

AVALIAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS DE SOLDAGEM FCAW E GMAW, UTILIZADOS EM UMA INDÚSTRIA DE ESTRUTURAS METÁLICAS

SILVA, Carlos Rene da¹

FORTE, Luiz Antonio²

RESUMO

Uma alternativa para quem busca agilidade facilidade de ampliação e canteiro de obras limpas, a construção civil com estruturas metálicas vem ganhando cada vez mais espaço ao redor do mundo, principalmente no Brasil. Em uma indústria de estruturas, o principal processo de fabricação é a soldagem, onde devido a inúmeras vantagens os processos GMAW e FCAW são os preferidos. A partir disso, este trabalho teve como objetivo geral realizar uma avaliação comparativa entre os procedimentos de soldagem FCAW e GMAW realizados em uma empresa de estruturas metálicas. Sob o óbice de que ao analisar os processos utilizados, buscando alguma possível não conformidade, ou má execução do que se é proposto nas Especificações do Procedimento de Soldagem (EPS), é fundamental para o fator produtivo de uma empresa. Também pode ajudar na melhor compreensão de qual processo é mais recomendado para fabricação de peças específicas, tanto na parte de qualidade da solda, quanto na parte de viabilidade econômica para indústrias de estruturas metálicas. Utilizou-se para a metodologia, quanto a natureza, a pesquisa foi aplicada, como método e abordagem a qualitativa. Quanto aos objetivos, foi a descritiva e explicativa. Já a pesquisa teórica, foi bibliográfica, e para a pesquisa empírica, utilizará a pesquisa de laboratório e pesquisa ex- post – facto. Por fim, com as três etapas desta metodologia, é possível perceber que o procedimento FCAW seria o mais recomendado para a fabricação de estruturas metálicas, já que o mesmo apresentou bons resultados de produtividade.

Palavras-chave: Estruturas metálicas. Soldagem. Fatores econômicos. Parâmetros. Descontinuidades.

¹ Graduando em Engenharia de Produção UNINTER.

² Graduado em Engenharia Ambiental pela UTP e pós-graduado em Engenharia de segurança do Trabalho pela UTFPR

1 INTRODUÇÃO

Em uma indústria de estruturas metálicas, usualmente a composição de perfis estruturais é dada através de processos de soldagem, processo que também é utilizado na fabricação de vigas metálicas, posicionamento de acessórios e montagem final da obra em campo. A soldagem MIG/MAG (ou GMAW, do inglês *Gas Metal Arc Welding*) ganhou muito espaço neste tipo de indústria devido às suas principais vantagens, como alta produtividade e fator de ocupação do soldador. Entretanto, com o desenvolvimento da soldagem a Arame Tubular (ou FCAW, do inglês *Flux-cored Arc Welding*), a soldagem MIG/MAG acabou perdendo espaço, pois são dois processos muito semelhantes e o Arame Tubular garante uma maior integridade do metal de solda.

O presente trabalho é de suma importância, pois ao analisar os processos utilizados em uma empresa, buscando alguma possível não conformidade, ou má execução do que se é proposto é fundamental para o fator produtivo de uma empresa. Também pode ajudar na melhor compreensão de qual processo é mais recomendado para fabricação de peças específicas, tanto na parte de qualidade da solda, quanto na parte de viabilidade econômica para indústrias de estruturas metálicas.

Uma vez identificados os problemas e os diferentes tipos dos processos de soldagem utilizados em uma indústria de estruturas metálicas, torna-se necessário responder a seguinte pergunta: Quais as principais diferenças e vantagens com relação ao custo e desempenho dos processos de soldagem FCAW e GMAW?

Dessa forma, o presente artigo tem como objetivo geral realizar uma avaliação comparativa entre os procedimentos de soldagem FCAW e GMAW realizados em uma empresa de estruturas metálicas. Como objetivos específicos pretende-se (i) verificar qual possui a maior taxa de deposição; (ii) verificar qual possui o maior rendimento de deposição; (iii) realizar ensaio de tração em corpos de prova, soldados pelos mesmos processos, para verificar qual apresenta maior resistência a tração; (iv) avaliar economicamente os dois procedimentos que são executados; (v) discutir possíveis descontinuidades de soldagem que venham ser encontradas nos experimentos; e (vi) definir em quais situações um procedimento é mais indicado, perante ao outro.

Por fim, o artigo é estruturado em cinco seções, já com a inclusão da seção de Introdução apresentada. A seção 2 contém a fundamentação teórica. A seção 3 contém a metodologia aplicada ao desenvolvimento do projeto. A seção 4 apresenta resultados e discussões e por fim a seção 5 as considerações finais.

2 SOLDAGEM

A soldagem é um processo recente, porém seus predecessores, a brasagem e soldagem por forjamento, têm sido usados desde épocas remotas, como na fabricação de armas e ferramentas de trabalho na agricultura. Com o desenvolvimento de tecnologia para a obtenção de ferro fundido, no estado líquido, através de altos-fornos alimentados por rodas d'água, o processo de soldagem ficou em segundo plano. Assim a fundição se tornou o principal processo de fabricação, enquanto o processo de soldagem por forjamento foi substituído por outros processos como rebitagem e parafusagem. (MARQUES *et al.*, 2009)

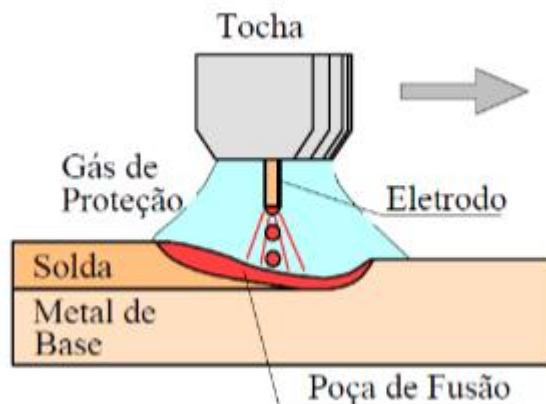
A soldagem assim ficou em segundo plano, até que graças a Revolução Industrial do século XIX, fez com que o processo de soldagem fosse aperfeiçoado. Em 1801, Sir Humphrey Davy, descobre o arco elétrico e Edmund Davy descobre o acetileno, gás combustível usado para produzir a chama oxi-acetilênica. Sir Davy também foi responsável pelo desenvolvimento de fontes produtoras de energia elétrica, que possibilitaram o aparecimento dos processos de soldagem por fusão. (INFOSOLDA, 2014)

2.1 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG – GMAW

O processo de soldagem a arco elétrico com proteção gasosa, do inglês Gas Metal Arc Welding – GMAW, no Brasil também conhecido como processo de soldagem MIG/MAG, o processo Metal Inert Gas - MIG é quando sua proteção gasosa se dá através de misturas inertes e o processo Metal Active Gas – MAG, quando sua proteção gasosa é composta por misturas de gases ativos. Este processo de soldagem acontece devido ao aquecimento através de um arco elétrico de um eletrodo metálico consumível

e o metal base de trabalho, protegidos por uma proteção gasosa inerte ou ativa (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009). A figura 1 esquematiza o processo de soldagem GMAW.

Figura 1 – Representação do processo de soldagem GMAW.



Fonte: MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009

O processo de soldagem GMAW com gás inerte, é recomendada para a soldagem de aços-carbono, aços de baixa liga, aços de media liga, aços de alta liga, aços inoxidáveis, magnésio e suas ligas, cobre e suas ligas e alumínio e suas ligas. Já o processo com gases ativos é indicado para a soldagem de aços de baixo carbono e liga. (WAINER, 1992)

A qualidade dos cordões de solda gerados através do processo GMAW, está ligada diretamente as suas limitações, sendo a principal sua maior sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação, além de uma necessidade de um ajuste rigoroso de parâmetros para se obter um determinado conjunto de características do cordão de solda. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009)

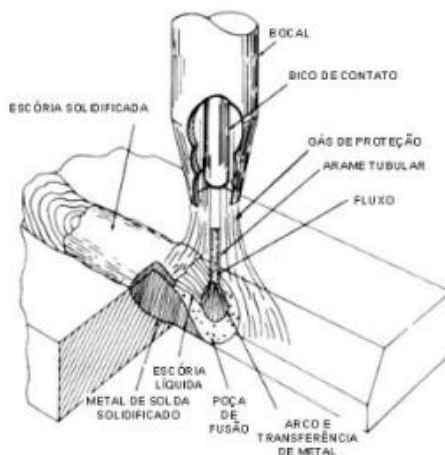
2.2 PROCESSO DE SOLDAGEM ARAME TUBULAR – FCAW

O processo de soldagem com arames tubulares (Flux-Cored Arc Welding – FCAW) é um processo de união de metais através do aquecimento dos mesmos por um arco elétrico, estabelecido entre um arame tubular e uma peça base. A proteção gasosa presente no processo é dada por um fluxo de gás contido dentro do arame, e também

pode ser suplementada por um gás de fonte externa. Os gases presentes no interior do consumível, podem também possuir outras funções além da proteção gasosa, como desoxidar e refinar o metal de solda, adicionando elementos de liga e estabilizando o arco. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009)

O processo de soldagem com Arame Tubular, segundo Fortes (2004), é o mesmo processo que o MIG/MAG e utiliza os mesmos equipamentos do processo de arame sólido, com ressalva a alguns casos requer equipamentos maiores. A principal diferença entre os dois processos está no seu desempenho na parte da produtividade, características de soldagem e integridade do metal de solda. Na figura 2, Fortes (2004) demonstra o processo de soldagem por arame tubular.

Figura 2 – Processo de soldagem por arame tubular.



Fonte: FORTES, 2004.

Os gases de proteção utilizados no processo são o CO₂ e misturas contendo argônio, as características e aplicações da soldagem com estes gases são as mesmas do processo GMAW, vistas anteriormente no item anterior.

O processo de Arame Tubular vem crescendo constantemente, devido principalmente a suas características e com o constante desenvolvimento de arame tubulares com diversos tipos de fluxos. Este processo vem sendo aplicado cada vez mais em indústrias navais e nucleares, em estruturas metálicas principalmente em plataformas petrolíferas e na fabricação de componentes e estruturas de aço carbono de baixa liga e aços inoxidáveis.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho utilizou: quanto a natureza, a pesquisa foi aplicada, como método e abordagem a qualitativa. Quanto aos objetivos, foi a descritiva e explicativa. Já a pesquisa teórica, foi bibliográfica, e para a pesquisa empírica, utilizará a pesquisa de laboratório e pesquisa ex- post – facto. Para a realização do procedimento experimental do presente trabalho, por questões de organização, o mesmo será dividido em três etapas.

Primeiramente, importante salientar que os referidos processos abaixo, serão realizados na Medabil Industria Em Sistemas Construtivos seguido para os ensaios no laboratório do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial- SENAI de Chapecó/SC.

Dessa forma, a primeira etapa consiste na soldagem sobre chapas: em posição plana sem chanfro, a partir de duas EPS qualificadas, onde será determinada a taxa de deposição, taxa de fusão e rendimento de deposição.

A segunda etapa é a determinação da carga máxima de ruptura, a partir de ensaios de tração de corpos de prova, com dimensões especificadas em normas, estes corpos de prova serão divididos em 3 grupos, o primeiro grupo serão os sem soldagem, para verificar a resistência do metal de base, o segundo grupo serão os soldados com o processo FCAW, para avaliar a resistência após a soldagem e por fim o grupo dos que serão soldados com o processo GMAW, para também avaliar a resistência dos mesmos após a soldagem.

Por fim, na terceira etapa realizará a comparação dos custos de soldagem para os dois processos.

3.1 ANÁLISE DA TAXA DE DEPOSIÇÃO E FUSÃO E RENDIMENTO DE FUSÃO

Para a realização do experimento, foi utilizado como metal de base o aço CST CIVIL 350, de espessura 9,5mm, onde foram cortadas da mesma chapa 12 pequenas chapas nas dimensões aproximadas de 165x120mm, conforme figura 3. Foram feitas 12 chapas, pois foram soldadas 6 para cada procedimento de soldagem, com 6

amostras é possível calcular um desvio padrão consistente, sendo assim estatisticamente representativo.

Figura 3 - Corte dos corpos de prova utilizados no experimento.



Fonte: Autor

Para controle do processo, as chapas foram nomeadas de acordo com o processo de soldagem que serão soldadas, assim as chapas soldadas com arame tubular receberam a nomenclatura “CPT” mais o número de ordem da chapa, para as que serão soldadas com o arame sólido receberam a nomenclatura “CPS” mais o número de ordem (figura 4).

Figura 4 - Chapas que serão soldadas com arame tubular (CPT) e arame sólido (CPS).



Fonte: Autor

Para a análise da taxa de deposição, taxa de fusão e rendimento de fusão a metodologia adotada, foi a mesma utilizada por diversos autores, dentre eles podemos

destacar Soeiro Junior, da Luz e Brandi (2015), Souza (2011) e Amoedo (2013) em seus trabalhos sobre comparação dos processos de soldagem GMAW e FCAW.

Esta metodologia determina a taxa de deposição através da relação entre os pesos finais e iniciais das chapas com o tempo do arco aberto. Para o cálculo da taxa de fusão, são relacionados os diâmetros dos arames, a velocidade de alimentação e a densidade do arame, e por fim o rendimento de fusão é dado pelo quociente entre as taxas de deposição e fusão.

Para a coleta dos dados de peso, tanto para as chapas que serão soldadas, quanto o arame para cálculo da densidade, foram pesadas em uma balança de precisão SHIMADZU (figura 5), devidamente calibrada disponibilizada pelo laboratório do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial- SENAI de Chapecó/SC.

Figura 5 - Balança de precisão utilizada para pesagem dos materiais.



Fonte: Autor

3.2 ANÁLISE DA CARGA MÁXIMA DE RUPTURA

Com intuito de conhecer a diferença da carga máxima necessária para ruptura de corpos de prova, soldados através de dois procedimentos de soldagem diferentes, foi realizado ensaio de tração em 18 corpos de provas, confeccionados a partir do aço CST CIVIL 350, com espessura 6,35mm. Destes 18 corpos de prova, 6 serão cortados nas dimensões de 23x200mm em uma máquina de corte a plasma e após usinados serão tracionados para avaliar a carga de ruptura do material sem qualquer tipo de solda.

Os demais corpos de prova serão feitos na seguinte metodologia, será cortada duas chapas de dimensões 265x200mm do mesmo material e feito um chanfro “V” repartindo-as ao meio. Com as chapas prontas, foi realizada a soldagem, com os mesmos parâmetros utilizados na primeira etapa do experimento. Os 18 corpos de prova foram em seguida encaminhados para serem usinados no centro de usinagem.

Os corpos de prova depois de usinados foram levados para o laboratório de ensaios mecânicos, onde foi utilizado o equipamento da marca EMIC, com capacidade para 100 KN, figura 6, para a realização do ensaio, a velocidade de tensionamento adotada foi de $8 \text{ N.mm}^2.\text{s}^{-1}$, esta velocidade foi escolhida por estar dentro da norma, que para materiais com modo de elasticidade maiores que 150.000 MPa, define que seja entre 6 e $30 \text{ N.mm}^2.\text{s}^{-1}$, e o matéria utilizado, que segundo Souza (1982) liga de aço-carbono e aços-liga em geral possuem Módulo de Elasticidade de 210.000 N/mm^2 .

Figura 6 - Equipamento utilizado para realização do ensaio de tração dos corpos de prova.



Fonte: Autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 FATORES DE PRODUTIVIDADE

Para análise dos fatores de produtividade, foi realizada a soldagem pelo arame tubular e pelo arame sólido conforme apresentado na figura 7.

Figura 7 - Chapas soldadas com arame tubular e sólido.



Fonte: Autor

4.2 AVALIAÇÃO DA TAXA DE DEPOSIÇÃO

Na tabela 1, a seguir, são apresentados os valores encontrados na pesagem das chapas, após soldagem e tempo de arco aberto durante o processo.

Tabela 1 - Valor encontrados após soldagem das chapas.

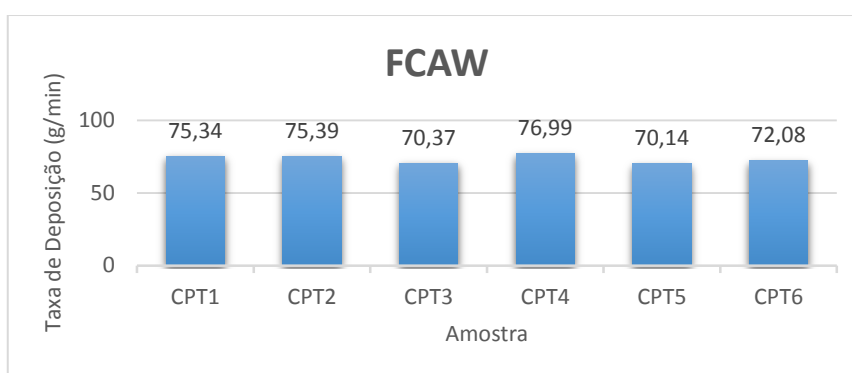
Chapa	Peso Inicial (g)	Peso Final (g)	Tempo (s)
CPT1	1567,02	1601,39	27,37
CPT2	1541,99	1575,99	27,06
CPT3	1557,47	1588,22	26,22
CPT4	1537,23	1574,51	29,05
CPT5	1534,5	1558,01	20,11
CPT6	1548,84	1573,42	20,46
CPS1	1567,16	1608,4	28,93
CPS2	1573,77	1622,22	32,53
CPS3	1550,92	1601,04	33,97

CPS4	1526,51	1576,36	33,34
CPS5	1547,36	1599,93	34,87
CPS6	1515,05	1567,77	35,10

Fonte: Autor

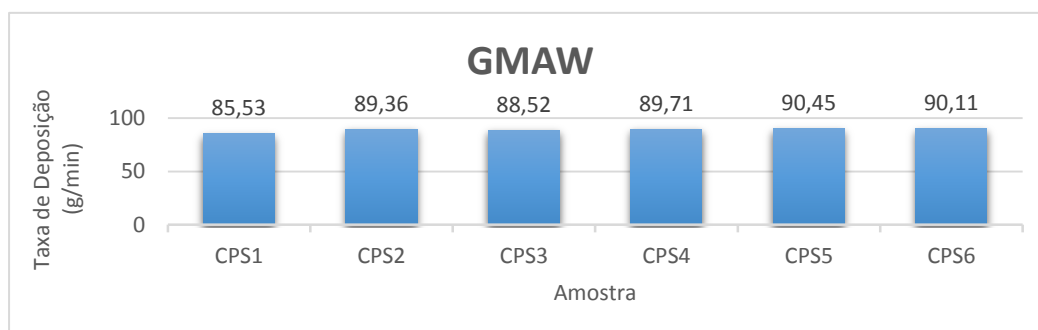
Utilizando a equação, a taxa de deposição encontrada é apresentada nos gráficos ilustrativos, para o processo FCAW e GMAW, nas figuras 8 e 9, a seguir.

Figura 8 - Gráfico da taxa de deposição por amostra para o processo FCAW.



Fonte: Autor

Figura 9 - Gráfico da taxa de deposição por amostra para o processo GMAW.



Fonte: Autor

4.3 AVALIAÇÃO TAXA DE FUSÃO

A partir da densidade, diâmetro e velocidade de alimentação do arame, foi possível calcular a taxa de fusão para os dois arames utilizados no processo, os valores são apresentados a seguir na tabela 2.

Tabela 2 - Taxa de fusão do arame sólido e tubular.

	Sólido	Tubular
Taxa de Fusão (g/min)	99,21	86,52

Fonte: Autor

4.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO

Para a avaliação da resistência a tração de corpos de prova soldados com os dois procedimentos, foi realizada a soldagem das chapas, que logo em seguida foram encaminhadas ao corte para obterem as dimensões de 23x200mm. A seguir são apresentados os corpos de prova soldados e cortados (figuras 10) de acordo com seus respectivos procedimentos de soldagem.

Figura 10 - Corpos de prova soldados e cortados, pronto para usinagem.



Fonte: Autor

Logo em seguida, os mesmos foram encaminhados para o centro de usinagem para obterem as dimensões normatizadas para ensaio de tração. Os corpos de prova usinados, com formato de acordo com a norma para ensaio de tração são apresentados na figura 11.

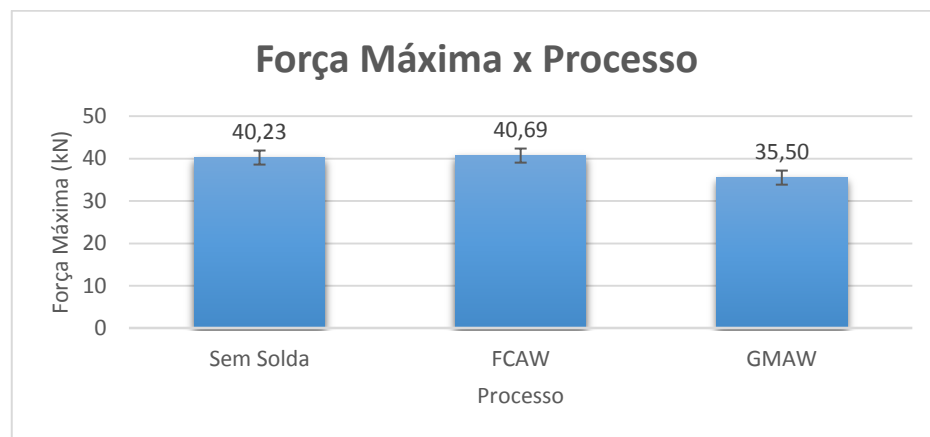
Figura 11 - Corpos de prova soldados, prontos para ensaio de tração.



Fonte: Autor

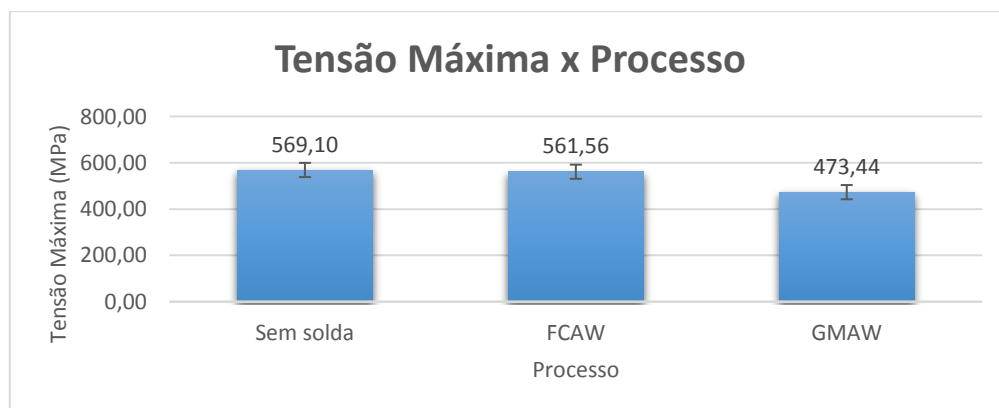
Os ensaios de tração foram realizados pelo laboratório do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial- SENAI de Chapecó/SC de acordo com a norma NBR ISO 6892 – Materiais Metálicos – Ensaio de tração à temperatura ambiente. Foram ensaiados num total de 18 corpos de prova, 6 sem solda, 6 soldados pelo procedimento FCAW e 6 soldados pelo procedimento GMAW. Com os valores encontrados nos ensaios podemos gerar gráficos para realização de uma análise entre os procedimentos executados. A seguir nas figuras 12 e 13, são apresentados os gráficos para análise de força máxima e tensão máxima das médias encontradas para os valores encontrados no ensaio.

Figura 12 - Gráfico ilustrativo das diferenças das médias das forças máximas encontrada entre os procedimentos.



Fonte: Autor

Figura 13 - Gráfico ilustrativo da diferença das médias das tensões máximas encontradas entre os procedimentos.



Fonte: Autor

Observando os gráficos de tensão e força máxima, podemos constatar que no processo FCAW foi produzida uma solda de qualidade elevada, já que todos os corpos de prova romperam no metal de base, figura 14, estando assim aprovadas, já que a norma AWS D1.1, requer para aprovação de um ensaio de tração, que não haja rompimento no cordão.

Figura 14 - Local de ruptura de um corpo de prova soldado pelo processo FCAW.



Fonte: Autor

Ao contrário do que aconteceu com o procedimento FCAW, onde tivemos cordões de solda de qualidade, os cordões gerados pelo processo GMAW apresentaram descontinuidades, salvo as amostras CS5-S (figura 15) e CS6-S que apresentaram resultados dentro do esperado.

Figura 15 - Local de ruptura de um corpo de prova soldado pelo processo GMAW, que não apresentou falhas.



Fonte: Autor

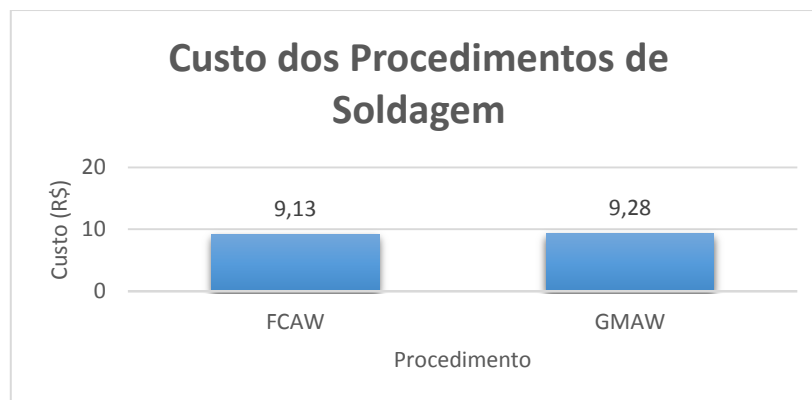
As demais amostras que apresentaram descontinuidades, pelos critérios de aceitação da AWS D1.1, estão reprovados já que as mesmas romperam no cordão de solda. O corpo de prova CS1-S, apresentou grande quantidade de porosidade interna o que fragilizou sua resistência, este problema tem como causa problemas no

fornecimento de gás de proteção, tanto falta, como excesso, correntes de vento no ato da soldagem, oxidações no material e presença de sujeiras. Os corpos de prova CS2-S, CS3-S e CS4-S apresentaram as mesmas descontinuidades, falta de fusão e empenamento. Estas duas descontinuidades, são problemas característicos da falta de habilidade do soldador no ato da soldagem, já que as principais causas destes problemas seriam a manipulação incorreta do eletrodo, sujeira na junta, velocidade de soldagem muito baixa.

4.5 AVALIAÇÃO DO CUSTOS DOS PROCEDIMENTOS

Os valores utilizados para o cálculo, foram disponibilizados pelos setores de RH, almoxarifado e manutenção, da empresa parceira ao trabalho, assim os mesmos utilizados são os reais valores pagos pela empresa. Os valores encontrados para o custo dos procedimentos que são utilizados na empresa são apresentados a seguir na figura 16.

Figura 16 - Custo dos procedimentos de soldagem utilizados nos testes.



Fonte: Autor

Analisando a figura 16, podemos perceber que para o experimento realizado na primeira parte do trabalho, o procedimento com arame sólido GMAW, apresentou um custo razoavelmente maior que para o procedimento com arame tubular FCAW. Embora o custo do arame tubular seja maior que o do arame sólido, a diferença se equilibra nos gases de proteção, onde o custo do metro cúbico de argônio custa aproximadamente 93% a mais que o preço do metro cúbico do dióxido de carbono.

Se a análise de custos fosse realizada em procedimentos, onde os mesmos parâmetros de soldagem são utilizados, provavelmente os custos do procedimento FCAW iriam ser maior, devido ao preço do arame que, para a empresa chegam a ser 51% maior, porém isso não refletiria diretamente no custo final da solda, já que os preços dos gases equilibrariam a comparação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na primeira parte do trabalho, analisando os resultados encontrados, ficou concluído que, para os parâmetros utilizados, os dois procedimentos apresentaram resultados praticamente iguais para taxa de deposição e para rendimento de deposição o procedimento GMAW apresentou valor maior, como já era esperado, devido a maior presença de geração de fumos e formação de escórias no processo FCAW.

Na segunda fase dos experimentos, onde foi realizado ensaio de tração em corpos de prova, para a verificação da carga de ruptura do material soldado, foi evidenciado que o procedimento FCAW, apresentou as características desejadas, ou seja, rompendo no metal de base e com cargas de rupturas maiores ou iguais aos dos corpos sem solda. Já os corpos de prova soldados pelo processo GMAW apresentaram descontinuidades em seus cordões, devido à má execução da soldagem e parâmetros elevados para a espessura do material.

A avaliação dos custos da soldagem realizado no trabalho, mostrou-se superior para o processo GMAW, devido principalmente graças ao custo do metro cúbico do gás argônio, que chega a ser 93% mais caro que o dióxido de carbono. Porém analisando todos os fatores envolvidos os dois procedimentos apresentam praticamente os mesmos custos.

Portanto com as três etapas desta metodologia, é possível perceber que o procedimento FCAW seria o mais recomendado para a fabricação de estruturas metálicas, já que o mesmo apresentou bons resultados de produtividade, contudo o procedimento GMAW também possui utilidades dentro de uma indústria de estruturas metálicas, o mesmo pode ser utilizado na montagem de acessórios nas vigas, onde apenas é realizado “ponteamto”, não é feito um cordão de solda, neste processo o

consumo de gás seria baixo, combinado com o custo inferior do arame, seria uma boa alternativa para redução de custos.

REFERÊNCIAS

AMOEDO, Augusto Zaffari. **Análise da taxa de deposição e da geometria de uma junta soldada pelo processo TIG pulsado com alimentação automática de arame.** 2013. 24 p. Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

FORTES, C. **Apostila Arames Tubulares**, ESAB BR, 2004.

INFOSOLDA. Fundamentos: Era Moderna. Disponível em: < <https://infosolda.com.br/53-era-moderna/> >. Acesso em 11 de abril. 2022.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre Queiroz. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia.** 3 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009. 362 p.

SOEIRO JUNIOR, Jaime Casanova; LUZ, Mauro Apolinário da; BRANDI, Sérgio Duarte. **Comparação da Taxa e Eficiência de Deposição entre os Consumíveis ER70S-6 e E71T-1C.** Soldagem & Inspeção. São Paulo, v. 20, n. 1, p. 2-15, mar. 2015. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242015000100002&lng=pt&nrm=iso>.

SOUZA, Claudio Ivanei de. **Análise comparativa dos processos de soldagem GMAW e FCAW com transferência metálica por curto-circuito na posição horizontal.** 2011, 121p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELO, Fábio Décourt Homem de. **Soldagem: processos e metalurgia.** São Paulo: Blücher, 1992. 494 p.