

Padronização da Técnica de Correlação de Imagens Digitais (*DIC*) Aplicada em Ensaios de Cisalhamento de amostras de solda produzidas por explosão

Standardization of the Digital Image Correlation (*DIC*) Technique Applied to Shear Tests of Explosion-Welded Samples

Estandarización de la Técnica de Correlación Digital de Imágenes (*DIC*) Aplicada a Ensayos de Cizallamiento de Muestras Soldadas por Explosión

Guilherme Benini Gastardeli¹
Tamires de Souza Nossa²

Resumo: Alguns ensaios mecânicos fornecem dados unidirecionais, o que dificulta uma análise complexa da união entre diferentes materiais expostos ao cisalhamento, avaliação necessária em juntas soldadas por explosão. A técnica *Digital Image Correlation (DIC)* possibilita o entendimento espacial das deformações da interface de solda. Para isso, amostras de aço inoxidável superaustenítico AL-6XN, soldadas por explosão ao aço carbono ASME SA516-70, foram submetidas a ensaio de cisalhamento; avaliadas pela obtenção subsequente de fotografias digitais nas faces visíveis preparadas com pintura de padrão estocástico (*Speckle pattern*); e analisadas pelo método *DIC* utilizando o *software Zeiss Inspect Correlate 2025*. A referência de padrão estocástico foi estabelecida avaliando a taxa de indexação; os dados de *DIC* corroboram com as propriedades dos materiais e com a morfologia da fratura. O ensaio foi incorporado ao LabMat do Instituto Federal de São Paulo (IFSP) - Campus Itapetininga, contribuindo para a consolidação da caracterização mecânica avançada na instituição.

Palavras-chave: Correlação de Imagens Digitais. Soldagem por Explosão. Aço Inoxidável Superaustenítico. Cisalhamento.

Abstract: Some mechanical tests provide unidirectional data, which makes it difficult to perform a complex analysis of the bond between different materials exposed to shear stress—an essential evaluation in explosion-welded joints. The Digital Image Correlation (*DIC*) technique enables spatial understanding of the weld interface deformations. For this purpose, samples of super-austenitic stainless-steel AL-6XN, explosion-welded to carbon steel ASME SA516-70, were subjected to shear testing; evaluated through subsequent acquisition of digital photographs of visible faces prepared with a speckle pattern; and analyzed using the *DIC* method with *Zeiss Inspect Correlate 2025* software. The speckle pattern reference was established by assessing the indexing rate; the *DIC* data corroborate the material properties and fracture morphology. The test was incorporated into LabMat at the Federal Institute of São Paulo (IFSP) – Campus Itapetininga, contributing to the consolidation of advanced mechanical characterization at the institution.

Keywords: Digital Image Correlation. Explosion Welding. Superaustenitic Stainless Steel. Shear.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. ORCID: 0009-0002-4925-4813). E-mail: benini.guilherme@aluno.ifsp.edu.br.

² Pós-doutora em Engenharia dos Materiais. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Itapetininga. ORCID: 0000-0002-4715-5953. E-mail: tamires.nossa@ifsp.edu.br.

Resumen: Algunos ensayos mecánicos proporcionan datos unidireccionales, lo que dificulta realizar un análisis complejo de la unión entre diferentes materiales expuestos al esfuerzo cortante, evaluación necesaria en juntas soldadas por explosión. La técnica de Correlación de Imágenes Digitales (DIC) posibilita la comprensión espacial de las deformaciones en la interfaz de soldadura. Para ello, se sometieron a ensayo de cortante muestras de acero inoxidable superaustenítico AL-6XN, soldadas por explosión al acero al carbono ASME SA516-70; evaluadas mediante la obtención posterior de fotografías digitales en las caras visibles preparadas con pintura de patrón estocástico (Speckle pattern); y analizadas por el método DIC utilizando el software Zeiss Inspect Correlate 2025. La referencia del patrón estocástico se estableció evaluando la tasa de indexación; los datos de DIC corroboran las propiedades de los materiales y la morfología de la fractura. El ensayo fue incorporado al LabMat del Instituto Federal de São Paulo (IFSP) – Campus Itapetininga, contribuyendo a la consolidación de la caracterización mecánica avanzada en la institución.

Palabras-clave: Correlación de Imágenes Digitales. Soldadura por Explosión. Acero Inoxidable Superaustenítico. Cortante.

Submetido 13/03/2026

Aceito 21/07/2026

Publicado 04/08/2026

Introdução

Ensaio mecânico consiste em técnicas bem estabelecidas e amplamente utilizadas na análise de propriedades mecânicas dos materiais (Callister; Rethwisch, 2012), aliar essas técnicas ao uso de tecnologias de medição ótica torna possível entender como diferentes composições de materiais reagem aos esforços atuantes (Naumann; Merklein, 2024). Desse modo, a tecnologia de juntas bimetálicas soldadas por explosão pode se beneficiar de análises mais complexas, como integrar o uso de dados unidimensionais de ensaios mecânicos ao mapeamento de regiões de acúmulo de tensões.

A soldagem por explosão é um processo de fabricação que permite unir com excelente integridade metalúrgica materiais metálicos dissimilares sem que haja necessidade de fusão, mesmo que a área de união seja relativamente grande (Akbari-Mousavi; Barrett; Al-Hassani, 2008; Varavallo et al., 2014), como por exemplo, em chapas comerciais estruturais.

Os equipamentos e instrumentos de controle industrial, tais como vasos de pressão interna, reatores, acumuladores, pressurizadores, geradores de vapor, dentre outros, são projetados em função de sua aplicação, resistência aos esforços atuantes e do contato com o fluido de interesse, de forma que, para o regime de trabalho pretendido, devem resistir às variáveis físicas e químicas do processo de transformação, refino e/ou beneficiamento durante o tempo de vida útil determinado (Telles, 2007). No entanto, a avaliação do comportamento dessas juntas sob esforços específicos, como o cisalhamento, ainda representa um desafio técnico, especialmente quando se busca precisão na medição das deformações locais.

Nesse contexto, a técnica de Correlação de Imagens Digitais (*Digital Image Correlation* – *DIC*) surge como uma ferramenta promissora para a análise de distribuição de deformações em materiais soldados por explosão. O *DIC* permite a obtenção de campos de deslocamento e deformação com alta resolução espacial, sendo particularmente útil em ensaios onde há concentração de tensões e comportamento não homogêneo (Hassan, 2021), como no cisalhamento de juntas soldadas.

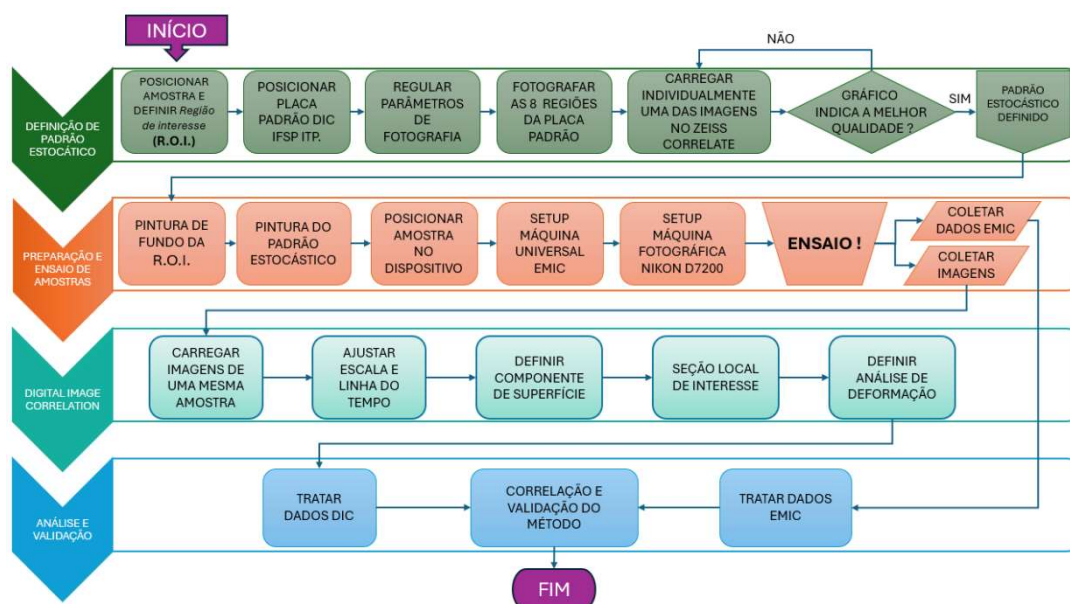
Este trabalho tem como objetivo a padronização e implementação da técnica de *DIC* para ensaios de cisalhamento em juntas metálicas de amostras soldadas por explosão, com foco na aplicação acadêmica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Itapetininga. O estudo incluiu o desenvolvimento de protocolo experimental,

calibração de equipamentos ópticos e validação dos resultados obtidos, contribuindo para a consolidação da infraestrutura de pesquisa em caracterização mecânica avançada na instituição.

Metodologia

A fim de estabelecer um procedimento padronizado e reproduzível, o processo de ensaio de cisalhamento e análise *DIC* utilizando a estrutura existente do Laboratório de Materiais (LabMat) do IFSP – Campus Itapetininga, foi realizado conforme as etapas descritas no fluxograma apresentado na Figura 01.

Figura 01: Fluxograma do método desenvolvido para validação do *DIC* em ensaio de cisalhamento.

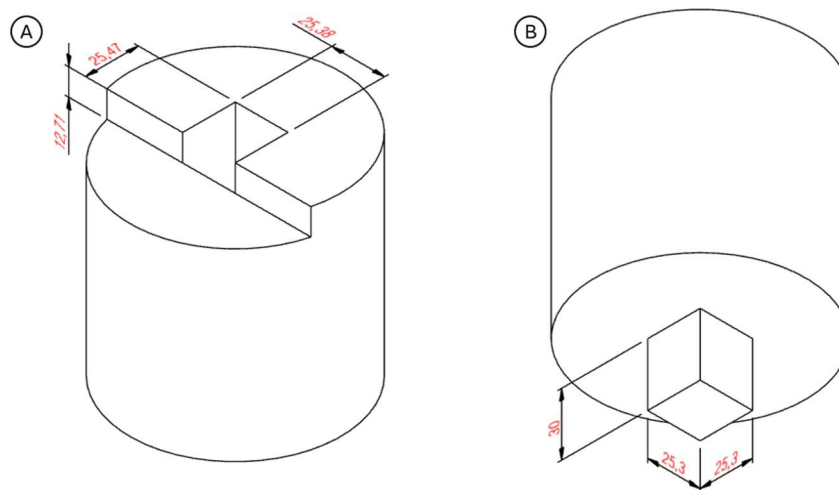


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O ensaio de cisalhamento aplicado segue os requisitos normativos da ASTM A263-12 e foi realizado em máquina universal de ensaios EMIC (DL-30000) equipada com uma célula de carga com capacidade máxima de 300kN e acoplada à um dispositivo especificamente desenvolvido para ensaio de cisalhamento de juntas soldadas por explosão, composto de uma matriz escalonada com furo retangular passante no centro e cabeçote com punção quadrado

com dimensões conforme Figura 02, verificadas com o uso de paquímetro digital de resolução 0,01mm.

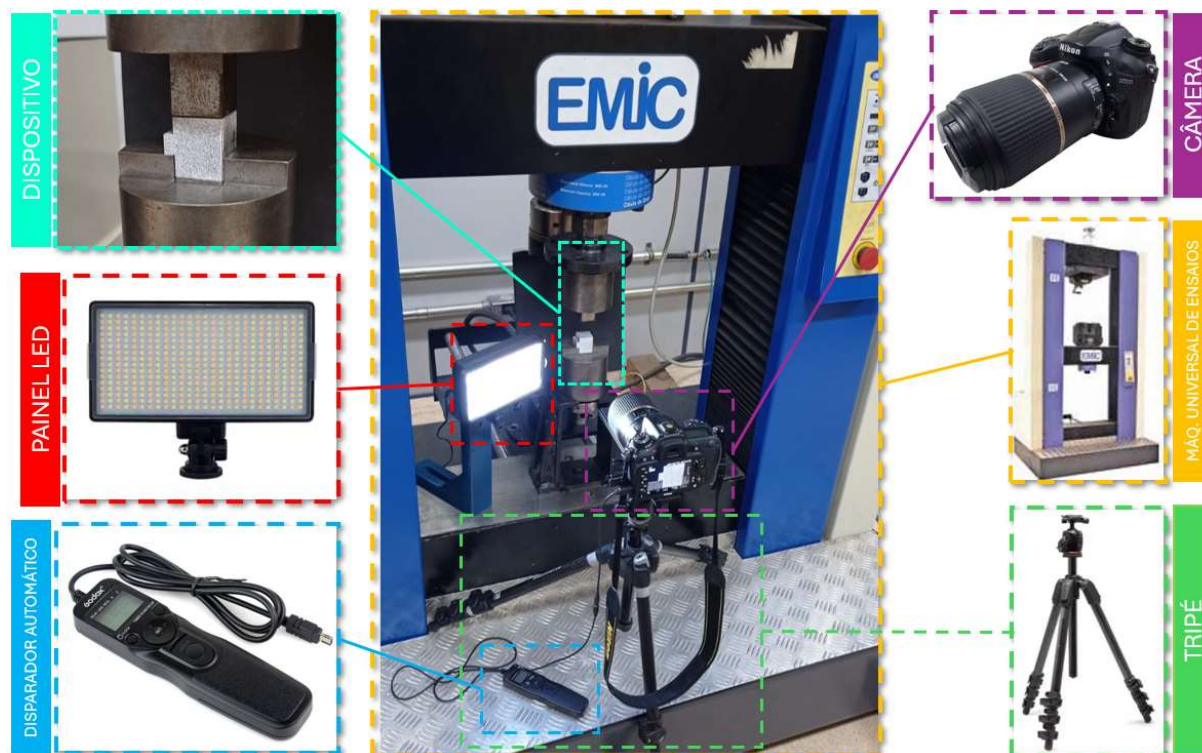
Figura 02: Dispositivo de ensaio de cisalhamento utilizado, onde (a) base de inserção do CP e (b) punção de esforço.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A aquisição de imagens foi realizada utilizando uma câmera NIKON D7200, equipada com uma lente TAMRON SP 90mm F/2.8 MACRO 1:1, apropriada para aquisição de imagens e com alta resolução em curtas distâncias focais. Para o posicionamento preciso da amostra e controle do enquadramento da região de interesse (R.O.I. - *Region of interest*), foi empregada uma base ajustável FOTOMATE MS-260 e para garantir a estabilidade da imagem, adotou-se o uso de um tripé MANFROTTO MK290xta3-3W. A iluminação foi fornecida de maneira uniforme e constante por um painel de LED acoplado em uma base rígida, com foco direcionado indiretamente à amostra, de maneira que a luz projetada sobre a amostra seja difusa, com objetivo de reduzir sombras e reflexos especulares, otimizando a uniformidade e qualidade das imagens obtidas (Jones, E. M. C; Iadicola, M. A; 2018). A configuração dos equipamentos de ensaio está mostrada na Figura 03.

Figura 03: Configuração dos equipamentos de ensaio.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Definição do Padrão Estocástico

Um dos corpos de prova (CP) sem preparação superficial, foi montado no dispositivo de ensaio para ajustar o posicionamento da câmera de modo que a região de interesse (R.O.I. - *Region of interest*) do ensaio estivesse totalmente enquadrada no Plano Detalhe (*close-up*), assegurando a captura precisa das imagens durante os ensaios.

Após a remoção do corpo de prova do dispositivo de ensaio, foi posicionada uma placa padrão para referência de pintura com diferentes padrões estocásticos (*speckles pattern*) pintados em cada uma das regiões com tinta esmalte spray modelo Supercolor, marca Tekbond. A diferença nas pinturas das regiões da placa foram obtidas variando a cor, o tamanho e a dispersão dos pontos aleatórios, onde a aplicação feita diretamente com a lata de tinta spray fornecia pontos maiores podendo ser dispersos e concentrados, assim como a aplicação com uso de um aerógrafo profissional marca SAGYMA modelo SW775, fornecia pontos menores que puderam ser aplicados de forma dispersa ou concentrada. O software ZEISS Correlate 2025

foi utilizado para medir a taxa de indexação de cada um dos padrões estocásticos da placa padrão. A taxa de indexação é um mecanismo digital de quantificação da qualidade do padrão estocástico, que utiliza algoritmos de registro de subpixel para mensurar parâmetros como a aleatoriedade, contraste, isotropia e estabilidade dos pontos da imagem (Dong Y. L; Pan B; 2017). O padrão mais indexado foi utilizado como referência prévia na escolha da escala para a pintura dos pontos aleatórios. Em seguida, foi feita a regulagem dos parâmetros de captura de imagem na câmera digital utilizando a configuração a seguir: distância focal (90mm), abertura máxima (4.1), velocidade ISO (100), abertura do diafragma (f/4.2), tempo de exposição (1s), modo de exposição manual, dimensões (2992 x 2000 pixels), resolução (300 x 300 dpi), sem flash e qualidade da imagem para RAW + JPEG fino nativo.

Para padronização, antes da aquisição das imagens foi selecionado o zoom máximo da câmera e regulado o ajuste fino do foco da lente macro manualmente no ponto de melhor resolução, garantindo precisão na distância focal. Em seguida foi executada a captura de uma imagem para cada uma das oito configurações de pintura.

A análise de “Qualidade padrão” do *software* ZEISS INSPECT CORRELATE foi utilizada como parâmetro quantitativo para a definição da escala ideal do padrão estocástico a ser aplicado na preparação das amostras. Esse critério permitiu assegurar a adequação da textura superficial às exigências para captura e correlação de imagens durante os ensaios.

As fotografias coletadas de cada uma das regiões da placa com diferentes padrões de pintura desenvolvidos, foram carregadas individualmente no *software*. Foi selecionada a área do componente de superfície que corresponde à R.O.I. (previamente definido devido à etapa de posicionamento da amostra), e utilizando os parâmetros pré-definidos pelo programa, a seleção do *padrão* mais adequado para o ensaio está em função da interpretação do histograma gerado pela análise de qualidade padrão do ZEISS INSPEC CORRELATE 2025.

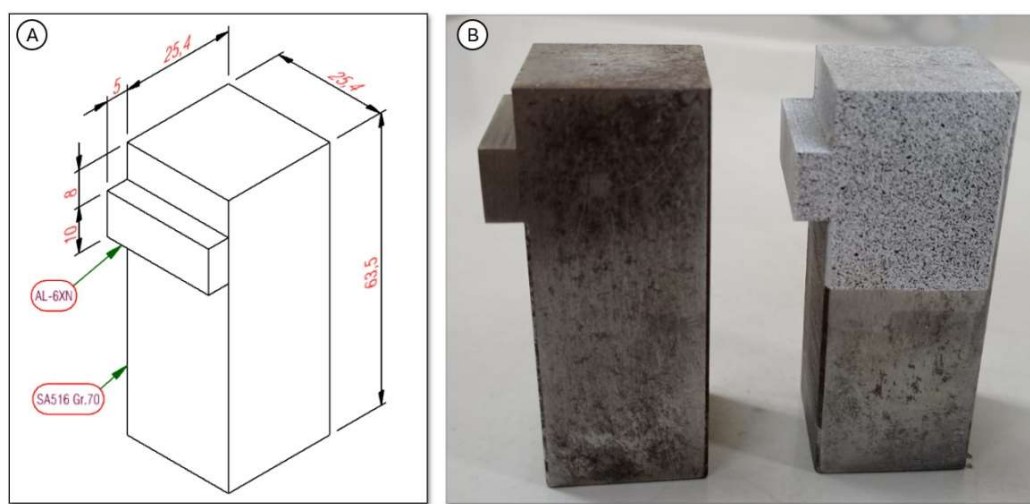
Etapas de Preparação de Amostras e Ensaio

As amostras utilizadas foram cedidas pela empresa Dynamic Materials Corporation (Colorado, EUA) e foram cortadas em uma eletroerosão Novick modelo AR13000 de acordo com a Figura 3(a), com material base de aço carbono ASME SA516 Gr.70 soldado por explosão



à um inserto de aço inoxidável superaustenítico AL-6XN[®] (UNS N08367). Para garantir a repetibilidade do ensaio, foram testados 5 corpos de prova.

Figura 04: Amostras de ensaio de cisalhamento (a) desenho técnico representativo do projeto dos corpos de prova (b) amostras usinadas antes e após a aplicação do padrão de pintura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para a preparação da R.O.I. necessária para o ensaio de *DIC*, foi executado o lixamento da superfície com lixa d'água gramatura 200 para garantir a uniformidade da superfície e aderência da tinta de fundo. A pintura foi aplicada em duas demãos de tinta esmalte em spray, modelo Supercolor, da Tekbond na cor branco fosco.

O padrão estocástico para interpretação do deslocamento, foi definido através do resultado da primeira etapa do ensaio, com a definição da escala do *padrão*. A pintura foi realizada com tinta esmalte spray modelo Supercolor, marca Tekbond na cor preto fosco aplicada com uso do aerógrafo profissional marca SAGYMA modelo SW775, regulado com abertura total do bico de aspersão, de modo que o padrão obtido fosse visualmente aproximado ao definido previamente.

Concluída a etapa de pintura, a amostra foi encaixada no canal da matriz inferior do dispositivo com um ajuste que possibilitasse montagem manual leve, possibilitando que a R.O.I. ficasse completamente visível à câmera. O cabeçote superior foi posicionado na amostra

com uma pré carga de até 100 N, variando em função da sensibilidade do parâmetro de descida lenta do equipamento.

Devido ao conceito do ensaio de cisalhamento aplicado e do dispositivo utilizado, os parâmetros de ensaio foram pré-definidos com descida em velocidade constante da máquina universal de ensaios EMIC: avanço de descida (0,1mm/min), taxa de incremento de força (40kN/min) e limite de deformação máxima (10 mm).

Com a amostra posicionada, câmera e parâmetros de fotografia regulados como na etapa de definição do padrão estocástico e utilizando um dispositivo de disparo automático marca GODOX modelo EXB N3, regulado com intervalo entre captura de imagens de 5 segundos, iluminação indireta ligada, máquina universal prontificada e em espera. O ensaio de cada amostra foi executado capturando a primeira fotografia estática, e instantaneamente após o fechamento do obturador da câmera, foi liberado o início do ensaio de cisalhamento até o rompimento total da amostra. Foram coletados para cada uma das amostras os dados correlacionados de tempo (s), deformação (mm) e força (N) através do *software* de operação e comando da máquina universal de ensaio, aferidos pela célula de carga acoplada.

Correlação de Imagens Digitais: DIC - Digital Image Correlation

Após a captura, o conjunto de imagens sequenciais de cada uma das amostras foram carregadas como imagem de deformação no software Zeiss Inspect Correlate, ajustada a escala na direção de aplicação do esforço de ensaio, usando como base a dimensão coletada do inserto de AL-6XN antes do ensaio da amostra. O processamento dos dados foi realizado utilizando os parâmetros de tamanho das facetas (19 pixels), distância entre pontos (5 pixels), tamanho da interpolação (n=3).

Para o ensaio realizado, e assim como na etapa de definição do padrão estocástico, foi utilizado como referência para a definição do componente de superfície, a ferramenta “qualidade de superfície” onde, por meio do histograma é possível identificar quantitativamente a dispersão do erro de processamento do padrão aplicado, e utilizar o balanço dos fatores de criação para uniformizar a região em análise.

Etapas de Análise de Dados dos Ensaios Mecânicos e DIC.

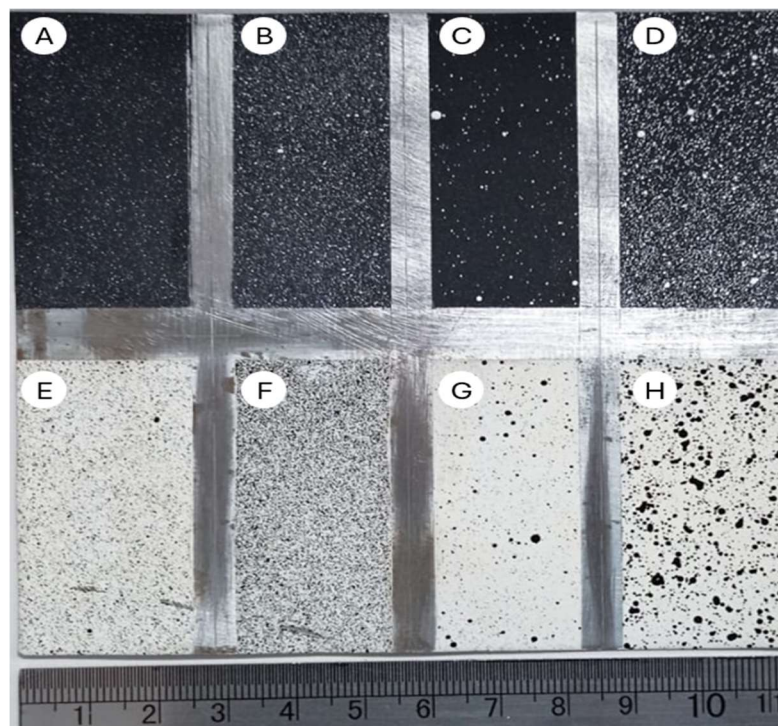
Foram realizadas medições de comprimento (mm) e espessura (mm) da amostra para cálculo de área de seção da junta soldada. Além disso, foi obtido no ensaio de cisalhamento dados de força (N) e deslocamento (mm), os quais foram utilizados na elaboração da curva tensão x deformação e para determinação da resistência ao cisalhamento (τ) através da equação $\tau = \frac{F}{A}$ (Callister; Rethwisch, 2012). Uma vez que a especificação para o material ASME SA516 Gr.70 não apresenta valores de resistência ao cisalhamento, o mesmo foi estimado somente para fins comparativos através da aplicação do critério de máxima energia de von Mises onde a consideração entre a tensão de resistência a tração (σ) e a tensão de resistência ao cisalhamento (τ), se dá pela equação: $\tau = \frac{\sigma}{\sqrt{3}} = 0,577 \times \sigma$ (Hibbeler, 2010). Foi realizado a média dos valores obtidos para os corpos de prova.

Resultados

O padrão estocástico foi estabelecido a partir da taxa de indexação

Para avaliar os dois métodos de aplicação de tinta (spray e aerógrafo) e obter o padrão ideal para processamento no software de DIC, foram avaliados oito referências de padrões através da variação de cor da pintura de fundo, tamanho e concentração dos pontos aleatórios, conforme mostrado na Figura 05.

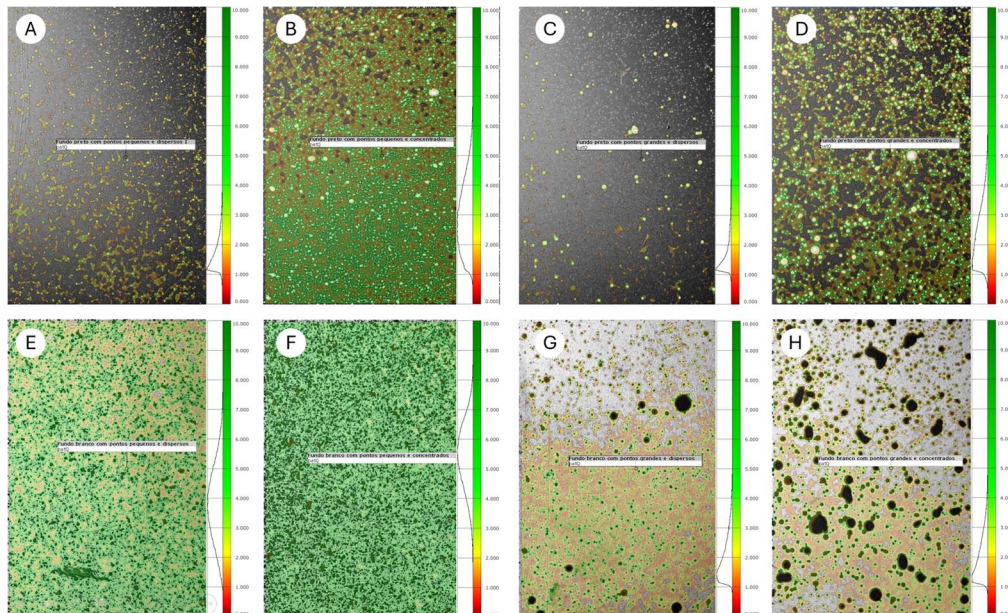
Figura 05: Regiões da placa padrão produzida para verificação da condição ideal de pintura. Os padrões obtidos foram: fundo preto com pontos pequenos e dispersos (A), fundo preto com pontos pequenos e concentrados (B), fundo preto com pontos grandes e dispersos (C), fundo preto com pontos grande e concentrados (D), fundo branco com pontos pequenos e dispersos (E), fundo branco com pontos pequenos e concentrados (F), fundo branco com pontos grandes e dispersos (G), fundo branco com pontos grande e concentrados (H).



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os oito padrões de referência foram avaliados individualmente no *software DIC*, considerando os valores da taxa de indexação. Este resultado é demonstrado na Figura 06.

Figura 06: Avaliação da taxa de indexação dos padrões de pintura elaborados.

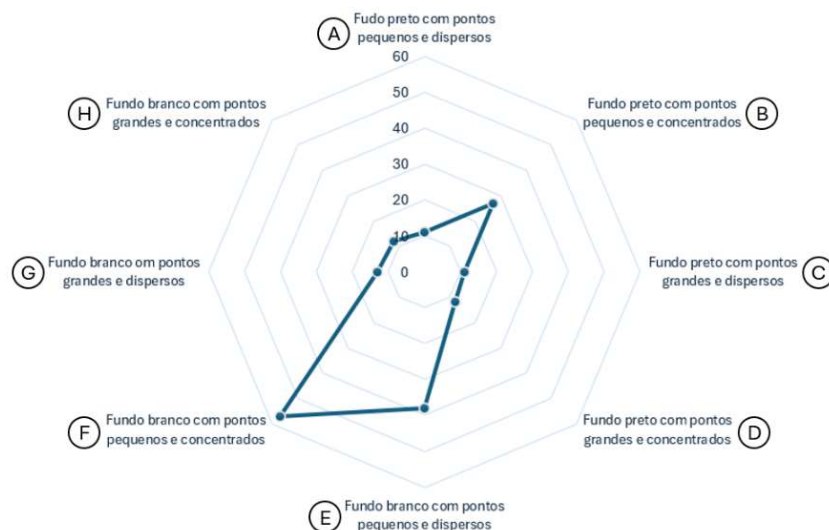


Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

As regiões em verde na escala a direita das referências (Figura 06), indicam uma maior concentração dos pontos, justaposto a essa escala é gerado um histograma baseado na taxa de indexação.

Foi elaborado um gráfico de radar a partir do pico de concentração da taxa de indexação para validar o padrão de melhor eficiência (Figura 06).

Figura 06: Gráfico de desempenho do padrão de pintura em função da taxa de indexação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

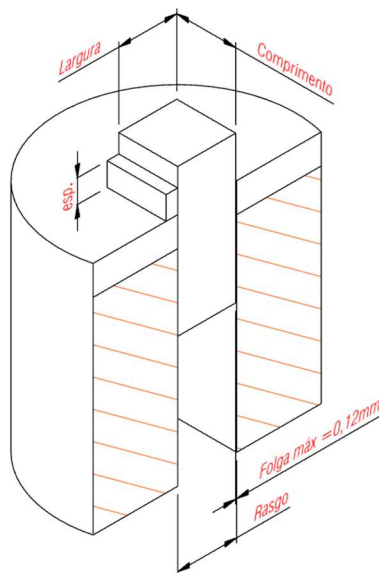
Considerando as duas análises descritas, o padrão que apresentou as melhores taxas de indexação foi o de fundo branco com pontos pequenos e concentrados (Tipo F). Sendo assim, esse padrão foi escolhido para a preparação dos CP e realização dos ensaios com aplicação do DIC.

Valores obtidos do ensaio de cisalhamento

Posteriormente cinco CPs utilizados no ensaio tiveram suas dimensões de espessura (mm) e comprimento (mm) coletadas, para realização do cálculo de área de seção da interface soldada por explosão, os dados são descritos na Tabela 1.



Figura 07: Desenho técnico representativo das medições para cálculo de área e de folga máxima conforme norma ASTM A263-12.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Tabela 1 – Dimensões das amostras e cálculo de área.

Amostra	Espessura (mm)	Comprimento (mm)	Área (mm ²)	Largura (mm)	Rasgo (mm)	Atende norma? (Rasgo – Largura ≤ Folga máx)
CP 1	10,10	25,35	256,04	25,38	25,44	0,06 – Aprovado!
CP 2	10,03	25,37	254,46	25,32		0,12 – Aprovado!
CP 3	10,12	25,37	256,74	25,35		0,09 – Aprovado!
CP 4	10,26	25,38	260,40	25,36		0,08 – Aprovado!
CP 5	10,30	25,39	261,52	25,34		0,10 – Aprovado!

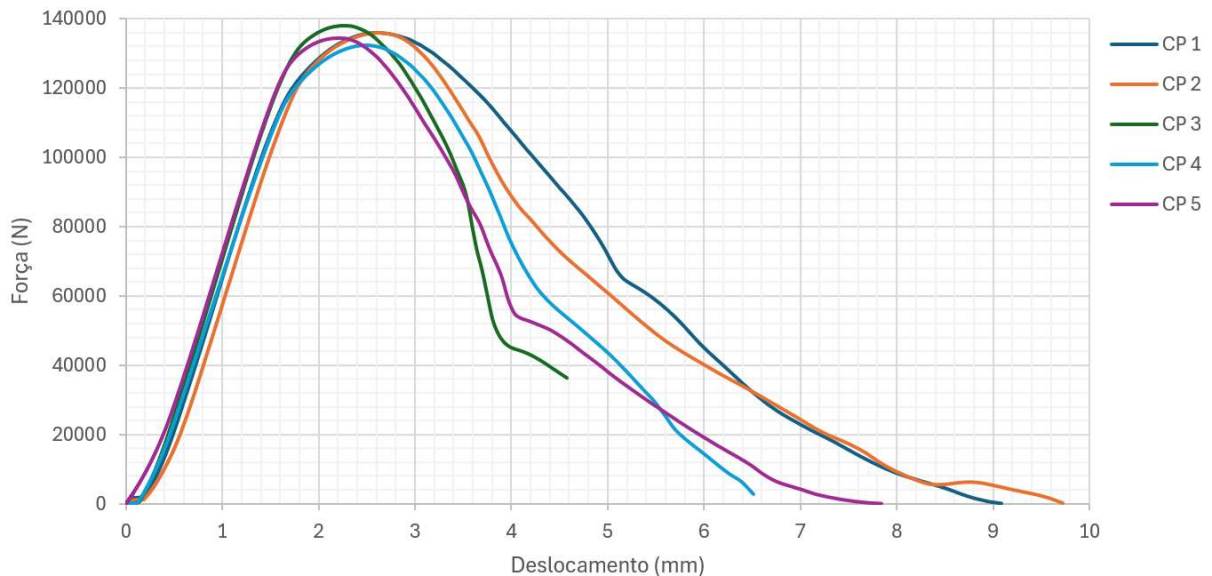
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Foi elaborado um gráfico de Força (N) x Deslocamento (mm) para comparar a reprodutibilidade da curva entre as amostras (Figura 05). O método de ensaio mecânico de



cisalhamento mostrou-se reprodutível uma vez que as curvas obtidas para os diferentes CP apresentaram resultados semelhantes.

Figura 07: Gráfico de Força (N) x Deslocamento (mm).



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Dado que, os CPs utilizados são formados pela junção de dois materiais dissimilares, os dados obtidos pela máquina universal de ensaios foram tratados e comparados com os valores conhecidos de tensão x deformação de cada componente individualmente, a fim de verificar se há similaridade com um ou outro componente, ou se há um comportamento particular referente a região de interface entre eles diante dos esforços de cisalhamento, o comparativo entre esses dados é apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Comparativo de propriedades mecânicas.

PROPRIEDADE	DADOS OBTIDOS (média $\pm$ desvio padrão)	AL-X6N	SA 516 Gr.70
Resistência ao Cisalhamento τ (MPa)	531 $\pm$ 15	398 (GRUBB, 2010)	280

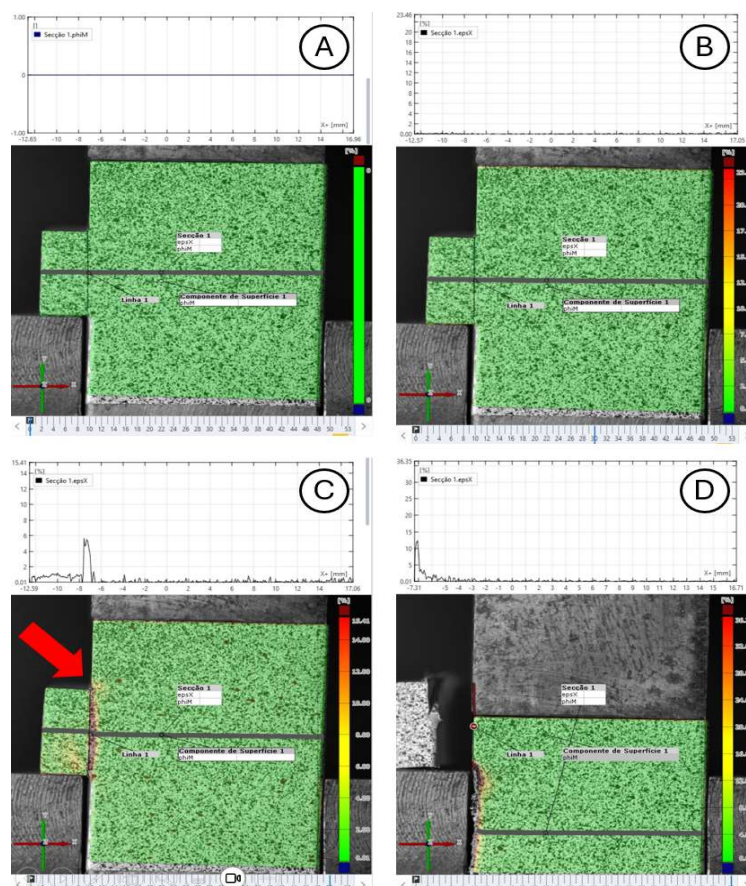
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Os dados comparativos apresentados na Tabela 2 mostram que há uma diferença entre os dados de resistência e disponíveis na literatura entre os materiais, com o menor valor sendo o do aço carbono ASME SA516-70. Os dados obtidos apontam um aumento considerável desses valores para os CPs ensaiados.

Os dados de DIC comparam-se à morfologia da fratura

Como forma de validação, tal resultado foi comparado com a análise de *DIC*, a fim de identificar se a tendência de distribuição de deformações mapeadas pelo ensaio coincide com a convergência dos dados apresentados na Tabela 2. Os resultados de *DIC* são apresentados na Figura 08.

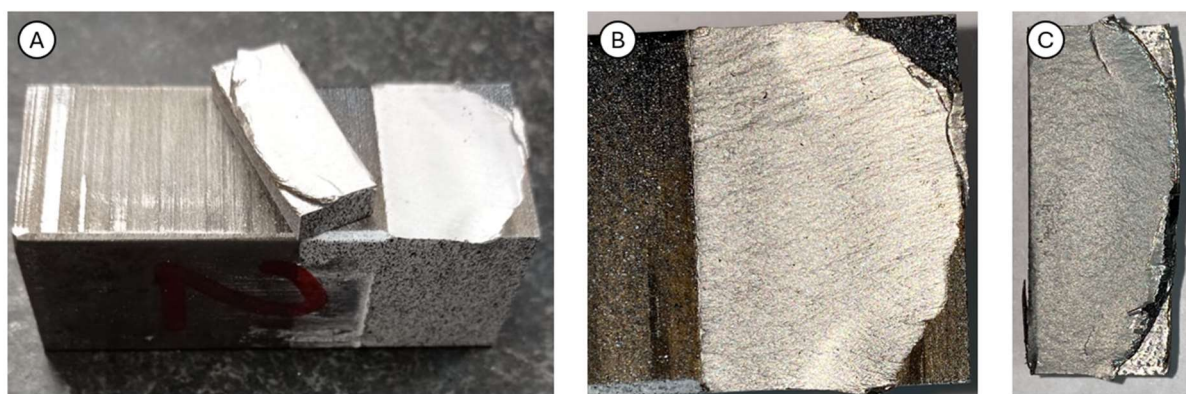
Figura 08: Imagens representativas do resultado do ensaio de *DIC* com análise de deformação. (A) Início de ensaio, (B), final da fase elástica indicando uniformidade na distribuição das tensões, (C) instante pré ruptura indicando acúmulo de tensões na região da falha, (D) Falha total do material. Seta vermelha: tendência de acúmulo de tensões na interface do lado do material AS 516 Gr.70.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Como observado na Figura 08, a concentração de tensões demonstrada pelo mapeamento do *DIC*, tende para o lado da interface do material AS 516 Gr.70, que possui um menor valor estimado de resistência ao cisalhamento, o que corrobora com os dados discutidos na Tabela 2. Junto à observação do resultado do ensaio *DIC*, a Figura 09 apresenta a morfologia da falha obtida.

Figura 09: (a) Corpo de prova rompido, (b) vista frontal da região cisalhada do material base (c) vista frontal da região cisalhada do inserto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

É possível observar uma preservação da geometria correspondente ao material AL-6XN em detrimento da face do aço carbono que possui aspecto convexo e de escorregamento de planos, o que converge com o mapeamento das deformações no decorrer do ensaio, mostrando a diferença na resistência ao cisalhamento entre os diferentes materiais da junta soldada. Yuk e colaboradores (2019) mencionam que as falhas de cisalhamento ocorrem no material base acumulando-se próximo a raiz da solda.

Conclusão

A padronização do método de *DIC* para análise de ensaios de cisalhamento foi desenvolvida e implementada para uso do laboratório de ensaios do IFSP - Campus Itapetininga. Foi possível o estabelecimento de uma referência de padrão estocástico do IFSP, com pintura capaz de prever a melhor taxa de indexação para o ensaio proposto. As análises feitas com aplicação do *DIC* podem contribuir com os dados das propriedades mecânicas

relativas ao cisalhamento já obtidos pelo método tradicional. Como forma de validação do uso da técnica pelo IFSP, foi apresentada a correspondência da morfologia da fratura apresentada pelo corpo de prova com o mapeamento *DIC* da concentração de deformações durante o ensaio, podendo posteriormente ser objeto de uma análise dos CPs rompidos. O valor de resistência ao cisalhamento encontrado para a junta divergiu em relação aos materiais base, o que pode indicar um ganho de propriedades mecânicas em função do processo de soldagem por explosão, entretanto, novos estudos serão necessários para embasar esta hipótese.

Agradecimentos

Os autores agradecem aos colegas Rogério Varavallo e Haroldo Cavalcanti Pinto pelo apoio e por acreditar neste trabalho, e à Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo (EESC/USP) e à empresa Dynamic Materials Corporation, por ceder o material necessário para as análises. Também pelo apoio dado ao trabalho pelo Centro de Pesquisa e Inovação em Materiais e Estruturas (CEPIMATE).

Referências

AKBARI-MOUSA VI, S. A. A.; BARRETT, L. M.; AL-HASSANI, S. T. S. Explosive welding of metal plates. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 202, n. 1-3, p. 224–239, jun. 2008.

GRUBB, J.F. **ATI AL-6XN® Alloy: Technical Data Sheet** (4. ed.), p. 59, 2010.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). **SA-516/SA-516M: Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Moderate- and Lower-Temperature Service**. Seção II, Parte A. New York: ASME, 2023.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Rio De Janeiro: LTC, 2013.

HASSAN, G. M. Deformation measurement in the presence of discontinuities with digital image correlation: A review. **Optics and Lasers in Engineering**, v. 137, p. 106394, fev. 2021.

NAUMANN, D.; MERKLEIN, M. Influence of an optical strain rate controlled tensile testing method on mechanical properties of sheet metals. **Materials research proceedings**, v. 41, p. 922–929, 19 abr. 2024.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais** (7. ed.). São Paulo: Pearson Educación, 2010.

TELLES, P. C. S. **Vasos de pressão** (2. ed.). Rio de Janeiro: LTC, 2007. p. 302.

VARAVALLO, R. et al. Welding Induced Residual Stresses in Explosion Cladded AL-6XN Superaustenitic Stainless Steel and ASME SA516-70 Steel Composite Plates. **Advanced Materials Research**, v. 996, p. 451–456, ago. 2014.

YUK, S. et al. An Investigation on Base Metal Block Shear Strength of Ferritic Stainless Steel Welded Connection. **Applied sciences**, v. 9, n. 20, p. 4220–4220, 10 out. 2019.

DONG, Y. L; PAN, B; A Review of Speckle Pattern Fabrication and Assessment for Digital Image Correlation. **Experimental Mechanics**, v. 57, p. 1161-1181, 2017.

JONES, E. M. C; IADICOLA, M. A; A Good Practices Guide for Digital Image Correlation. **International Digital Image Correlation Society**, 2018.