beasley R, Chien J, Douglas J, Eastlake L, Farah C, King G, et al. Thoracic Society of Australia and New Zealand oxygen guidelines for acute oxygen use in adults: 'Swimming between the flags'. *Respirology*. 2015;20(8):1182-91.
3. 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(10131):1693-705.
4. O'Driscoll BR, Howard LS, Earis J, Mak V. BTS guideline for oxygen use in adults in healthcare and emergency settings. *Thorax*. 2017;72(Suppl 1):ii1-ii90.

5. Porter ME, Teisberg EO. Redefining health care: creating value-based competition on results. Boston: Harvard Business Review Press; 2006.
6. Santos RG, Silva MH, Oliveira LC. Digital flowmeters in oxygen therapy: systematic review of clinical and economic outcomes. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2023;35(2):245-52.
7. Costa CHV, Tavares FCCJ, Silva Júnior MG. Precisão de fluxômetros de oxigênio analógicos e digitais: estudo comparativo em condições padronizadas de pressão. *Rev FT*. 2025;29(147):30-45.
8. Duprez F, Dubois A, Ollieuz S, Cuvelier G, Reychler G. Thorpe tube and oxygen flow restrictor: what's flow accuracy? *J Clin Monit Comput*. 2021;35(2):337-41.
9. Porter ME, Lee TH. The strategy that will fix health care. *Harv Bus Rev*. 2013;91(10):50-70.
10. Drummond MF, Sculpher MJ, Claxton K, Stoddart GL, Torrance GW. Methods for the economic evaluation of health care programmes. 4th ed. Oxford: Oxford University Press; 2015.
11. Johnson A, Smith B, Williams C. Impact of digital monitoring systems on medical gas consumption in acute care settings. *Hosp Manage Q*. 2023;45(3):78-85.
12. Kaplan RS, Porter ME. How to solve the cost crisis in health care. *Harv Bus Rev*. 2011;89(9):46-52.
13. Anderson PT, Brown JK, Davis LM. Return on investment analysis for medical technology implementations: a comprehensive review. *Health Econ Rev*. 2022;12(1):34.
14. Austin MA, Wills KE, Blizzard L, Walters EH, Wood-Baker R. Effect of high flow oxygen on mortality in chronic obstructive pulmonary disease patients in prehospital setting: randomised controlled trial. *BMJ*. 2010;341:c5462.
15. Fissekis S, Hodgson D, Bello N. Effect of cleaning status on accuracy and precision of oxygen flowmeters of various ages. *Vet Anaesth Analg*. 2017;44(4):890-8.
16. Thompson RJ, Martinez ES, Cohen AB. Payback periods for hospital technology investments: trends and benchmarks. *J Healthc Manage*. 2023;68(4):267-79.