

## **XXIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 11 a 15/09/2017 – Rio Grande - RS**

# **INFLUÊNCIA DO MATERIAL DE ADIÇÃO NA GEOMETRIA DE CORDÕES DE SOLDA DEPOSITADOS PELO PROCESSO MIG/MAG**

**Amanda Tavares**

**Aryel Mesquita**

**Daniel Souza**

Universidade Federal do Rio Grande, Escola de Engenharia, Laboratório de Pesquisa em Engenharia da Soldagem

Av. Itália Km 8, Campus Carreiros, Rio Grande-RS

amandatavares@furg.br

aryelmesquitamoura@hotmail.com

danielsouza@furg.br

**RESUMO:** Operações de revestimento por soldagem são muito utilizadas com objetivo de revestir aços comuns ao carbono com materiais mais nobres com intuito de aumento de resistência à corrosão e/ou desgaste. A geometria do cordão é um importante parâmetro a ser avaliado para o sucesso da aplicação de revestimentos. Se os cordões forem demasiadamente convexas (alta molhabilidade) descontinuidades podem ocorrer. Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito do tecimento e do gás de proteção na geometria dos cordões para depósitos de Inconel 625 (ERNiCrMo-3) e aço (ER70S-6) sobre chapas de aço comum ao carbono. A metodologia utilizada foi a realização de cordões com e sem tecimento variando a quantidade de CO<sub>2</sub> no gás de proteção; 100% Ar, Ar + 8% CO<sub>2</sub>, Ar + 25% CO<sub>2</sub>. Os resultados mostraram que o tecimento aumenta a molhabilidade do cordão para qualquer condição testada e que o gás de proteção influi de maneira diferente dependendo do material de adição utilizado.

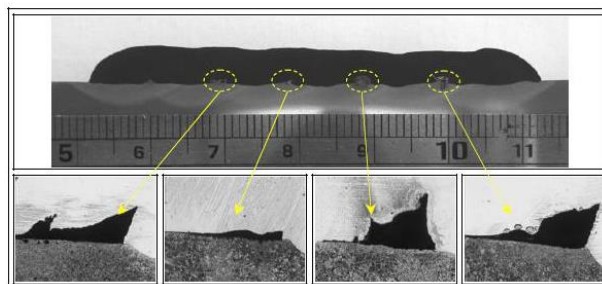
**Palavras-Chave:** Soldagem MIG/MAG; molhabilidade; Inconel 625

**ABSTRACT:** Welding overlay operations are widely used to coat common carbon steels with more noble materials to increase corrosion and/or wear resistance. Weld bead geometry is an important parameter to be evaluated for the successful application of coatings. If the beads are too convex (high wettability) discontinuities may occur. Thus, the present study aims to evaluate the effect of the weaving and the shielding gas on the geometry of Inconel 625 (ERNiCrMo-3) and steel (ER70S-6) deposits on carbon steel plates. The methodology used was the realization of weld bead with and without weaving varying the amount of CO<sub>2</sub> in the shielding gas; 100% Ar, Ar + 8% CO<sub>2</sub>, Ar + 25% CO<sub>2</sub>. The results showed that the weaving increases the wettability of the weld bead to any condition tested and that the shielding gas influences differently depending on the filler material used.

**Keywords:** MIG/MAG welding; Wettability; Inconel 625

## **INTRODUÇÃO**

A aplicação de revestimentos por soldagem é uma forma muito utilizada de se depositar um material mais nobre sobre outro normalmente com a finalidade de aumentar a resistência à corrosão e/ou ao desgaste. Porém, a operação de revestimento por soldagem não é um processo muito simples, pois implica na deposição de um material normalmente com composição química bem diferente do material de base. Essa diferença entre os dois materiais pode gerar problemas de geometria inadequada do cordão, como por exemplo, baixa molhabilidade. Silva (2010) estudou revestimentos de ligas de níquel sobre um substrato de aço carbono e encontrou falta de fusão na ligação entre um cordão e outro em alguns dos testes realizados (Fig. 1). Tais defeitos foram causados devido à baixa molhabilidade dos cordões (alta convexidade) que impedia a perfeita sobreposição dos cordões.

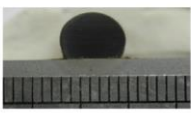
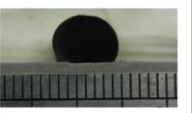
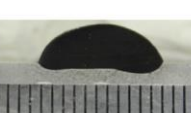
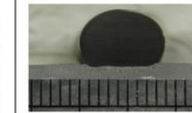
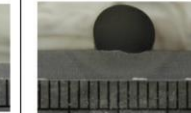


**Figura 1.** Detalhe mostrando falta de fusão entre passes em um revestimento de Inconel 625 sobre aço carbono (SILVA, 2010)

A molhabilidade do cordão de solda pode ser afetada por diversos parâmetros ou condições de soldagem. Zilio *et al.* (2014) estudaram, entre outros parâmetros, a influência do tecimento e do gás de proteção sobre a molhabilidade e diluição dos cordões realizando depósitos de uma liga de níquel e de um aço inoxidável austenítico sobre aço carbono com o processo MIG/MAG. Os resultados mostraram que o uso da técnica de tecimento aumenta significativamente a molhabilidade do cordão e que o uso de gás de proteção com maior teor de  $\text{CO}_2$  ( $\text{Ar}+25\%\text{CO}_2$  contra  $\text{Ar}+8\%\text{CO}_2$ ) também aumentou a molhabilidade.

A influência do gás de proteção na molhabilidade se deve principalmente a dois fatores; a temperatura e a composição química do gás. Segundo Scotti & Ponomarev (2008), gases moleculares necessitam de energia para dissociar e depois ionizar para formação do arco elétrico, energia esta que depois é entregue a peça na forma de calor. Ainda segundo Scotti & Ponomarev (2008) o potencial de ionização (dado pela composição química) afeta a molhabilidade, pois afeta a tensão superficial entre o metal fundido e o meio em sua volta. Gases com baixo potencial de ionização reduzem a molhabilidade e favorecem a produção de cordões irregulares e convexos.

Nunes *et al.* (2015) realizam um estudo utilizando o processo Plasma com alimentação de pó para revestimentos de dutos C-Mn com um aço inoxidável superduplex, onde variaram a energia de soldagem pela alteração de dois parâmetros; a corrente de soldagem e a velocidade de soldagem. Eles obtiveram como resultado que o aumento da corrente de soldagem aumentava a molhabilidade do cordão, enquanto que a diminuição da velocidade de soldagem apresentou efeito menos pronunciado (Fig. 2). Por hipótese, como não houve alteração do gás de proteção, a temperatura deveria mudar com a mudança na energia de soldagem, porém, os resultados apresentados pelos autores indicam que a relação entre energia de soldagem x temperatura é dependente dos parâmetros que governam a energia de soldagem.

1	2	3	4	5
				
I = 75 A	I = 100 A	I = 150 A	I = 100 A	I = 100 A
Vs = 9 cm/min	Vs = 9 cm/min	Vs = 9 cm/min	Vs = 6 cm/min	Vs = 12 cm/min
E = 11,7 kJ/cm	E = 15,6 kJ/cm	E = 23,5 kJ/cm	E = 23,5 kJ/cm	E = 11,7 kJ/cm

**Figura 2.** Macrografia da seção transversal dos cordões, I=corrente de soldagem; Vs=velocidade de soldagem; E=energia de soldagem (NUNES *et al.*, 2015)

Schafranski (2016) mostra a influência do potencial de oxidação na molhabilidade do cordão de solda. Em um estudo utilizando o processo MIG/MAG o autor realizou soldagens do tipo cordão sobrechapa usando com gás de proteção misturas que continham  $\text{H}_2$  e  $\text{CO}_2$  contrabalanceadas com Ar. O autor mostrou que as misturas que continham maiores teores de  $\text{CO}_2$  misturadas ou não com  $\text{H}_2$  produziram cordões com maior molhabilidade, apesar da misturas com  $\text{H}_2$  teoricamente formarem arcos mais quentes (maior potencial de ionização do H). Isto evidencia a influência do potencial de oxidação sobre a molhabilidade do cordão e sua sobreposição sobre o efeito do aumento da temperatura.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência do tecimento e da quantidade de  $\text{CO}_2$  no gás de proteção e na molhabilidade do cordão em soldagens sobrechapa com um arame-eletrodo de uma liga de níquel sobre uma chapa de aço carbono e com um arame-eletrodo de aço carbono também sobre uma chapa de aço.

## METODOLOGIA

Foram realizadas soldagens MIG/MAG em cordões sobrechapa com e sem tecimento usando como gás de proteção 100% Ar, Ar + 8% CO<sub>2</sub>, Ar + 25% CO<sub>2</sub>. A vazão do gás de proteção foi ajustada em 16 l/min medida no bocal da tocha com auxílio de um fluxômetro. As soldagens foram realizadas utilizando um arame-eletrodo de uma liga de níquel (ERNiCrMo-3) de 1,2 mm de diâmetro e um arame-eletrodo de aço (ER70S-6) também de 1,2 mm de diâmetro. O material de base utilizado para todos os testes foi uma chapa de aço comum ao carbono com espessura de 9,5 mm. Para realização das soldagens foi utilizada uma fonte inversora multiprocesso regulada para trabalhar no modo convencional. A translação da tocha foi realizada por um robô de seis graus de liberdade.

Foram realizadas três repetições para cada condição de teste, ou seja, cordões com e sem tecimento para todos os gases propostos. Os testes com uso de tecimento foram realizados com amplitude de 8 mm, frequência de 3 Hz e tipo triangular.

Para todos os testes a corrente de soldagem média foi mantida em aproximadamente 200 A. Para isto, soldagens preliminares foram realizadas ajustando-se a velocidade de alimentação de arame até a corrente desejada para cada condição gás de proteção/arame-eletrodo. A tensão de soldagem também foi ajustada para cada condição no sentido de manter visualmente o mesmo comprimento de arco. Para aquisição dos sinais de tensão e corrente foi utilizado um sistema de aquisição de dados a uma taxa de 5 kHz.

Para avaliação da molhabilidade do cordão foi utilizada a relação largura/reforço (L/R) do cordão, sendo que quanto maior esta relação maior a molhabilidade do cordão. Para medição da largura e do reforço foi utilizado um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm. Foram feitas três medidas em cada cordão, perfazendo-se nove medidas de largura e reforço para cada condição de teste.

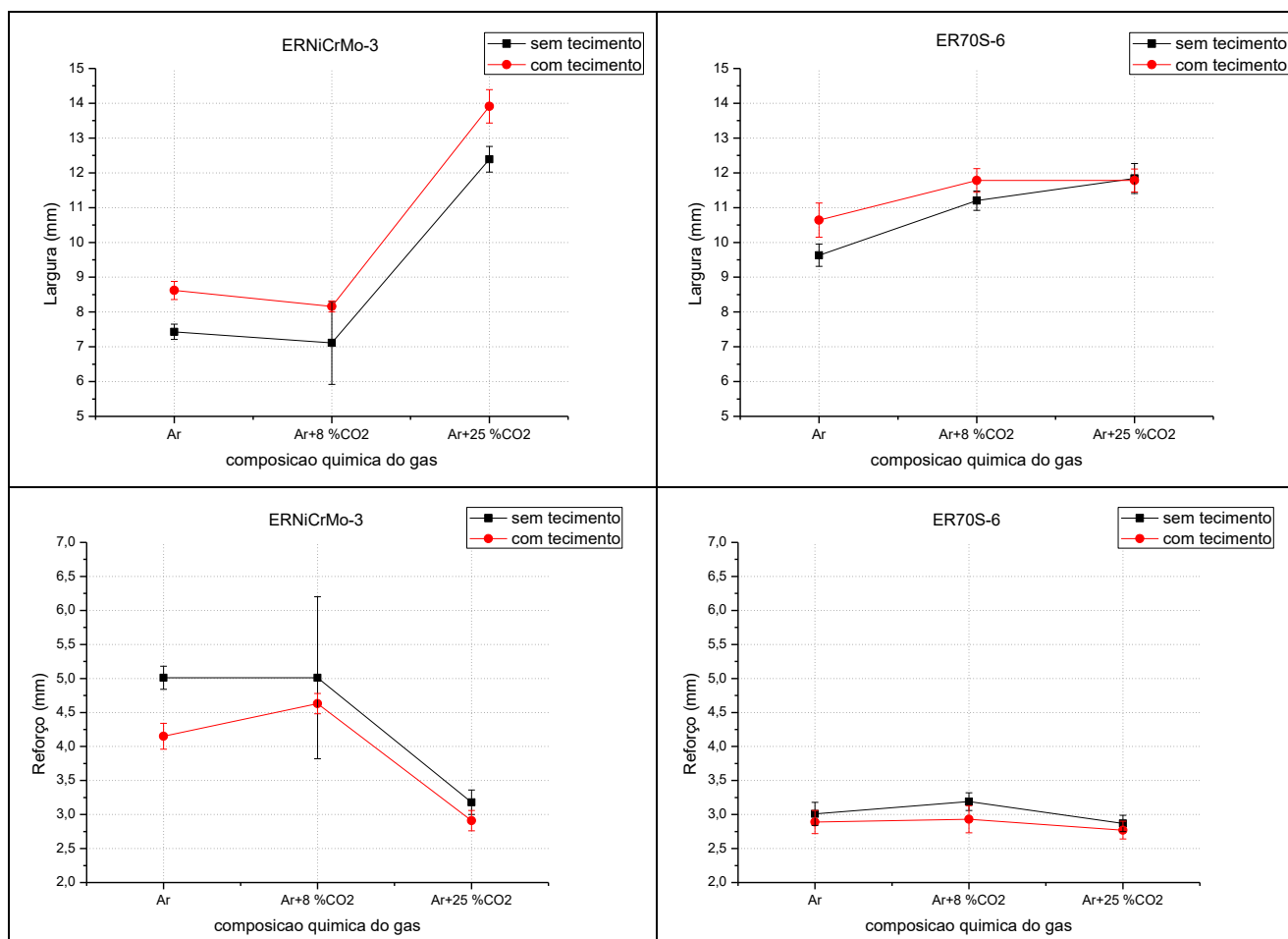
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tab. 1 apresenta os parâmetros ajustados para cada combinação gás de proteção/arame-eletrodo. Pode-se observar que o aumento da quantidade de CO<sub>2</sub> demandou maiores valores de tensão de soldagem (com ajuste visual do comprimento de arco). Além disso, pode-se observar que a velocidade de alimentação de arame ajustada para se obter a corrente desejada (~200 A) foi dependente do material do eletrodo, porém independe do gás de proteção utilizado.

**Tabela 1.** Parâmetros de soldagem ajustados para cada condição de teste proposta

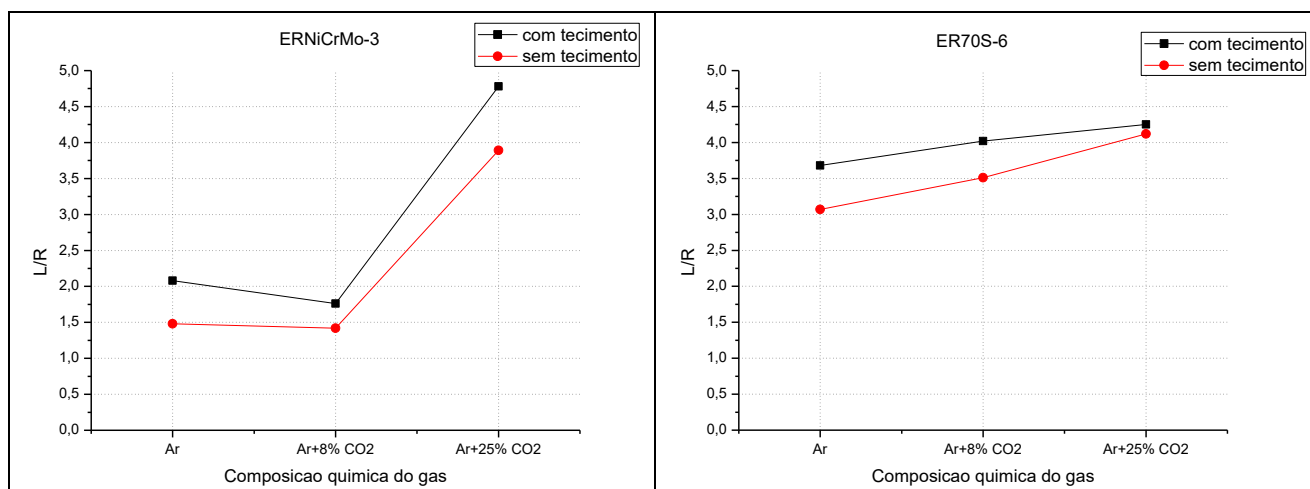
Arame-eletrodo	Gás de proteção	Ur (V)	V <sub>sold</sub> (cm/min)	V <sub>alim</sub> (m/min)	DBCP (mm)
ERNiCrMo-3 (Inconel 625)	100% Ar	22	25	7	17
	Ar+8%CO <sub>2</sub>	25	25	7	17
	Ar+25%CO <sub>2</sub>	28	25	7	17
ER70S-6 (Aço carbono)	100% Ar	23	25	4,5	17
	Ar+8%CO <sub>2</sub>	25	25	4,5	17
	Ar+25%CO <sub>2</sub>	28	25	4,5	17

A Fig. (3) mostra os valores de largura e reforço médios e o desvio padrão em função do gás de proteção e arame utilizado. No geral, observa-se que a largura dos cordões é maior e o reforço menor quando se utiliza a técnica de tecimento. O desvio padrão dos valores de largura e reforço, que indicam a regularidade geométrica dos cordões, são baixos em relação à média em todas as condições, exceto na condição usando arame de Inconel, sem tecimento e gás de proteção Ar+8% CO<sub>2</sub>.



**Figura 3.** Valores de largura e reforço médios e desvio padrão em função do gás de proteção e arame-eletrodo

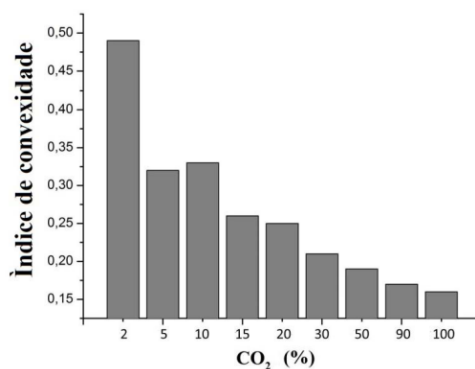
A Fig. (4) mostra os valores da relação L/R nas condições de operação com e sem tecimento para os gases propostos. Para os cordões realizados com o arame ERNiCrMo-3 (Inconel 625) pode-se observar que a adição de 8% de CO<sub>2</sub> não aumentou a molhabilidade em relação ao Ar puro, pelo contrário houve uma pequena diminuição. Por outro lado, com o aumento da quantidade de CO<sub>2</sub> para 25% ocorreu um aumento significativo da molhabilidade. Tal comportamento não se repete nos cordões realizados com arame ER70S-6, nos quais o aumento do teor de CO<sub>2</sub> provoca aumento na molhabilidade do cordão. Em relação ao uso do tecimento o resultado mostra que o tecimento melhora a molhabilidade independente do gás utilizado em todas as condições testadas, exceto para o arame de aço usando Ar+25%CO<sub>2</sub>, no qual o tecimento teve pouca influência.



**Figura 4.** Relação L/R em função do gás de proteção e arame-eletrodo

Em resumo, os resultados mostram que a relação entre o potencial de oxidação do gás (dado pelo teor de CO<sub>2</sub>) e a molhabilidade do cordão (L/R) é dependente dos materiais envolvidos. No caso do presente estudo, quando se depositou aço carbono (ER70S-6) sobre uma chapa também de aço, o comportamento foi o esperado, porém, na condição de depósito de Inconel (ERNiCrMo-3) sobre chapa de aço ocorreu um comportamento não esperado. Podem-se levantar hipóteses para o ocorrido; diferentes materiais de adição se comportam de maneira diferente no que tange a relação potencial de oxidação x molhabilidade e em soldagens dissimilares (ERNiCrMo-3 sobre aço) ocorre uma modificação na relação potencial de oxidação x molhabilidade.

Apesar de no presente estudo o arame de aço mostrar um comportamento de aumento da molhabilidade com o aumento da quantidade de CO<sub>2</sub> no gás de proteção, Liskevych (2010) estudou depósitos usando o mesmo arame de aço (ER70S-6) sobre aço comum ao carbono e encontrou uma anomalia entre 5 e 15% CO<sub>2</sub> na relação entre a molhabilidade (atentar que no caso do trabalho dessa autora a relação foi inversa, ou seja, R/L) e a quantidade de CO<sub>2</sub> no gás de proteção (Fig. 4). Dentro dessa faixa de teor de CO<sub>2</sub> ocorreu uma diminuição da molhabilidade (mostrado na figura para 10% CO<sub>2</sub>) contrariando a tendência ocorrida com os outros teores de CO<sub>2</sub> utilizados nos testes. Como no presente estudo não foi avaliado mais teores de CO<sub>2</sub> no gás, tal comportamento visto pela autora em questão, não foi observado para o arame de aço carbono. Surge, assim, uma dúvida sobre a relação da molhabilidade em função do potencial de oxidação do gás. No caso do CO<sub>2</sub> tal relação pode depender da quantidade de CO<sub>2</sub> presente no gás, mas também da composição química do material de adição utilizado.



**Figura 5.** Índice de convexidade (R/L – valores maiores indicam menor molhabilidade) em função do teor de CO<sub>2</sub> no gás de proteção (LISKEVYCH, 2010)





**XXIV CREEM**  
Congresso Nacional de Estudantes  
de Engenharia Mecânica



**Universidade Federal  
do Rio Grande**



**INSTITUTO FEDERAL**  
**RIO GRANDE DO SUL**  
Campus Rio Grande

## CONCLUSÃO

Para os materiais e condições utilizadas neste trabalho, pode-se concluir que:

- O uso da técnica de tecimento aumentou a molhabilidade independente do gás de proteção ou arame-eletrodo utilizado;
- Para depósitos com arame de aço (ER70S-6) sobre aço carbono o aumento do teor de  $\text{CO}_2$  no gás de proteção aumentou a molhabilidade dos cordões, porém, para depósitos de Inconel (ERNiCrMo-3) sobre aço carbono ocorreu uma diminuição da molhabilidade para Ar+8%  $\text{CO}_2$  quando comparado com 100% Ar e aumento expressivo da molhabilidade quando se utilizou Ar+25%  $\text{CO}_2$ , evidenciando que nem sempre há uma relação proporcional entre o potencial de oxidação (dado pelo teor de  $\text{CO}_2$ ) e a molhabilidade do cordão.

## AGRADECIMENTOS

Os autores do trabalho gostariam de agradecer ao Laboratório de Pesquisa em Engenharia da Soldagem da Universidade Federal do Rio Grande (LaPES/FURG) pela disponibilização da infraestrutura e consumíveis para realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Silva, C. C. Revestimentos de Ligas de Níquel Depositados pelo Processo TIG com Alimentação de Arame Frio – Aspectos Operacionais e Metalúrgicos. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará. 2010. 355p.
- Nunes, E. B.; Cavalcante, N. E.; Barreto, A. S.; Silva, A. I. N.; Motta, M. F. Avaliação do Efeito da Energia de Soldagem na Deposição de Aço Inoxidável Superduplex pelo Processo Plasma Pó. Soldagem e Inspeção. Vol.20. Nº 2. p. 205-218. 2015.
- Schafranski, L. L. Efeitos do Hidrogênio e Dióxido de Carbono em Misturas à Base de Argônio e da Bitola de Arame Quanto Aos Aspectos de Produtividade e Qualidade de Soldas Realizadas Pelo Processo MIG/MAG. Mestrado (Dissertação). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2016.
- Scotti, A.; Ponomarev, V. Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho. Artliber Editora Ltda, São Paulo-SP, 2008.
- Liskevych, O. Estudo da Influência do Teor de  $\text{CO}_2$  na Regularidade da Transferência de Metal e Estabilidade do Processo MIG/MAG. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia. 2010.

## DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.