Avaliação da Concordância entre a Saturação de Oxigênio Calculada e Mensurada em Amostras Arteriais e Venosas de Pacientes com COVID-19

Assessing the Agreement Between Calculated and Measured Arterial and Venous Oxygen Saturation in COVID-19 Patients

Daniel Ferreira Guilherme[1], Carlos Eduardo da Silva Gonçalves[2], Marlene de Freitas Madeira[3], Ricardo Ambrosio Fock[4]

[1,3] Hospital Universitário da Universidade de São Paulo, Brasil, Divisão de Laboratório Clínico, Departamento de Farmácia e Laboratório Clínico. São Paulo, SP, Brasil.

[2,4] Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, Brasil, Laboratório de Hematologia Experimental, Departamento de Análises Clínicas e Toxicológicas. São Paulo, SP, Brasil.

Resumo

A pandemia da doença por Coronavírus 2019 (COVID-19) destacou a necessidade de monitoramento eficaz de condições respiratórias, como a hipóxia. Entre os parâmetros relevantes relacionados à oxigenação, o exame de gasometria pode ser utilizado para avaliar a oxigenação, o equilíbrio ácido-base e a saturação periférica de oxigênio (SpO_2). A SpO_2 pode ser calculada a partir da pressão parcial de oxigênio (pO_2) ou medida diretamente por meio de tecnologia fotométrica. Este estudo comparou a SpO_2 calculada e medida em amostras arteriais e venosas de 54 pacientes com diagnóstico positivo para COVID-19. Amostras de sangue arterial e venoso foram analisadas em equipamento automatizado de gasometria, e os resultados foram comparados dentro de uma margem de erro aceitável de 10%. A comparação da SpO_2 venosa apresentou um coeficiente de correlação (R) de 0,9840, com um índice médio de erro de -0,06 e erro padrão estimado de 2,4. A comparação da SpO_2 arterial mostrou um R de 0,9291, com índice médio de erro de -0,06 e erro padrão estimado de 1,5. Embora a SpO_2 medida ofereça maior precisão, seu alto custo limita o acesso em ambientes com poucos recursos. Nossos achados demonstram que ambos os métodos são comparáveis na maioria dos casos de COVID-19 e sugerem que métodos calculados, mais econômicos, permanecem valiosos em contextos com recursos limitados.

Palavras-chave: COVID-19, análise de gases sanguíneos, saturação periférica de oxigênio (SpO_2).

Abstract

The Coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic highlighted the need for effective monitoring of respiratory conditions like hypoxemia. Among relevant parameters relating to the functioning of oxygenation, Blood gas can be utilized to evaluate oxygenation, acid-base status, and peripheral oxygen saturation (SpO_2). SpO_2 can be calculated from pO_2 or measured directly using photometric technology. This study compares calculated and measured SpO_2 in arterial and venous samples from 54 COVID-19-positive patients. Arterial and venous blood samples were analyzed using a blood gas analyzer and results were compared within an allowable error of 10%. Venous SpO_2 comparison yielded a correlation coefficient (R) of 0.9840, with an average error index of -0.06 and a standard error estimate of 2.4. Arterial SpO_2 comparison showed an R of 0.9291, with an average error index of -0.06 and a standard error estimate of 1.5. While measured SpO_2 offers superior precision, its high cost limits accessibility in resource-constrained settings. Our findings demonstrate that both methods are comparable in most COVID-19 cases and suggest that cost-effective calculated methods remain valuable in low-resource contexts.

Keywords: COVID-19, Blood gas analysis, Peripheral oxygen saturation (SpO_2).

Correspondência
Ricardo Ambrosio Fock
E-mail: hemato@usp.br

Recebido em 27/03/2025 | Aprovado em 18/08/2025 | DOI: 10.21877/2448-3877.202500228.pt

INTRODUÇÃO

Durante o ano de 2020, o mundo foi surpreendido pela pandemia da doença do coronavírus 2019 (COVID-19).[1] Apesar de inúmeros esforços globais, o Coronavírus da Síndrome Respiratória Aguda Grave 2 (SARS-CoV-2) desencadeou uma pandemia de grandes proporções, resultando em milhões de infecções e mortes em diferentes países.[1] Naturalmente, a súbita escalada de infecções por um vírus até então desconhecido impôs diversos desafios à saúde pública.[2,3] Entre eles destacam-se o conhecimento limitado sobre o tratamento dos casos de COVID-19, a redução da disponibilidade de profissionais de saúde em consequência das infecções em curso, a falta de marcadores diagnósticos custo-efetivos para o manejo da doença, entre outros.[1,2] Uma parcela significativa dos pacientes com COVID-19 desenvolve comprometimento respiratório decorrente da síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA), o que resulta em hipoxemia.[1]

A análise de gases sanguíneos é utilizada para medir as concentrações de oxigênio e avaliar distúrbios no equilíbrio ácido-base, na oxigenação sanguínea e na ventilação alveolar. Trata-se também de uma etapa fundamental no diagnóstico, pois permite a avaliação tanto de condições respiratórias quanto metabólicas, sendo um dos métodos mais utilizados em ambientes de emergência e terapia intensiva.[4]

As análises de gases sanguíneos medem o potencial hidrogeniônico (pH), determinando o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade do sangue.[4,5] A pressão parcial de dióxido de carbono (pCO_2) reflete a eficácia da ventilação alveolar, enquanto a pressão parcial de oxigênio (pO_2) indica a eficiência da troca gasosa entre os alvéolos pulmonares e os capilares.[4,5] Os íons bicarbonato (HCO_3^-) participam do sistema tampão do sangue, auxiliando na manutenção da homeostase ácido-base.[4,5] A saturação da oxi-hemoglobina (SpO_2) mede a porcentagem de hemoglobina no sangue que está ligada ao oxigênio.[4,5]

A SpO_2 é um indicador-chave da eficácia do transporte de oxigênio para os tecidos e órgãos.[6,7] Essa informação é essencial para a avaliação da função respiratória e cardiovascular, para o diagnóstico de condições clínicas e para orientar decisões terapêuticas.[6,7] No entanto, existem diferenças nas tecnologias utilizadas para determinar a SpO_2. Ela pode ser estimada matematicamente a partir da pO_2 e da curva de dissociação da oxi-hemoglobina, ou medida diretamente por meio de tecnologia fotométrica, que fornece dados precisos em tempo real.[8,9]

Nesse contexto, reconhecendo que o monitoramento preciso do O_2 em pacientes com COVID-19 é essencial para intervenções adequadas, e considerando que existem dois métodos distintos — calculado *versus* medido — para determinar a SpO_2, este estudo compara ambos os métodos com o objetivo de avaliar sua aplicabilidade no monitoramento da COVID-19, uma área que permanece pouco explorada. Assim, descrevemos a comparação entre a saturação de oxigênio arterial e venosa calculada e medida.

MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo incluiu homens e mulheres com mais de 18 anos de idade, com sintomas de COVID-19, admitidos no pronto-socorro e na UTI de um hospital secundário entre junho de 2020 e abril de 2021. Como o processo de vacinação contra a COVID-19 teve início em janeiro de 2021, a maioria das amostras representa a primeira onda da pandemia. Os pacientes tiveram o diagnóstico de COVID-19 confirmado por RT-PCR (transcrição reversa seguida de reação em cadeia da polimerase). As amostras foram selecionadas mediante consentimento dos pacientes, e o estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Hospital Universitário da Universidade de São Paulo, em conformidade com a Declaração de Helsinque (CAAE: 47667421.6.0000.0076).

O estudo incluiu pacientes infectados pelo SARS-CoV-2, todos com coleta simultânea de amostras de sangue arterial e venoso. Pacientes com ou sem hipoxemia foram incluídos. Os critérios de exclusão foram indivíduos com idade inferior a 18 anos e amostras de sangue coletadas de vasos que não fossem artérias ou veias. Para cada paciente, as amostras arteriais e venosas foram analisadas simultaneamente por meio de um analisador automatizado de gases sanguíneos (GEM Premier™ 4000, Werfen, Espanha). A SpO_2 calculada foi obtida pelo equipamento com o eletrodo específico para essa medição desativado. Posteriormente, após a ativação do eletrodo, a SpO_2 também foi medida diretamente.

Para o monitoramento do oxigênio venoso, foram analisadas 51 amostras, com valores variando de 45% a 96%. Para o monitoramento do oxigênio arterial, foram analisadas 35 amostras, com valores variando de 83% a 100%. Os dados brutos foram tabulados, e as correlações entre os valores calculados e medidos foram analisadas utilizando-se o módulo *Two-Instrument Comparison* do software EP Evaluator (Data Innovations, EUA), que fornece o coeficiente de correlação, o erro padrão da estimativa e o índice de erro. Esse módulo

aplica uma abordagem direta para a comparação entre dois métodos, sem o uso de regressão linear. Os métodos X e Y são considerados equivalentes dentro do erro total permitido quando, para cada amostra, a diferença entre ambos não excede o erro total aceitável.

Tanto os dados arteriais quanto os venosos foram submetidos a um erro total permitido de 10%, estabelecido com base no coeficiente de variação histórico do desempenho do sistema analítico (GEM Premier™ 4000, Werfen, Espanha), calculado a partir da variação longitudinal dos resultados laboratoriais ao longo do tempo.

Adicionalmente, o teste *t* de Student foi utilizado para comparar as amostras calculadas e medidas. O nível de significância estatística foi definido como $p \leq 0,05$ (intervalo de confiança de 95%). As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software GraphPad Prism® (GraphPad Software Inc., EUA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao comparar a saturação venosa de oxigênio medida *versus* calculada, os resultados mostraram um índice médio de erro de –0,06, variando de –0,63 a 0,77. O coeficiente de correlação (R) foi de 0,9840, com erro padrão da estimativa de 2,4 nas amostras venosas. Em relação às comparações arteriais, a análise revelou um índice médio de erro de –0,06, variando de –0,41 a 0,21. As amostras arteriais também apresentaram forte correlação, com R de 0,9291 e erro padrão estimado de 1,5. Assim, não foi observada diferença estatística entre os resultados das amostras medidas e calculadas (Figura 1).

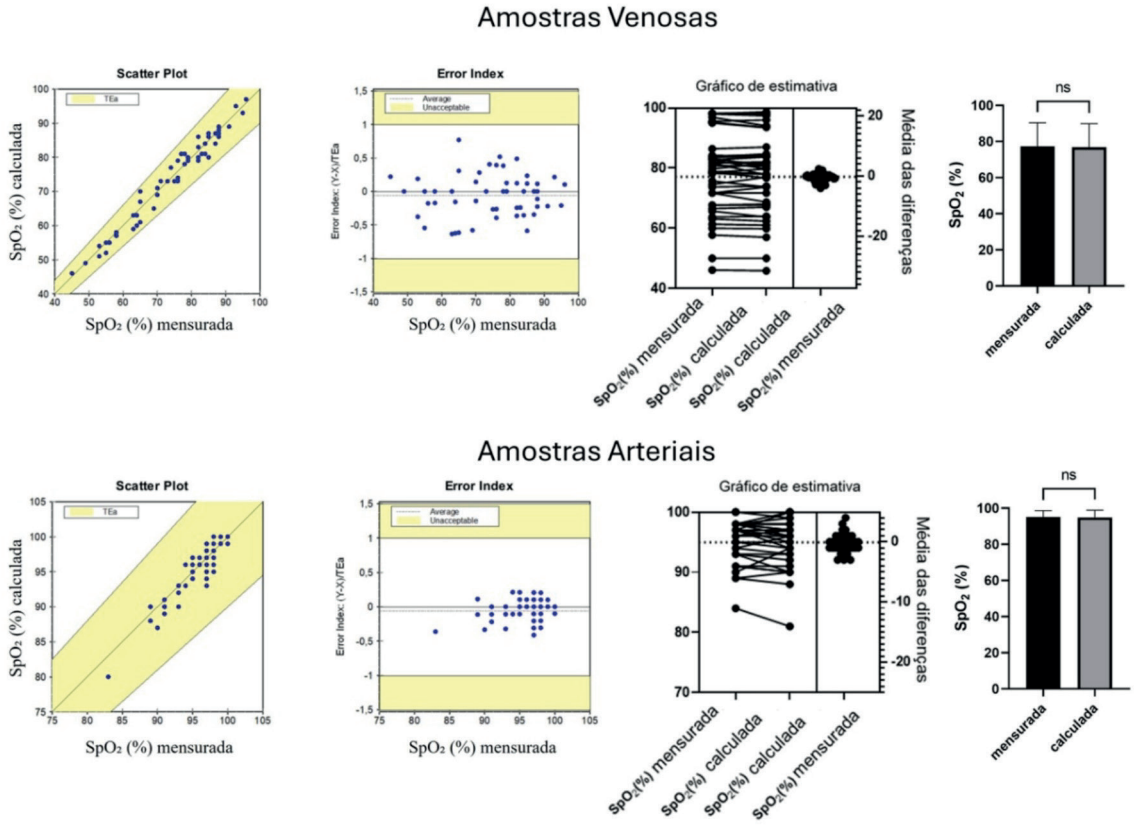


Figura 1

Concordância entre a saturação de oxigênio calculada e medida em amostras arteriais e venosas

Legenda: Gráficos de dispersão, índices de erro, gráficos de estimativa e resultados expressos como média ± DP para SpO_2 medida e calculada são apresentados. Conforme observado nos gráficos, tanto as amostras de sangue venoso quanto arterial demonstraram uma forte correlação no parâmetro SpO_2, seja calculado ou medido, sem diferença estatisticamente significativa entre os dois métodos.

Dependendo do analisador de gases sanguíneos utilizado, a SpO_2 é medida diretamente por meio de tecnologia fotométrica ou calculada a partir da pO_2 medida.[8] Diversos estudos na literatura demonstram que é preferível medir a SpO_2 em vez de calculá-la.[6,9,10] No entanto, apenas analisadores modernos de gases sanguíneos incorporam a tecnologia necessária para a medição direta da SpO_2. Esses equipamentos apresentam maior precisão e exatidão, porém têm custo mais elevado quando comparados aos aparelhos que calculam a SpO_2.[6,9]

Antes do desenvolvimento de analisadores de gases sanguíneos com tecnologia fotométrica integrada, a SpO_2 só podia ser determinada por meio de cálculos a partir da pO_2 medida durante a gasometria. Ainda hoje, muitos analisadores de gases sanguíneos em uso não possuem tecnologia fotométrica, sendo comum a utilização de valores de SpO_2 calculados na prática clínica.[5,6,8]

Diante disso, e considerando especialmente que essas tecnologias avançadas ainda não estão amplamente disponíveis em muitos serviços de saúde, particularmente em regiões com poucos recursos ou em países mais pobres, este estudo teve como objetivo comparar ambas as tecnologias e avaliar sua reprodutibilidade na determinação da SpO_2 em pacientes positivos para COVID-19.

Antes de discutir nossos resultados, é importante destacar que equipamentos que medem a SpO_2 utilizam a absorção de luz em comprimentos de onda específicos para fornecer medições precisas dos derivados da hemoglobina, como oxi-hemoglobina (HbO_2), desoxi-hemoglobina, carboxi-hemoglobina (HbCO) e meta-hemoglobina (MetHb). Esses parâmetros não são medidos por equipamentos que calculam a SpO_2.[11,12]

Isso é particularmente relevante porque, em indivíduos saudáveis, a soma de HbCO e MetHb corresponde a menos de 5% da hemoglobina total. Consequentemente, a concentração total de hemoglobina reflete predominantemente os níveis de oxi-hemoglobina e desoxi-hemoglobina.[11,12] Entretanto, determinadas patologias, como intoxicação por monóxido de carbono e meta-hemoglobinemia, caracterizam-se por um aumento substancial de HbCO ou de MetHb, o que compromete significativamente a capacidade do sangue de transportar oxigênio. Por meio da análise da absorção de luz em múltiplos comprimentos de onda específicos em uma amostra hemolisada, é possível medir com precisão as concentrações das quatro espécies de hemoglobina.[11]

Por outro lado, os equipamentos que calculam a SpO_2 não medem diretamente esses derivados da hemoglobina. Em vez disso, a SpO_2 é estimada por meio de fórmulas matemáticas baseadas na pO_2 medida e em sua relação com a curva de dissociação do oxigênio sob condições padronizadas (pH 7,4; pCO_2 de 40 mmHg; concentração de 2,3-difosfoglicerato (2,3-DPG); e temperatura de 37°C). Dessa forma, fica evidente que um aumento na proporção de dis-hemoglobinas (HbCO e MetHb) ou desvios dessas condições padrão podem impactar significativamente a acurácia dos valores de SpO_2 calculados.[6,8,10]

Embora os métodos calculados forneçam estimativas de SpO_2 suficientemente precisas para a maioria dos pacientes, é importante ressaltar que indivíduos com distúrbios ácido-base graves, alterações significativas da temperatura corporal (hipotermia ou hipertermia), níveis anormais de 2,3-DPG ou aumento expressivo de dis-hemoglobinas podem apresentar resultados imprecisos de SpO_2.[4,6,12,13]

Retomando nossos achados, não observamos diferenças entre a SpO_2 calculada e medida em pacientes com COVID-19. Contudo, é fundamental enfatizar que, embora tenha sido observada correlação entre os dois métodos em nossos resultados, não é possível assumir que correlações semelhantes ocorram em pacientes com COVID-19 que apresentem dis-hemoglobinemias ou outros fatores capazes de alterar a curva de dissociação do oxigênio. Isso representa uma limitação do nosso estudo, uma vez que variações nesses parâmetros ou a presença de dis-hemoglobinas não foram avaliadas.

Assim, nossos resultados sugerem que ambos os métodos de monitoramento da SpO_2 podem ser utilizados de forma eficaz na prática clínica. No entanto, é importante destacar que, em casos de hipóxia moderada, com rápida deterioração clínica e sob suporte ventilatório mecânico, a SpO_2 medida oferece melhor suporte, reflete de forma mais acurada e orienta com maior confiabilidade tanto o diagnóstico quanto o manejo clínico. Esse aspecto tem grande relevância para os desfechos clínicos primários.[4,6,7] Essa constatação é particularmente importante para profissionais de saúde que atuam em contextos com recursos limitados, nos quais o acesso a ferramentas diagnósticas avançadas é restrito. Dessa forma, a implementação de métodos custo-efetivos para o monitoramento da saturação de oxigênio pode auxiliar no manejo da COVID-19, especialmente em cenários subdesenvolvidos.

CONCLUSÃO

Em conclusão, nossos achados demonstram forte correlação e erro mínimo entre os valores de SpO_2 medida e calculada, tanto em amostras venosas quanto arteriais de pacientes com COVID-19, sugerindo que ambos os métodos podem ser utilizados de forma eficaz na prática clínica sob condições fisiológicas padrão. No entanto, embora a SpO_2 calculada represente uma alternativa custo-efetiva, especialmente valiosa em cenários com recursos limitados, ela pode apresentar menor acurácia em pacientes com dis-hemoglobinemias, desequilíbrios ácido-base ou alterações na curva de dissociação do oxigênio. Dessa forma, em pacientes criticamente enfermos ou naqueles que necessitam de monitoramento preciso da oxigenação, a medição direta permanece a opção mais confiável para orientar decisões clínicas e melhorar os desfechos.

REFERÊNCIAS

1. Lamers MM, Haagmans BL. SARS-CoV-2 pathogenesis. Nat Rev Microbiol 2022;20:270-84. doi:10.1038/s41579-022-00713-0.
2. Smereka J, Szarpak L. COVID 19 a challenge for emergency medicine and every health care professional. The American Journal of Emergency Medicine 2020;38:2232-3. doi:10.1016/j.ajem.2020.03.038.
3. Sorbello M, Greif R. COVID-19 pandemic: A multifaceted challenge for science and healthcare. Trends in Anaesthesia and Critical Care 2020;34:1-3. doi:10.1016/j.tacc.2020.08.009
4. Korpi-Steiner N, Horowitz G, Tesfazghi M, Suh-Lailam BB. Current Issues in Blood Gas Analysis. J Appl Lab Med. 2023 Mar 6;8(2):372-381. doi: 10.1093/jalm/jfac080.
5. Yee J, Frinak S, Mohiuddin N, Uduman J. Fundamentals of Arterial Blood Gas Interpretation. Kidney 360. 2022 Jun 3;3(8):1458-1466. doi: 10.34067/KID.0008102021.
6. Johnson P, Bihari D, Raper R et al. A comparison between direct and calculated oxygen saturation in intensive care. Anaesth Intensive Care 1993; 21: 72-75.
7. Carvalho EB, Leite TRS, Sacramento RFM, Nascimento PRLD, Samary CDS, Rocco PRM, Silva PL. Rationale and limitations of the SpO2/FiO2 as a possible substitute for PaO2/FiO2 in different preclinical and clinical scenarios. Rev Bras Ter Intensiva. 2022 Jan-Mar;34(1):185-196. doi: 10.5935/0103-507X.20220013-pt.
8. Breuer HW, Groeben H, Breuer J, Worth H. Oxygen saturation calculation procedures: a critical analysis of six equations for the determination of oxygen saturation. Intensive Care Medicine 1989; 15: 385-89.
9. Mybergh J. Derived oxygen saturations are not clinically useful for the calculation of oxygen consumption. Anaesth Intensive Care 1992; 20: 460-463.
10. Woda R, Dzwonczyk R, Orlowski J et al. Effect of measurement error on calculated variables of oxygen transport. J Applied Physiol 1996; 80: 559-63.
11. Hess D, Elser R, Agarwal N. The effects on the pulmonary shunt value of using measured versus calculated saturation and of correcting for the presence of carboxyhemoglobin and methemoglobin. Respiratory Care 1984; 29: 1001-05.
12. Gothgen I, Siggard-Anderson O, Kokholm G. Variations in the hemoglobin dissociation curve in 10079 arterial blood samples. Scand J Clin Lab Invest 1990; 50, 203: 87-90.
13. Morgan T. The oxyhaemoglobin dissociation curve in critical illness. Critical Care and Resuscitation 1999; 1: 93-100.