

EXECUÇÃO DE JUNTAS SOLDADAS EM TUBULAÇÕES DE AÇO COM REVESTIMENTO INTERNO DE FILME FINO EMPREGANDO LUVÁ INTERNA DE PROTEÇÃO E SELAGEM

José Anísio de Oliveira e Silva

Engenheiro Mecânico pela Universidade Federal da Paraíba. Em 1978, ingressou na PETROBRAS, onde permaneceu até 1986. Após deixar a PETROBRAS, ocupou as posições de gerente de construção ou gerente de engenharia em grandes projetos de dutos de óleo e gás e minério no Brasil. Desde 2015, vem desenvolvendo sistemas de soldagem de tubulações providas de revestimento interno para as indústrias de petróleo, mineração e transporte de água. Atualmente é Chief Technology Officer da Lined Pipe Systems.

Endereço: Rua Príncipe Charles, 138, Jardim Canadá, Nova Lima MG CEP 34007-794 - Brasil- Tel: +55 (31) 99296-7594-3333 - e-mail: jsilva@linedpipesystems.com

RESUMO

Revestimentos internos, como pinturas de epóxi ou de poliuretano, são frequentemente empregados para proteger da corrosão o interior de tubulações de aço para transporte de água. Quando são executadas juntas soldadas para montagem dessas tubulações, o calor da soldagem pode degradar ou destruir esses revestimentos internos nas proximidades da solda. Usualmente, é deixada uma faixa sem revestimento interno nas extremidades dos tubos a serem soldados, para ser revestida manualmente após a soldagem. Esse revestimento pode apresentar os problemas de qualidade comuns a todos os revestimentos aplicados em campo. Condições ambientais adversas e as dificuldades decorrentes do trabalho em espaço confinado geralmente levam a um revestimento defeituoso. Além disso, o processo de revestimento interno na área de solda pode retardar significativamente a construção, aumentando seu custo. Este trabalho apresenta uma luva interna de proteção e selagem para ser instalada durante a construção protegendo da corrosão a parede do tubo de aço na zona de solda. As chaves para a funcionalidade dessa luva interna de proteção e selagem são: assegurar a proteção e a continuidade do revestimento interno da tubulação na região da solda, suportar o calor da soldagem e ser instalada com facilidade, sem interferir com os processos convencionais de construção.

PALAVRAS-CHAVE: Adutoras de aço soldadas, revestimento interno, solda de tubos revestidos.

INTRODUÇÃO

A corrosão interna é uma das principais causas de falha de tubulações de aço carbono para transporte ou distribuição de água deve ser revestida internamente para proteger o material do tubo da corrosão e/ou para evitar a contaminação da água transportada com subprodutos da corrosão.

Vários materiais de revestimento interno podem ser selecionados pelos projetistas, dependendo dos requisitos específicos de cada projeto. Esses revestimentos são geralmente materiais sensíveis a temperaturas elevadas, como filmes finos de epóxi líquido ou poliuretano ou epóxi ligado por fusão (FBE). Consideram-se filmes finos os revestimentos de espessura inferior a 500 micra.

A soldagem por arco elétrico é universalmente reconhecida como o processo mais econômico e eficiente de execução de juntas de campo em tubulações de aço carbono. As alternativas de emprego de juntas mecânicas têm um potencial de vazamento significativamente maior e têm capacidade limitada de conter o tubo do movimento axial – necessitando muitas vezes, da execução de dispendiosos blocos de ancoragem para impedir a separação dos tubos nas juntas.

Os métodos mais comuns para execução de juntas soldadas em tubulações de aço carbono são soldas de topo, soldas em ângulo em juntas soldadas de ponta e bolsa, e soldas de ângulo em juntas *Butt Strap*. Todos esses métodos envolvem a produção de temperaturas elevadas que danificam qualquer revestimento interno sensível a temperaturas elevadas na região imediatamente próxima da zona de solda. Assim, é usual a deixar uma faixa sem revestimento interno nas extremidades dos tubos a serem soldados, para ser revestida após a conclusão da soldagem, por meios manuais ou robóticos.

A execução adequada de revestimentos internos de filme fino, sejam de epóxi líquido, de epóxi ligado por fusão (FBE) ou de poliuretano requer jateamento abrasivo, limpeza, aplicação de material, cura e inspeção de cada área revestida. Esse processo é muito demorado e pode retardar significativamente a construção das tubulações. Além disso, existe um risco significativo de falha da própria execução do revestimento devido a fatores comuns que afetam a qualidade dos materiais de proteção termicamente sensíveis aplicados em campo: temperatura, umidade, poeira, dificuldade em inspecionar a preparação da superfície e uma série de outros fatores que são difíceis de mitigar no ambiente de campo em constante mudança. Por fim, colocar colaboradores no interior de tubulações para revestir internamente juntas de campo traz riscos de segurança típicos da entrada em espaços confinados: asfixia por monóxido de carbono ou outros gases, riscos de explosão, animais peçonhentos que podem ter entrado na tubulação, além da dificuldade de extrair colaboradores eventualmente acidentados.

A execução robótica do revestimento interno na região de solda também apresenta desafios importantes. Quase todos os fatores acima mencionados que podem promover falhas da execução manual do revestimento estão presentes, e o cordão de solda interno deve ser regular e liso, sem excessos de penetração, para permitir uma cobertura e uma aderência adequada do material de revestimento, livre de perfurações e descontinuidades. A necessidade de uma interface adicional com um contratante terceirizado, cuja agenda pode ou não estar alinhada aos objetivos da obra principal de construção da tubulação, também tem potencial para vir a representar um problema significativo para o gerenciamento dessa obra.

Luvas internas de proteção de juntas soldadas já foram desenvolvidas no passado para proteger contra corrosão o interior de juntas soldadas de tubos de aço. Durante a construção da tubulação, uma dessas luvas é inserida nas extremidades dos tubos a serem soldados para proteger da corrosão a parede interna desses tubos nas imediações da solda. As luvas internas de proteção de juntas soldadas anteriormente utilizadas são usinadas a partir de tubos de aço carbono, com um revestimento interno termicamente sensível como o material de revestimento dos tubos e usam vedações de borracha (*O-rings*) que deveriam evitar que a água atingisse a zona de solda. Como as vedações *O-ring* requerem tolerâncias apertadas para vedar, e como essas tolerâncias praticamente impediriam a inserção das luvas no interior das tubulações, essas luvas são usinadas com folgas generosas e recorrem ao emprego de uma camada de pasta epóxi para tentar fazer a vedação, nem sempre satisfatória, contra o revestimento interno das tubulações. O corpo dessas luvas internas tem um isolamento térmico incorporado para evitar que o calor da soldagem danifique o seu revestimento interno. Historicamente, essas luvas internas de proteção de juntas soldadas têm sido usadas em tubulações de pequeno diâmetro. Sua construção rígida e seu peso elevado tornam extremamente desafiadoras tanto sua instalação quanto a vedação em extremidades de tubos de maior diâmetro que apresentam grandes variações de diâmetro interno e tolerâncias de ovalização ainda maiores.

Recentemente foi desenvolvida uma nova luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas, que é fabricada a partir de chapas metálicas conformadas mecanicamente e que usa um novo e exclusivo design de vedação de borracha que garante a vedação da luva contra o revestimento interno dos tubos e elimina a necessidade do emprego de uma pasta epóxi. A luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas é flexível e leve, o que permite uma fácil instalação e é crucial para que seja alcançada a vedação adequada da luva contra o revestimento interno das tubulações. Isso permite uma instalação muito mais fácil em tubulações de maior diâmetro, que apresentam grandes variações de diâmetro interno e tolerâncias de ovalização ainda maiores do que tubulações de pequeno diâmetro. É importante ressaltar que, para projetos de tubulações de transporte e distribuição de água, essas luvas internas de proteção e selagem de juntas soldadas são adequadas tanto para juntas soldadas de topo, quanto para juntas de solda em ângulo, do tipo ponta e bolsa ou *Butt Strap*, em que os revestimentos de filme fino muitas vezes não são usados devido à dificuldade de recompor a área interna da junta soldada. O emprego dessas luvas internas de proteção e selagem de juntas soldadas abre a possibilidade de usar revestimentos de filme fino comprovados, leves e flexíveis para tubulações de água e evita totalmente o processo demorado e propenso a erros de recomposição do revestimento interno após a solda estar completa.

CONCEPÇÃO BÁSICA

A luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas é composta por duas camadas de chapa finas laminadas de aço carbono, com um material isolante prensado entre elas. A superfície interna da luva, que estará exposta ao contato com a água transportada pela tubulação é revestida com um material de proteção

termicamente sensível que evita a corrosão da luva. Esse material pode ou não ser o mesmo material de proteção empregado para proteger o interior do tubo de aço carbono. Um selo de borracha especialmente projetado e desenvolvido com essa finalidade é colocado em cada uma das extremidades da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas. Uma vez que a luva é instalada no interior da tubulação, a vedação é comprimida entre seu assento na extremidade da luva e o revestimento interno da tubulação. Quando a tubulação, cheia de fluido, é submetida a pressão interna, essa pressão atua sobre a superfície exposta do selo de borracha e o comprime ainda mais contra a parede interna da tubulação, num efeito auto energizante que aumenta a capacidade de vedação do selo. A Figura 1, apresentada a seguir, mostra uma luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas fabricada para instalação em uma tubulação de diâmetro nominal de 760 mm e 9,52 mm de parede.

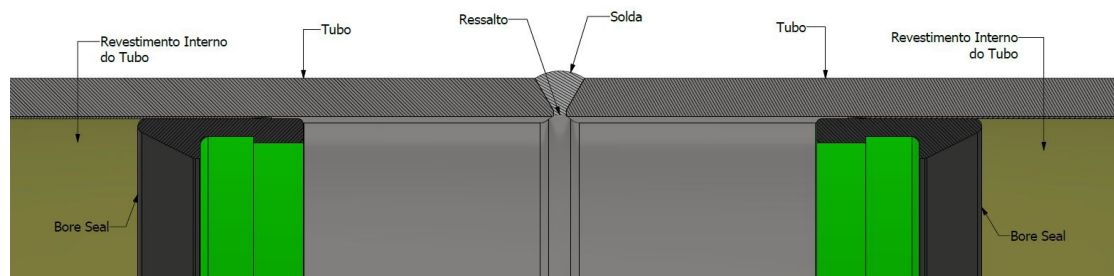
Quando a luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas é usada com juntas soldadas de topo, o passe de raiz da solda se funde com o anel externo da luva, para fixá-la firmemente no lugar, como mostra a Figura 2, apresentada a seguir. Quando fabricada para emprego com juntas soldadas do tipo ponta e bolsa ou do tipo *Butt Strap* em que as soldas em ângulo são executadas na superfície externa dos tubos, a luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas é mantida no lugar devido a um ressalto assimetricamente localizado em sua superfície externa, que fica retido no espaço compreendido entre as extremidades dos tubos no caso de juntas do tipo *Butt Strap* como mostra a Figura 3, apresentada a seguir, ou fica retido no espaço compreendido entre a extremidade da ponta e o fundo da bolsa no caso de juntas soldadas do tipo ponta e bolsa, como mostra a Figura 4, apresentada a seguir.

Figura 1 - Luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas fabricada para uma tubulação de diâmetro nominal de 760 mm e 9,52 mm de parede



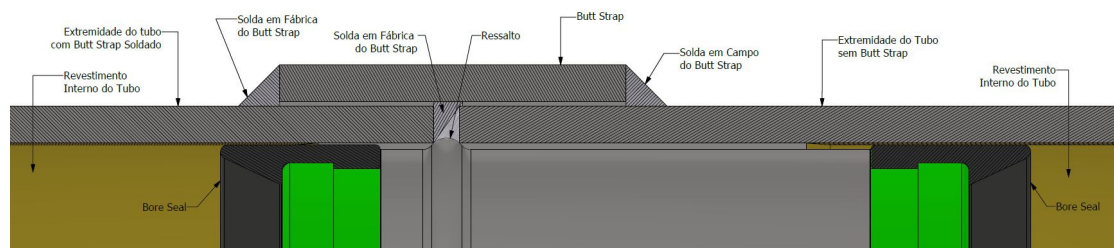
Fonte: Ilustração produzida pelo autor

Figura 2 - Luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas para juntas soldadas de topo



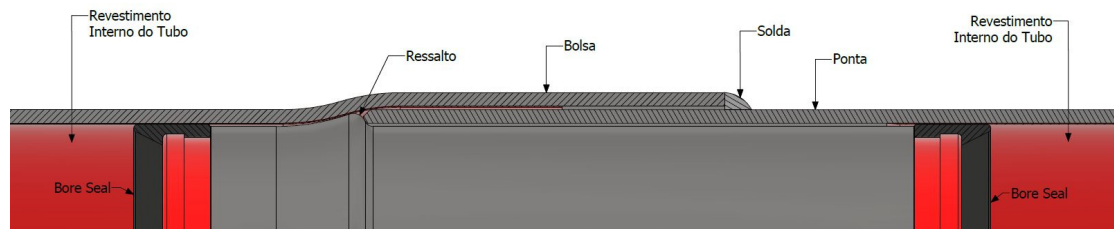
Fonte: Ilustração produzida pelo autor

Figura 3 - Luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas para juntas soldadas do tipo Butt Strap



Fonte: Ilustração produzida pelo autor

Figura 4 - Luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas para juntas soldadas do tipo ponta e bolsa



Fonte: Ilustração produzida pelo autor

FUNCIONAMENTO DA LUVA INTERNA DE PROTEÇÃO E SELAGEM DE JUNTAS SOLDADAS

A principal função da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas é proteger da corrosão a superfície nua do tubo de aço carbono nas imediações da solda. Para tanto, deve evitar que a água no interior da tubulação atinja a superfície nua de aço carbono por trás da luva. Isso é realizado por meio de vedações de borracha, que se encaixam em sedes praticadas em ambas as extremidades da luva e que são comprimidas entre a superfície revestida da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas e o revestimento interno do tubo, como mostram as Figuras 2, 3 e 4 anteriormente apresentadas.

A flexibilidade da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas é vital para a obtenção de uma vedação porque: a) permite que a luva se adapte à forma das extremidades do tubo e b) permite que a luva se expanda quando submetida à pressão interna da tubulação. Quando a luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas se ajusta à forma da extremidade do tubo, ela produz uma pressão de vedação uniforme em torno de toda a sua circunferência. Quando a luva se expande sob pressão interna da tubulação, ela comprime ainda mais a vedação de borracha de ambas as vedações de borracha contra o revestimento interno do tubo para produzir uma vedação uniforme. Testes hidrostáticos comprovam o desempenho de vedação da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas, como mostrado na seção Teste de Laboratório a seguir.

O revestimento interno da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas também deve permanecer intacto após ser exposto ao calor de soldagem. A camada de isolamento embutida na luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas impede que o calor decorrente da execução da solda seja transferido diretamente para o revestimento da luva. Em vez disso, o calor se propaga ao longo do anel externo da luva, sendo conduzido e irradiado através do grande dissipador de calor que é a própria parede do tubo de aço carbono. Durante os procedimentos de soldagem convencionais, o revestimento da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas aquece lentamente com o passe de raiz e com os passes de solda subsequentes, mas as temperaturas máximas permanecem abaixo de 155° C em tubos de pequeno diâmetro, e mesmo assim apenas por alguns minutos, como mostrado na seção Teste de Laboratório a seguir. Em tubos de grande diâmetro, a luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas tem tempo para esfriar antes que o passe de solda subsequente chegue ao mesmo local novamente.

A luva interna de proteção das juntas soldadas também deve ser fácil e rapidamente instalada no campo, para permitir a construção rápida e econômica de tubulações. O fato de a luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas ser fabricada a partir de chapas metálicas finas permite que ela se flexione suficientemente e se acomode com a forma das extremidades dos tubos que estejam dentro da tolerância de ovalização especificada nos códigos de fabricação de tubos. Um lubrificante de silicone é usado para reduzir o atrito das vedações de borracha contra as paredes e o revestimento interno do tubo durante a inserção.

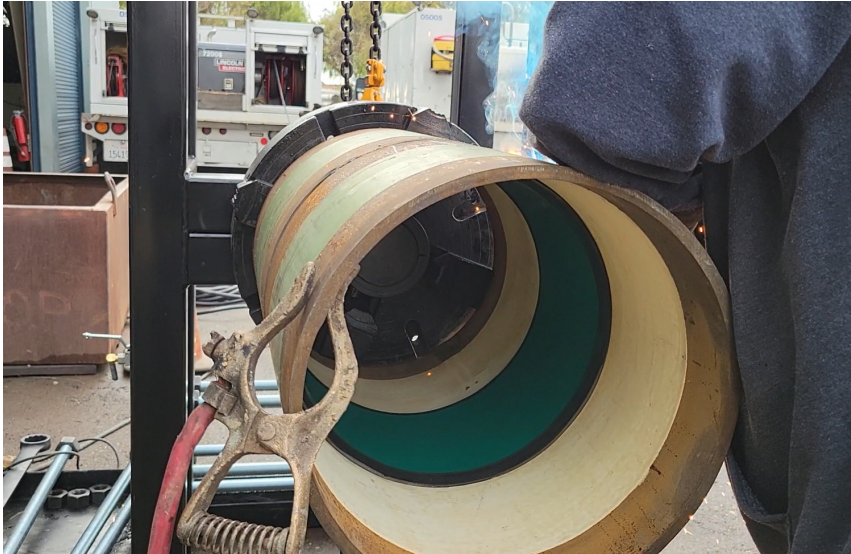
TESTES DE LABORATÓRIO

Foram realizados inúmeros testes hidrostáticos em juntas totalmente montadas com a luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas para comprovar a funcionalidade da sua vedação. Antes do teste hidrostático, furos podem ser executados através da parede do tubo de aço carbono no local onde a luva será instalada, uma lacuna pode ser deixada na solda, ou a junta pode ser montada sem soldar. Qualquer vazamento através das vedações durante a pressurização será facilmente detectado pela saída de água pelos orifícios, pela lacuna deixada na solda ou pela junta não soldada. A seguir são apresentados dois arranjos de teste hidrostático com resultados que são típicos dos inúmeros testes hidrostáticos que foram realizados:

Teste Hidrostático A.

Tubos DN 300 Schedule 40. Solda circunferencial completada com uma lacuna de 1" deixada na solda. Tubo pressurizado a 38 bar e mantido por 30 minutos. Sem vazamento de água pela lacuna de solda e sem perda de pressão durante o ensaio. Montagem do conjunto, soldagem e teste hidrostático testemunhado pelo cliente em Oakland, CA, em 2 de novembro de 2021. As Figuras 5 e 6, apresentadas a seguir, mostram aspectos desse teste.

Figura 5– Soldagem de tubos DN 300 Schedule 40 montados com uma luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas.



Fonte: Ilustração produzida pelo autor

Figura 6 - Teste hidrostático em tubos DN 300 Schedule 40 montados com uma luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas. Conjunto testado a 38 bar por 30 minutos.



Fonte: Ilustração produzida pelo autor

Teste Hidrostático B.

Dois niples curtos de tubo DN 150 Schedule 80, montados com uma luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas A junta foi deixada sem solda após a montagem. Os niples foram colocados entre dois flanges cegos e a montagem foi pressurizada em estágios a 315 bar (4.480 psi) ao longo de 7 horas e mantida por 2 horas a 315 bar. Sem vazamento de água para fora da junta não soldada e sem perda de pressão em nenhum estágio durante o teste. Data do teste 1º de dezembro de 2020. A Figura 7, apresentada a seguir, mostra uma colagem de fotos desse teste.

Figura 7 - Teste hidrostático em niples de tubo DN 150 Schedule 80 montados com uma luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas. Fotos da configuração de teste, da junta montada sem soldagem e da inspeção pós-teste da luva.



Fonte: Ilustração produzida pelo autor

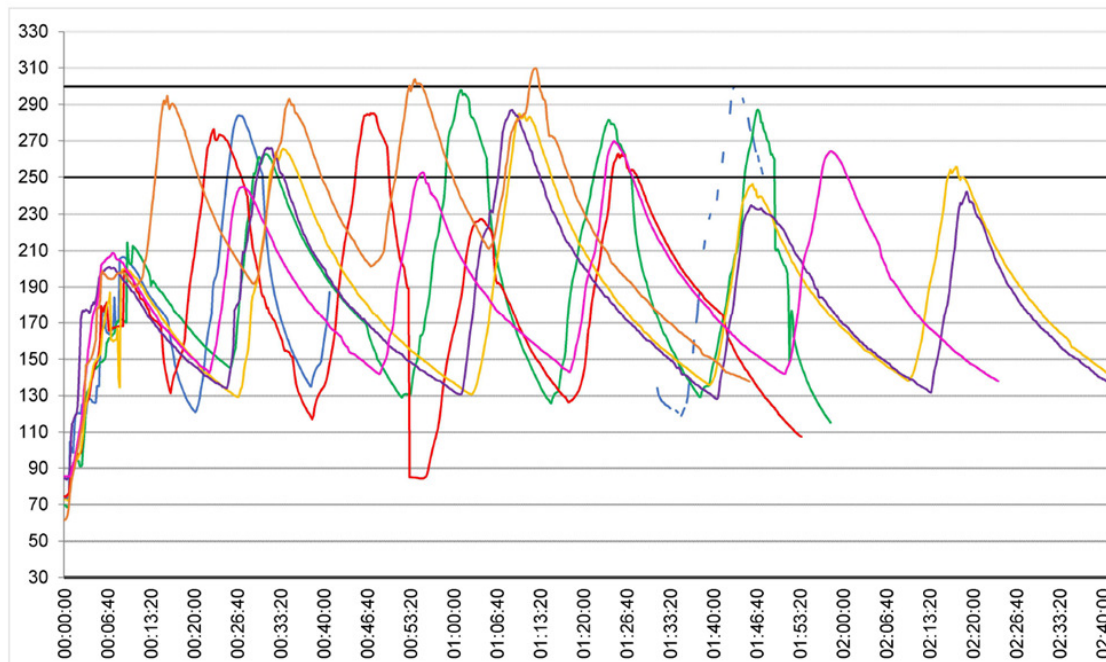
Testes de exposição ao calor do revestimento da luva.

Testes de soldagem foram realizados em juntas de tubos com luvas internas de proteção e selagem de juntas soldadas para verificar a exposição dos revestimentos de luva ao calor e verificar se as temperaturas estão abaixo dos limites de temperatura seca que o revestimento da luva pode suportar. Os testes envolveram termopares acoplados ao revestimento da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas, assim como imagens de câmera térmica infravermelha.

A Figura 8 apresentada a seguir, traz os resultados da exposição ao calor do revestimento da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas para 7 testes de soldagem diferentes de tubos DN 150 Schedule 40

(parede de tubo de 7,11 mm de espessura). As juntas foram soldadas com eletrodo E6010 de 3,2 mm, progressão descendente, temperatura máxima de interpasso 120°C (248° F). Termopares acoplados ao centro e extremidades da luva. Note-se que os ensaios de soldagem foram realizados com os mesmos parâmetros, mas com diferentes materiais de isolamento embutidos nas luvas. As temperaturas no gráfico estão expressas em graus Fahrenheit.

Figura 8 - Resultados do teste de exposição ao calor do revestimento da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas em 7 diferentes testes de solda executados em juntas de tubos DN 150 Schedule 40. Temperaturas em graus Fahrenheit.



Fonte: Ilustração produzida pelo autor

DEMONSTRAÇÕES DE SOLDA

Várias demonstrações de soldagem foram realizadas em juntas de tubos com luvas internas de proteção e selagem de juntas soldadas no Brasil nos Estados Unidos, no Chile e na Arábia Saudita, tanto para juntas soldadas de topo quanto com juntas soldadas do tipo *Butt Strap* para apresentar o sistema para empresas de engenharia, empreiteiros, concessionárias de serviços de água e saneamento e empresas mineradoras. As demonstrações incluíam todas as etapas de instalação do sistema, desde a inserção das luvas internas de proteção e selagem de juntas soldadas até a completção dos passes de acabamento da solda, com acompanhamento das temperaturas atingidas no revestimento interno dos tubos assim como no revestimento interno da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas. A Figura 9, apresentada a seguir, traz um aspecto de uma dessas demonstrações da soldagem de uma junta soldada do tipo *Butt Strap*, em tubos de DN 700, com 6,35 mm de parede.

Figura 9 – Demonstração da execução de junta soldada do tipo *Butt Strap* em tubos DN 700, 6,35 mm de parede.



Fonte: Ilustração produzida pelo autor

ENSAIO DE CAMPO

Um cliente, operador de petróleo e gás na Califórnia, EUA, instalou uma luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas em uma tubulação para determinar sua eficácia na proteção do interior da junta soldada contra corrosão. Foi decidido colocar a luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas na aplicação mais desafiadora em sua rede de dutos para determinar se eles poderiam aprová-la para uso em qualquer tubulação em seu sistema.

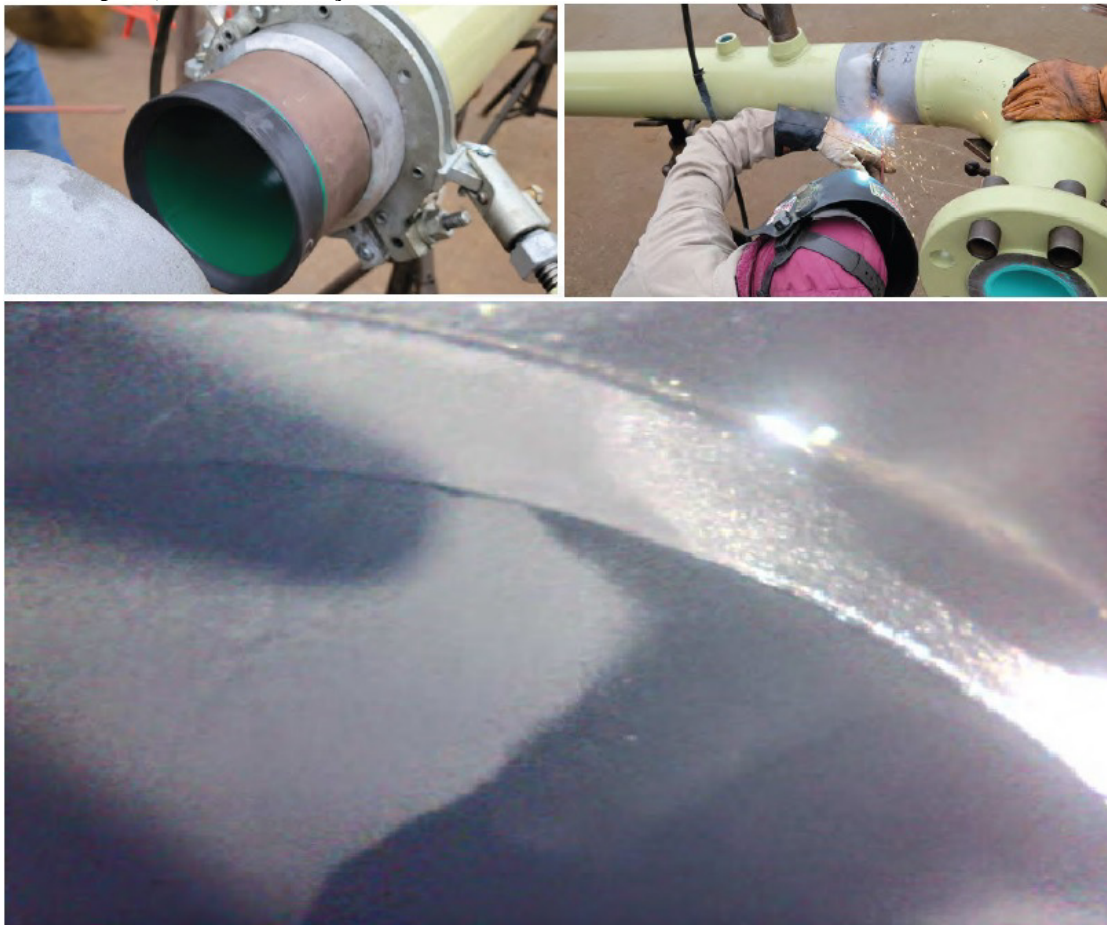
Descrição do Ensaio de Campo.

Tubulação de DN 150 para injeção de água produzida com uma temperatura de 43° - 88° C. A luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas foi instalada a jusante de uma curva de 90 graus soldada a uma redução para DN 100 que se conectava a uma bomba. O fluxo é extremamente turbulento nesse local com uma velocidade de 4 metros pés por segundo. A pressão de operação da tubulação é de 103 – 124 bar).

Resultados.

A tubulação foi retirada de serviço e a luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas foi inspecionada usando uma câmera de vídeo após 4,5 meses de serviço. Não foram observados problemas adversos na luva, embora, o revestimento interno do tubo apresentasse várias bolhas. O duto foi recolocado em serviço e, até o momento em que este artigo foi escrito, a capa está em serviço há 12 meses. A Figura 10, apresentada a seguir, traz uma colagem de fotografias da instalação do teste de campo e uma fotografia retirada do vídeo de inspeção interna da junta.

Figura 10 - Luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas instalada para teste de campo em tubo de DN 150 sob condições extremamente agressivas. Fotograma retirado do vídeo da inspeção interna após 4,5 meses de serviço.



Fonte: Ilustração produzida pelo autor

INSTALAÇÃO EM CAMPO

A luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas foi utilizada na construção da Adutora do Sistema São Francisco, uma adutora de água potável construída pela OEC para a Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA. O empreendimento consistia na captação de água no Rio São Francisco, visando a ampliação do Sistema de Abastecimento de Água de Montes Claros, principal município do Norte de Minas Gerais, reforçando a segurança hídrica daquela região.

A COPASA previa originalmente o uso de tubos de ferro fundido de 700 mm e de 600 mm para a adutora, que tem uma extensão total de 92,4 km e um prazo de execução desafiador, de apenas 12 meses, incluindo a construção e montagem hidromecânica das estruturas de apoio. O projeto, entretanto, foi licitado na modalidade “semi-integrada”, dando ao vencedor da licitação, que seria responsável pelo fornecimento da tubulação, autonomia para alterar algumas das premissas do projeto básico.

A empreiteira havia conquistado o contrato com um desconto de 35% em relação ao preço de referência da COPASA. Assim, para reduzir o custo total de construção e para executar o empreendimento no prazo e orçamento estipulados, entendeu necessária a substituição do material da adutora, tubos de aço carbono como alternativa aos tubos de ferro fundido originalmente previstos. O sucesso técnico e econômico da empreitada dependia basicamente de dois fatores: elevada produtividade nas soldas da tubulação e garantia de

estanqueidade integral nas juntas soldadas. A Figura 11 apresentada a seguir, traz as motivações técnicas e econômicas elencadas pelo empreiteiro para a alteração do material da adutora.

Figura 11 - Motivações técnicas e econômicas elencadas pelo empreiteiro para a alteração do material da adutora.



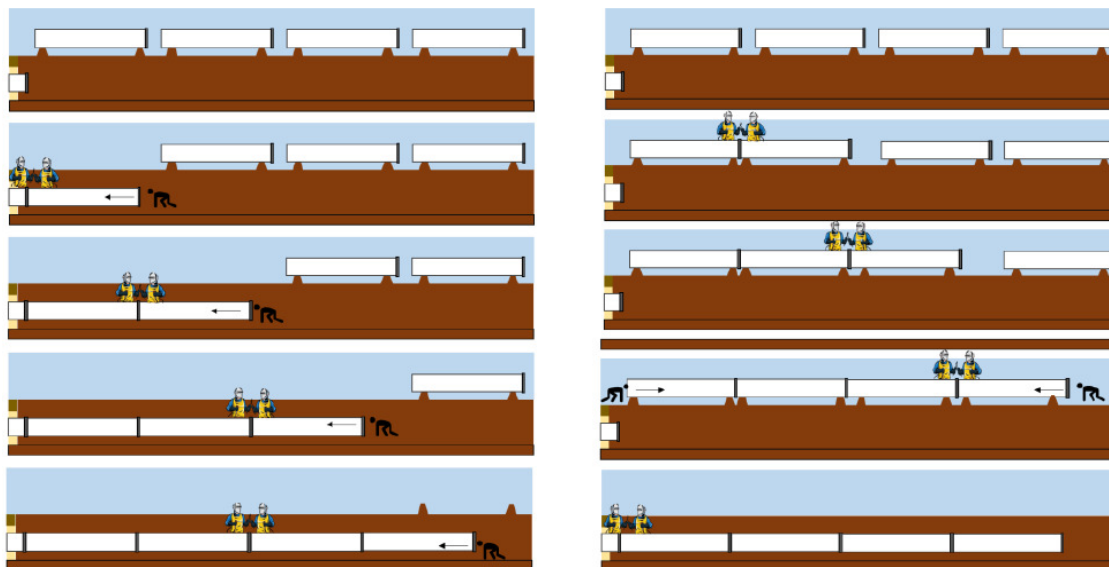
Fonte: Moraes, G.M e Oliveira, R.A. *Nova Metodologia para Maior Produtividade no Assentamento de Tubos de Aço Carbono*

Nova metodologia construtiva

A produtividade do processo “convencional”, no qual os tubos seriam descidos à vala e soldados um a um em tramos de 15 m, foi estimada em 6 soldas por dia. Nessa estimativa, a empreiteira considerou um ciclo médio de 90 min por junta soldada e revestida, descontando as horas paradas por deslocamento entre as frentes e eventuais imprevistos, com uma média de 5 soldas por dia, ou 75 m por equipe x dia. Considerando-se o prazo de execução da obra de 9 meses como fator crítico limitante, seria necessária uma produção diária média de 470 m/dia pelo sistema convencional, exigindo a mobilização de, no mínimo, 7 equipes.

Entendendo que não sendo possível reduzir a duração do ciclo completo de soldagem de uma junta, a empreiteira buscou utilizar o tempo de resfriamento a favor do aumento da produtividade. Assim, dos 4 soldadores previstos em cada equipe, uma dupla executava as soldas fora da vala, montando colunas de 4 tubos, (ou “quadras” com 60 m de comprimento) enquanto a outra executava as soldas de tie-in dentro da vala, após o abaixamento das colunas já montadas. Com essa metodologia, a equipe padrão chegou a produzir até 15 soldas por dia, sendo 3 delas dentro da vala e 12 fora da vala. Partindo-se dessa premissa e em condições favoráveis de tempo e de relevo do terreno, tornou-se possível montar 180 m de tubulação por equipe x dia e a produção média de 470 m/dia tornou-se factível com apenas 3 equipes, menos da metade daquela necessária prevista com a aplicação do método convencional. A Figura 12, apresentada a seguir, ilustra a comparação elaborada pelo empreiteiro, entre a metodologia tradicional e a nova metodologia proposta.

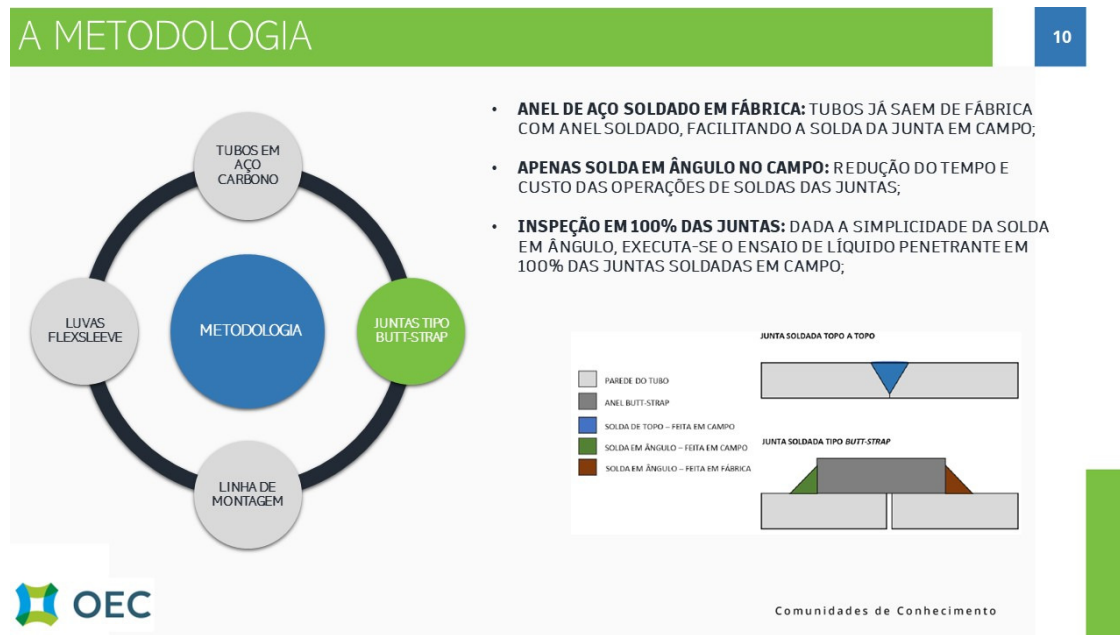
Figura 12 - Comparação entre a metodologia tradicional e a nova metodologia proposta pela empreiteira.



Fonte: Moraes, G.M e Oliveira, R.A. *Nova Metodologia para Maior Produtividade no Assentamento de Tubos de Aço Carbono*

A tubulação foi construída com juntas soldadas tipo *Butt Strap*. Os anéis externos dos *Butt Strap* eram soldados no interior e no exterior de uma das extremidades dos tubos, quer na fábrica quer no pátio de tubos, e as juntas eram montadas no campo inserindo a extremidades livres dos tubos nos anéis dos *Butt Strap*, seguindo-se a solda de filete dos *Butt Strap* na superfície externa dos tubos inseridos. A adoção dessa metodologia trazia, além do aumento da facilidade da execução do acoplamento dos tubos a serem soldados, a vantagem da simplificação dos ensaios não destrutivos das juntas soldadas. A Figura 13, apresentada a seguir, traz a comparação entre as juntas soldadas de topo e as juntas soldadas do tipo *Butt Strap*,

Figura 13 - Comparação entre a metodologia de juntas soldadas de topo e a metodologia de juntas soldadas tipo *Butt Strap*.



Fonte: Moraes, G.M e Oliveira, R.A. *Nova Metodologia para Maior Produtividade no Assentamento de Tubos de Aço Carbono*

Iniciada a montagem da adutora, a empreiteira verificou que o processo de empregar uma massa epóxi para recompor manualmente o revestimento interno do tubo de aço carbono sob cada junta soldada estava causando atrasos inaceitáveis no andamento dos trabalhos. Além disso, problemas potenciais de qualidade dessa recomposição e a segurança dos colaboradores que entravam na tubulação para executar a recomposição eram motivo de preocupação. Nesse meio tempo, A COPASA veio a aprovar o uso da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas no empreendimento, depois de inspecionar a instalação da luva em uma junta soldada usando a tubulação do projeto, e depois de testemunhar, tanto um teste de solda em tamanho real quanto um teste hidrostático de 8 dias de uma montagem feita de dois niples de tubo, montada sem solda usando a luva

A empreiteira terminou por instalar 432 luvas internas de proteção e selagem de juntas soldadas no empreendimento, utilizando-as em uma das três equipes de construção. As luvas internas de proteção e selagem de juntas soldadas foram usadas apenas para juntas de *tie-in* no interior da vala, e a recomposição manual do revestimento interno foi usada para as juntas soldadas fora da vala. A Figura 14, apresentada a seguir, traz uma vista aérea das atividades de construção da Adutora do Sistema São Francisco.

Figura 14 - Vista aérea das atividades de construção da Adutora do Sistema São Francisco.



Fonte: Moraes, G.M e Oliveira, R.A. *Nova Metodologia para Maior Produtividade no Assentamento de Tubos de Aço Carbono*

A Figura 15, abaixo, apresenta uma colagem das atividades de montagem das luvas internas de proteção e selagem de juntas soldadas usadas em juntas soldadas do tipo *Butt Strap* na construção da Adutora do Sistema São Francisco

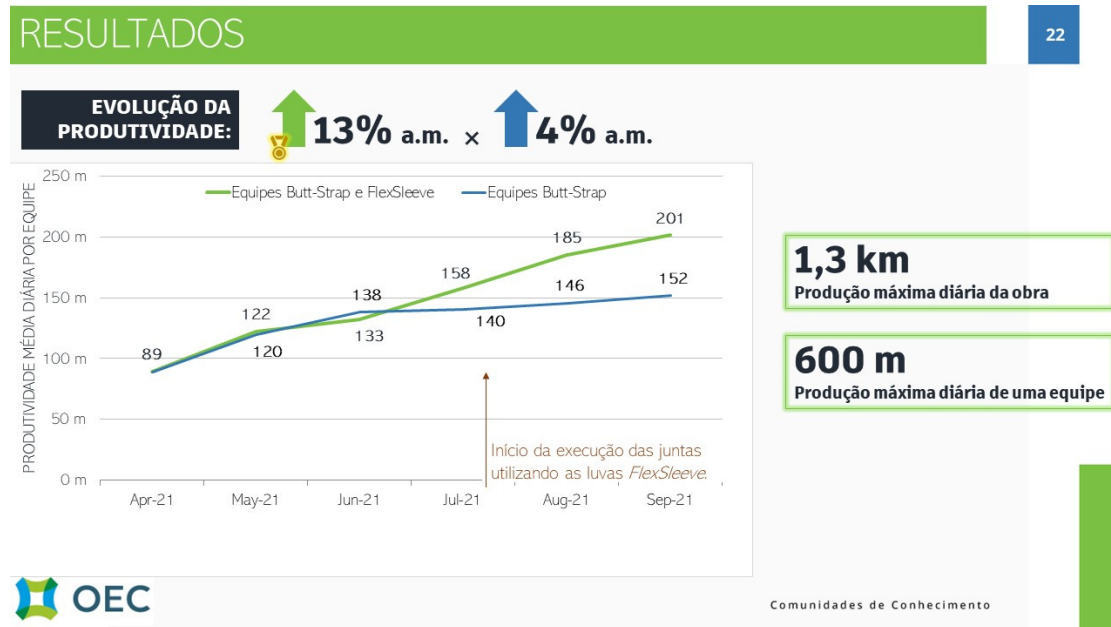
Figura 15 - Luvas internas de proteção e selagem de juntas soldadas usadas em juntas soldadas do tipo *Butt Strap* na construção da Adutora do Sistema São Francisco.



Fonte: Ilustração produzida pelo autor

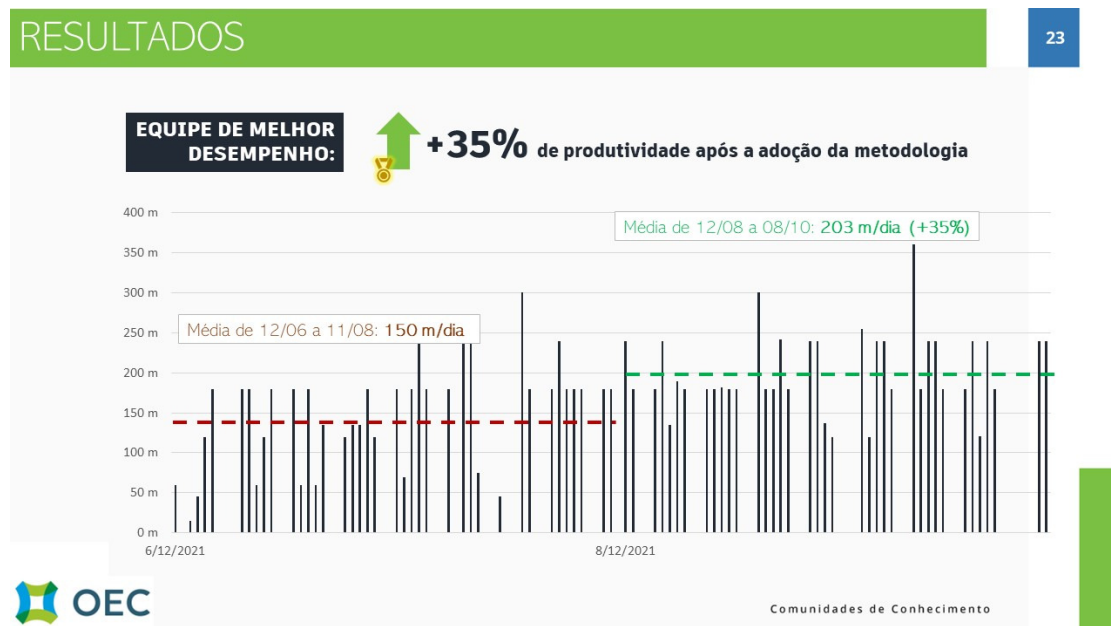
O empreiteiro comparou a velocidade de construção e os custos onde a luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas foi empregada versus a velocidade de construção e os custos onde foi usada a recomposição manual do revestimento interno dos tubos na região da junta soldada e reportou que a introdução da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas aumentou a produtividade em 28% e reduziu os custos de construção em 19%. A Figura 16 apresentada a seguir, traz a comparação da produtividade média das 3 equipes de construção da Adutora do Sistema São Francisco, antes e depois da introdução da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas em uma dessas equipes. Já a Figura 17, apresentada a seguir, traz a comparação da produtividade da equipe de melhor desempenho, antes e depois da introdução da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas. Note-se que a equipe que empregava as luvas internas de proteção e selagem de juntas soldadas contribuiu com 600 m para uma produção máxima diária de 1,3km de assentamento de tubulação.

Figura 16 - comparação da produtividade média das 3 equipes de construção da Adutora do Sistema São Francisco, antes e depois da introdução da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas em uma dessas equipes.



Fonte: Moraes, G.M e Oliveira, R.A. *Nova Metodologia para Maior Produtividade no Assentamento de Tubos de Aço Carbono*

Figura 17 - comparação da produtividade da equipe de melhor desempenho da Adutora do Sistema São Francisco, antes e depois da introdução da luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas



Fonte: Moraes, G.M e Oliveira, R.A. *Nova Metodologia para Maior Produtividade no Assentamento de Tubos de Aço Carbono*

Até o momento em que este artigo foi escrito, as luvas internas de proteção e selagem de juntas soldadas estavam em serviço há 24 meses, sem problemas adversos relatados.

CONCLUSÃO

Testes de fábrica e testes de campo provaram que a luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas é um método eficaz para proteger contra corrosão a superfície interna da junta soldada de uma tubulação de aço carbono. Uma instalação em grande escala provou que a luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas pode ser consistentemente instalada com uma velocidade que supera a da recomposição manual do revestimento interno da tubulação na região da junta, eliminando as preocupações de qualidade associadas à aplicação manual da recomposição do revestimento executada em campo.

A luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas vem sendo aplicada na construção de tubulações de grande diâmetro para transporte de água salgada, de água bruta e de água dessalinizada no Panamá, nos Estados Unidos e no Marrocos, assim como em tubulações de pequeno diâmetro e altíssima pressão para injeção de água recuperada em poços de petróleo no Colômbia. No momento, está em estudo sua aplicação na Arábia Saudita tanto em tubulações para transporte de água tratada quanto para tubulações para transporte de hidrocarbonetos.

A luva interna de proteção e selagem de juntas soldadas é fabricada no Brasil, atualmente sendo produzida na faixa de DN 100 a DN 1300, provou ser uma opção viável para facilitar e reduzir os custos da construção de tubulações de aço carbono revestidas internamente com filmes finos de materiais termicamente sensíveis para transporte e distribuição de água. Reduz os riscos de falha da recomposição interna do revestimento interno da tubulação na região da junta devido a condições ambientais ou erro manual e aumenta significativamente a velocidade de construção quando comparada à recomposição de junta interna executada manual ou roboticamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Moraes, G.M e Oliveira, R.A. (2022). *Nova Metodologia para Maior Produtividade no Assentamento de Tubos de Aço Carbono*, Revista *O Empreiteiro*, Disponível em <https://revistaoe.com.br/adutora-adota-sistematica-de-montagem-industrial/>. Acesso em 06/06/2024.