

## **ANÁLISE DO EFEITO DA ENERGIA DE SOLDAGEM PELO PROCESSO SAW NO AÇO ASTM A572**

Rafhael Junior De Moraes (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais campus Juiz de Fora) E-mail: rafhamorais@gmail.com

Matheus José Cunha de Oliveira (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais campus Juiz de Fora) E-mail: matheus.oliveira@ifsudestemg.edu.br

**Resumo:** A utilização de perfil soldado pela indústria de construção em aço possibilita a realização dos mais variados projetos no que tange a aspectos de engenharia e arquitetura. Sendo que o perfil soldado é um componente proveniente da união de chapas metálicas através do processo de soldagem por fusão. Deste modo, é de suma importância que a soldagem seja capaz de proporcionar uma junta conforme especificado por projeto. Sendo necessário o controle rigoroso de parâmetros como a penetração de solda, seleção dos materiais, posição de soldagem e consumíveis utilizados. Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência da energia de soldagem na resistência mecânica através do perfil de microdureza e microestrutura de juntas de solda do aço A572 Gr50 utilizando o processo de arco submerso. Onde para avaliação da resistência mecânica foi analisado o perfil de dureza Vickers da junta de solda e foi empregado técnicas de microscopia ótica para avaliar o comportamento da microestrutura do aço. Foram observadas relações entre o tamanho dos grãos da região de fusão e da região afetada pela solda com a energia de soldagem, bem como a alteração do perfil de dureza do aço. Parâmetros como penetração e geometria da solda também puderam ser relacionados com a variação de energia de soldagem.

**Palavras-chave:** SAW, ASTM A572, energia de soldagem.

## **ANALYSIS OF THE WELDING ENERGY EFFECT BY THE SAW PROCESS ON ASTM A572 STEEL**

**Abstract:** The use of welded profiles by the steel construction industry makes it possible to carry out the most varied projects in terms of engineering and architecture. Since the welded profile is a component from the union of metal sheets through the fusion welding process. Therefore, it is of paramount importance that the welding is able to provide a joint as specified by project. It is necessary to strictly control parameters such as weld penetration, material selection, welding position and used consumables. This work aimed to evaluate the influence of welding energy on mechanical strength through the microhardness profile and microstructure of A572 Gr50 steel weld joints using the submerged arc process. Where to evaluate the mechanical strength, the Vickers hardness profile of the weld joint was analyzed and optical microscopy techniques were used to evaluate the behavior of the microstructure of the steel. Relationships were observed between the grain size of the fusion region and the region affected by the weld with the welding energy, as well as the change in the steel hardness profile. Parameters such as penetration and weld geometry could also be related to the variation in welding energy.

**Keywords:** SAW, ASTM A572, welding energy.

### **1. Introdução**

Nas construções em aço são utilizados perfis estruturais que podem ser laminados, dobrado ou soldado. O perfil laminado é proveniente do processo de laminação do aço preaquecido em sucessivos passes até conferir ao metal o formato desejado. Processo esse que normalmente ocorre na própria usina siderúrgica (PFEIL, 2009). Já perfil dobrado são aqueles oriundos do processo de conformação mecânica a frio de dobramento, a partir de chapas metálicas laminadas que normalmente possuem espessura igual ou inferior a 3 mm (PFEIL, 2009). O perfil soldado é resultado da

montagem de chapas de modo que essas sejam unidas pelo processo de soldagem. A confecção de perfis soldados permite a possibilidade de produção com tamanhos e formas variadas, possibilitando assim, o uso de dimensões diferentes das regulamentadas por normas (PFEIL, 2009). Onde parâmetros como a penetração completa de solda, o material, posição de soldagem, o dimensional, e os consumíveis utilizados são extremamente importantes para confecção de peças que sejam capazes de cumprir a finalidade a qual foram projetadas mantendo as características previstas (VASCONCELOS, 2020).

Diante do exposto tal trabalho pretende analisar os efeitos da energia de soldagem sobre aspectos microestruturais, zona termicamente afetada pelo calor (ZTA) e propriedades mecânicas em juntas soldadas em ângulo composto por chapas de aço ASTM-A-572 GR-50, utilizando o processo de soldagem por arco-submerso.

## 2. Referencial teórico

Os aços estruturais são classificados em dois principais grupos de acordo com a sua composição química, aços-carbono e aços de baixa liga. Estes podem ainda passar por tratamento térmico o que provoca a modificação de suas propriedades mecânicas. Os aços-carbono são divididos em três grupos de acordo com o percentual de carbono em sua composição. Sendo eles o baixo carbono ( $C < 0,29\%$ ), o médio carbono ( $0,30\% < C < 0,59\%$ ) e o alto carbono ( $0,60\% < C < 2,00\%$ ). De modo que o aumento do carbono confere ao aço o aumento de resistência, porém acarreta na diminuição de sua ductilidade. Já os aços de baixa ligas são aços carbono com a adição de elementos ligantes como o cromo, molibdênio e o manganês que compreendem ao aço a melhora de algumas propriedades mecânicas. Determinados elementos de ligas são capazes de modificar a estrutura do aço para grãos finos e aumentar a resistência desses ainda mantendo o teor de carbono na ordem de 0,2%, o que compreende a esses aços uma boa soldabilidade (PFEIL, 2009). O aço adotado para o desenvolvimento do referido trabalho (ASTM-A-572) é classificado como aço de alta resistência e baixa liga.

É possível descrever a soldagem como sendo o processo de união entre duas partes metálicas usando se de uma fonte de calor e pode ter auxílio da pressão ou não. De modo que o resultado deste processo é a solda (WAINER, BRANDI, MELLO, 2004). Dentre os vários processos de soldagem existentes o processo utilizado no referido estudo é o de solda por arco submerso, também é conhecido por SAW (*Submerged Arc Welding*), tem como característica ser um método onde o calor para fundir o metal é proveniente de um arco que é gerado pela corrente elétrica que passa pelo arame de soldagem e a peça. Sendo que a área de solda que é compreendida pela peça, ponta do arame e o arco propriamente dito ficam cobertos por uma camada de material mineral granular conhecido como fluxo, evitando assim a presença de arco visível, faíscas, respingos ou fumos. O arame nu (eletrodo) é constantemente alimentado e produz o arco elétrico com a peça como já descrito anteriormente, sendo coberto pelo fluxo granular fusível que tem como função proteger o metal da contaminação atmosférica bem como agregar outras funções metalúrgicas como desoxidar e retirar impurezas através de reações químicas e adicionar elementos químicos (PEIXOTO, 2012).

Sendo capaz de afetar o fluxo de calor na junta soldada e conseqüentemente alterar diretamente variáveis relacionadas ao estado final da solda a energia de soldagem possui grande importância no processo. Tal parâmetro pode ser ajustado por meio do controle da potência, alterando parâmetros como corrente e tensão, como também pode ser ajustado pela velocidade de soldagem (VITOR, 2018). Desse modo, a energia de soldagem pode ser descrita como a potência da energia elétrica gerada no arco elétrico.

Proporcionando combinações entre os parâmetros de soldagem bem como aqueles relacionados às propriedades mecânicas e metalúrgicas da junta soldada. As alterações de valores da energia de soldagem são capazes de acarretar modificações na morfologia do cordão de solda alterando diretamente aspectos como largura e altura do cordão de solda e penetração. O gradiente térmico gerado na poça de fusão gera alteração na estrutura de solidificação (MARTINS et al., 2011). Para um mesmo processo, diferentes valores de energia de soldagem produzem alterações microestruturais e mecânicas na junta soldada (OLIVEIRA et al., 2019).

Sendo assim, pode ser descrita como a quantidade de energia conferida pela fonte de calor por unidade de comprimento do cordão de solda. Sendo capaz de conferir a junta soldada o crescimento de grãos, deformações, transformações microestruturais, descontinuidades e tensões residuais (STRINGARI, 2017). A energia de soldagem pode ser determinada conforme a equação 1.

$$E = \eta \cdot \frac{V \cdot I}{v} \quad (1)$$

De modo que E corresponde à energia de soldagem ou quantidade de calor (KJ/mm),  $\eta$  seria a eficiência térmica ou rendimento do processo (parâmetro adimensional), V a tensão do arco (Volt), I a corrente de soldagem (Ampères) e v a velocidade de soldagem (mm/min).

### 3. Materiais e métodos

Procurando estudar os efeitos da energia de soldagem em junta “T” de aço ASTM-A572 foram avaliados parâmetros como eficiência de penetração da solda, geometria da solda, microestrutura e perfil de dureza. A partir dos resultados experimentais busca-se compreender a relação do aporte térmico com os resultados obtidos do processo de soldagem para o aço em estudo. Para a elaboração da caracterização e soldagem do material foi adotada a sequência apresentada em formato de fluxograma presente na figura 1.

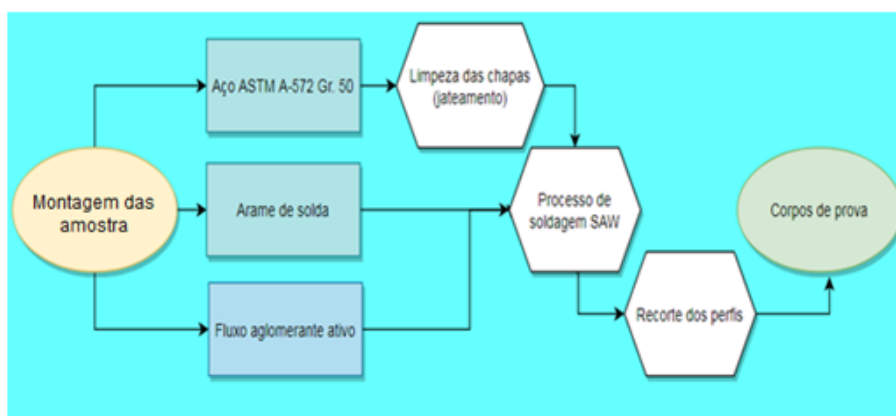


Figura 1 – Fluxograma da caracterização e soldagem dos materiais

As chapas foram unidas utilizando a solda por filete que pode ser adotada tanto para união de chapas sobrepostas quanto para união em ângulo. Sendo indicado o posicionamento da junta em ângulo entre 60° e 120° (PEIXOTO, 2012).

Na figura 2 é exposto o fluxograma da realização dos ensaios experimentais e análise dos dados.

Para soldagem de cada junta os seguintes parâmetros foram previamente fixados: avanço do arame em 173 pol/min, corrente em 500 A, gás CO<sub>2</sub> puro como gás de proteção. Apesar da utilização pura de CO<sub>2</sub> gerar mais respingos ao processo ele traz em contrapartida uma maior penetração da solda. Esses parâmetros foram seleccionados após análise prévia.

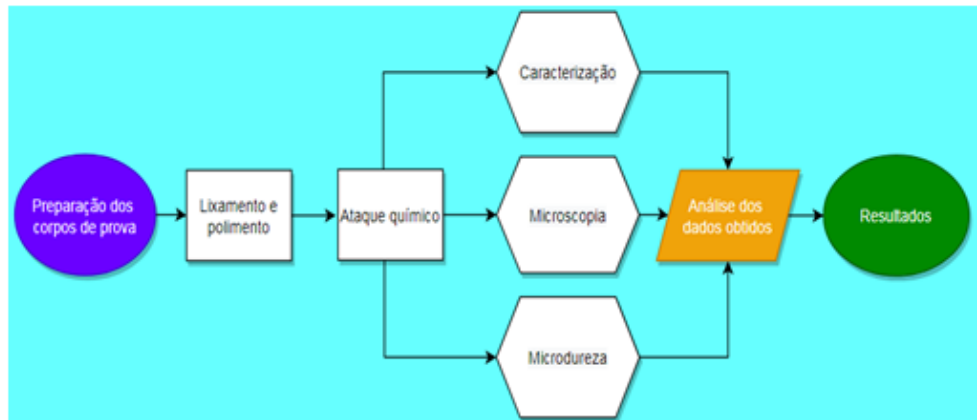


Figura 2 – Fluxogramas da realização dos ensaios e análise dos dados

Buscou-se avaliar o efeito da velocidade de avanço da peça e tensão de operação no comportamento mecânico-metalúrgico das juntas soldadas. Na Tabela 1 está representado todas os parâmetros de soldagem analisados.

Tabela 1 – Parâmetros adotados na soldagem

Corpo de Prova	Velocidade de avanço da peça (mm/min)		Tensão de operação (V)		Cateto de solda obtido
	Esquerdo	Direito	Esquerdo	Direito	
CP1-V32-v400	400	400	32	31	9x9mm
CP2-V31-v400	400	400	31	30	9x9mm
CP3-V29-v400	400	400	29	29	9x9mm
CP4-V32-v600	600	600	32	31	6x6mm
CP5-V31-v600	600	600	31	30	6x6mm
CP6-V29-v600	600	600	29	29	6x6mm

CP7-V32-v750	750	750	32	31	5x5mm
CP8-V31-v750	750	750	31	30	5x5mm
CP9-V29-v750	750	750	29	29	5x5mm

Visando auxiliar as análises de dados foi criado um código para os corpos de prova conforme os parâmetros variáveis adotados em sua elaboração de acordo com o exemplo mostrado na figura 3, sendo que em alguns casos poderá ser representado com o sufixo ZF (zona fundida), MB (metal base) ou ZTA (zona termicamente afetada).

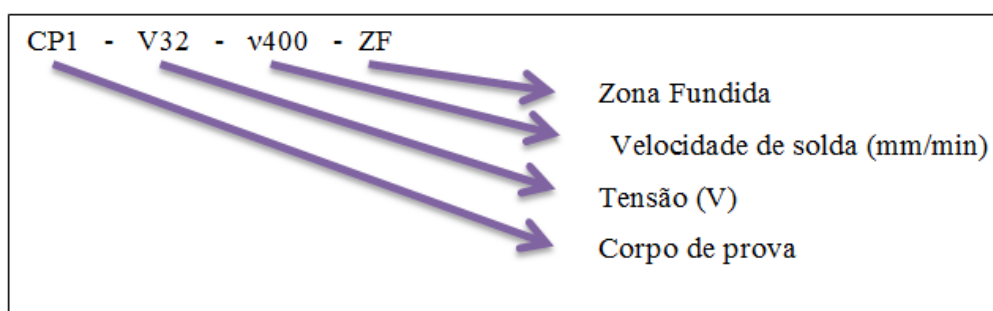


Figura 3 - Códigos corpos de prova

### 3.1 Análise metalográfica

Para realização da análise metalográfica dos corpos de prova foram realizados procedimentos recomendados pela norma ASTM E3-11 (ASTM, 2017). De modo que as peças passaram por corte transversal ao cordão de solda em serra circular refrigerada, lixamento seguindo a sequência de 100, 320, 400, 600 e 1000 mesh e posteriormente foi executado o polimento de acabamento em pano de feltro com pasta de diamante de 1  $\mu\text{m}$ . O lixamento e polimento foram executados com o auxílio da politriz e lixadeira metalográfica da marca Teclago modelo PL02 ED.

Após o polimento as mostras foram lavadas com álcool isopropílico 99° e passaram por secagem em jato de ar aquecido. Por fim foi realizado o ataque químico com solução de Nital 2%.

As imagens foram obtidas através de microscópio ótico modelo Primo Star do fabricante ZEISS com aumento de 20 vezes.

Todo o procedimento de metalografia bem como o ensaio de dureza foi realizado no Laboratório Físico – Mecânico da Divisão de Qualidade e Normatização – DVQN - da Indústria de Material Bélico do Brasil (IMBEL).

A determinação do tamanho de grão foi realizada pelo software ImageJ pelo método do intercepto descrito na norma ASTM E-112.

### 3.2 Microdureza

O ensaio de dureza foi realizado com as mesmas amostras utilizadas na caracterização metalográfica, portando essas se encontravam limpas, polidas e atacadas com Nital 2%.

Foi utilizado no procedimento um durômetro de bancada Hardness tester DHTMV-2000 com ajuste em 0,2 kgf, com 10 segundos de penetração e com aumento da lente de 400 vezes.

Durante o procedimento foi adotado um distanciamento em zig-zag entre as penetrações sendo realizadas 18 medidas ao longo de cada corpo de prova. De modo que fossem realizadas quatro medidas em cada ZTA, quatro medidas em cada ZF e duas medidas no MB como ilustra a figura 4, sendo que em cada região agrupada de quatro ensaios a distância entre eles foi de 0,5mm na posição horizontal.

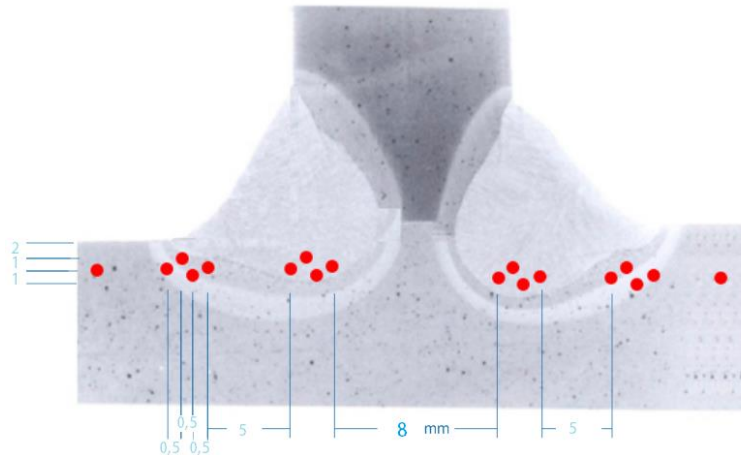


Figura 4 - Distribuição do ensaio de dureza

#### 4. Resultados e discussões

Com base nos parâmetros obtidos durante o processo de soldagem apresentados anteriormente na tabela 2 e a equação 1 foi possível determinar os valores da energia de soldagem para cada corpo de prova conforme demonstra a figura 5.

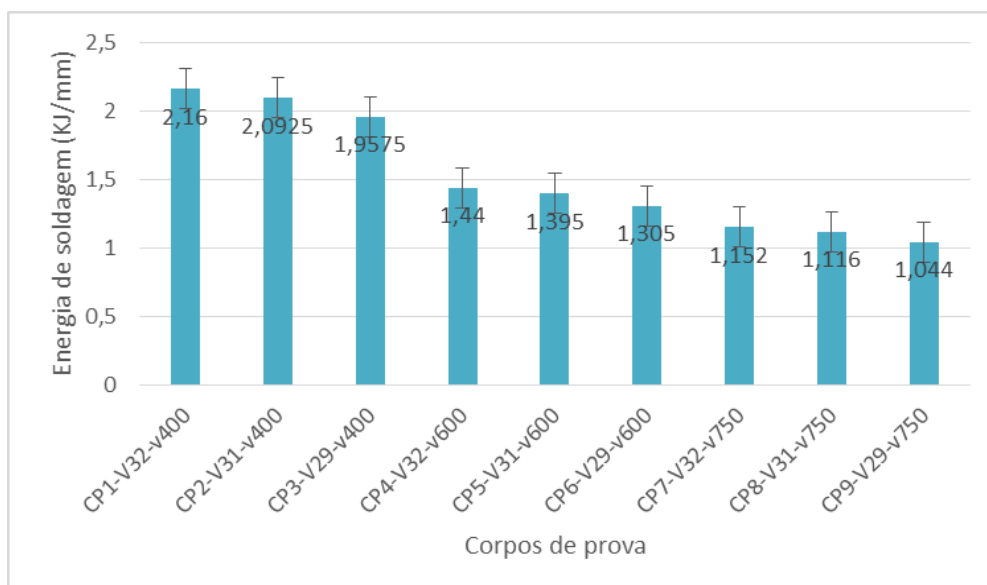


Figura 5 - Representação gráfica da energia de soldagem obtida.

Foi possível identificar a maior energia de soldagem na amostra CP1-V32-v400 cuja tensão aplicada foi de 32V e a velocidade de avanço da peça foi de 400 mm/min e o



caso de menor valor foi obtido pela amostra CP9-V29-v750 com tensão aplicada foi de 29V e a velocidade de avanço de 750 mm/min. Sendo possível então perceber que valores maiores para velocidade de avanço fazem com que a energia de soldagem diminua, assim como, valores maiores de tensão ou corrente são capazes de elevar a energia de soldagem.

Em relação aos cordões de solda quando comparados com a energia de soldagem, foi possível notar que para valores maiores de energia de soldagem a convexidade do cordão aumenta. Sendo que à medida que a energia de soldagem foi diminuindo essa convexidade também diminuiu como pode ser observado na figura 6 de modo que 6-a representa a amostra CP1-V32-v400 e 6-b a CP9-V29-v750. Onde essas amostras de maior e menor valor de energia de soldagem respectivamente, fato esse que se mostra contrário aos resultados obtidos por Wanderlind (2018) em estudo semelhante ao abordado.

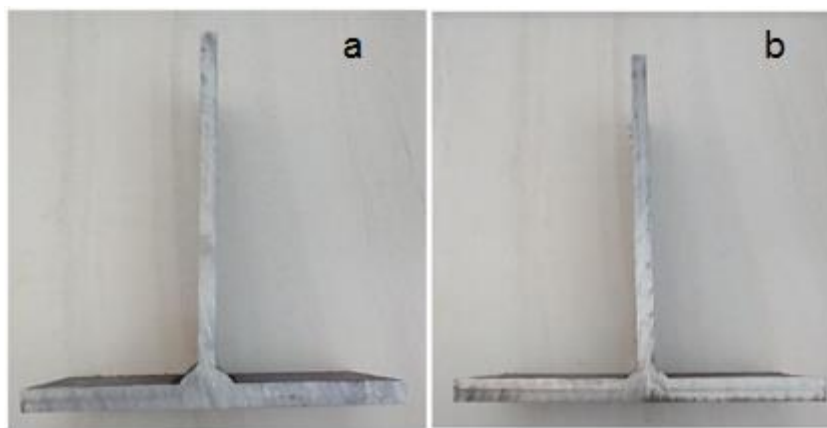


Figura 6 - Convexidade cordão de solda a-CP1-V32-v400 e b-CP9-V29-v750.

Após o ataque químico com Nital 2% foram reveladas nas amostras a zona fundida e consequentemente a penetração de solda. Fazendo comparação entre a penetração da solda e a energia de soldagem foi possível constatar que nos casos que apresentaram maior energia de soldagem também apresentaram maior penetração de solda. Podendo relacionar que a elevação do aporte térmico eleva a penetração da solda. Ainda em relação à penetração observou-se que nas amostras onde a energia de soldagem foi inferior a 2,09 KJ/mm não foi possível obter penetração total da solda nos corpos de prova, sendo que a amostra de menor valor possui a menor penetração. Vale ressaltar que o defeito apresentado na junção das duas chapas não se estende a zona fundida mas atinge a ZTA.

A figura 7 apresenta a microscopia realizada na amostra CP1-V32-v400. Sobre a zona de fusão, foi possível notar através de comparações com as morfologias de constituintes de micrografias padrão para aço que a ZF é composta de maneira geral por ferrita acicular, ferrita primária e perlita. Através das análises microscópicas das amostras foi possível relacionar a ocorrência do refinamento de grãos na ZF na medida em que a energia de soldagem diminuiu. Fato esse que para Silvério (2008) é explicado pela alta velocidade de resfriamento.

Em praticamente todas as amostras foram encontradas na ZF descontinuidade de solda como inclusões ou poros. Esse tipo de descontinuidade pode estar relacionado com valores elevados de aporte térmico pois, a elevada taxa de resfriamento não proporcionou tempo hábil para que os gases gerados na ZF pudessem escapar. Na região

da ZTA foi observado uma desordem no arranjo da estrutura e a diminuição dos grãos associada a queda da energia de soldagem.

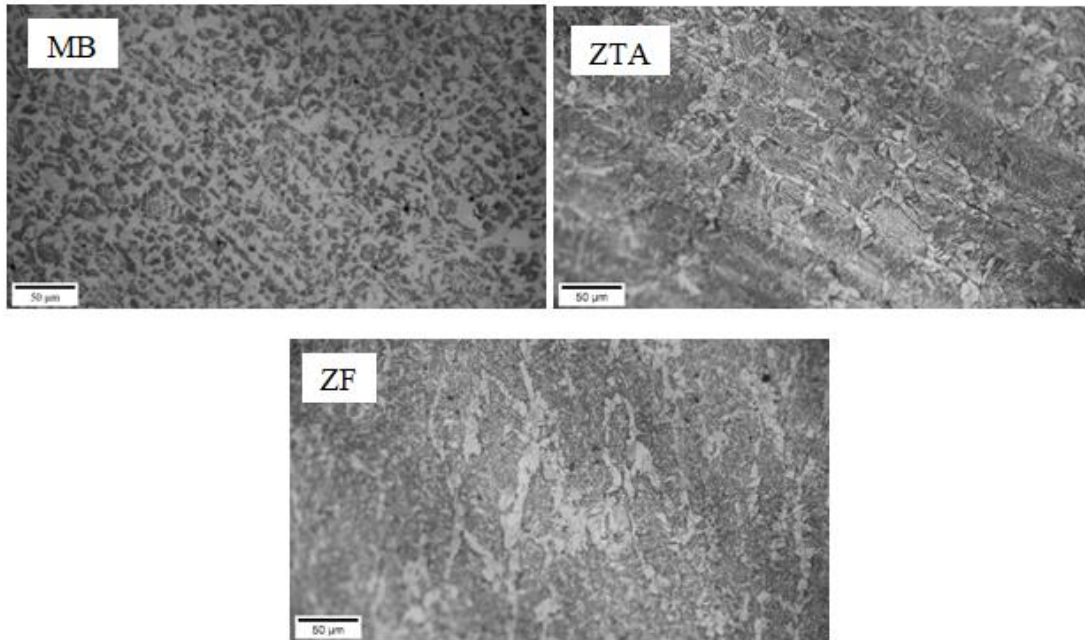


Figura 7 - Relação da penetração de solda pela energia de soldagem da junta CP1-V32-v400.

A média dos tamanhos de grãos obtidos está exemplificada na figura 8 e seus valores estão exemplificados na tabela 2 onde podem ser relacionadas com a energia de soldagem.

Figura 8 - Tamanho médio de grãos por zona.

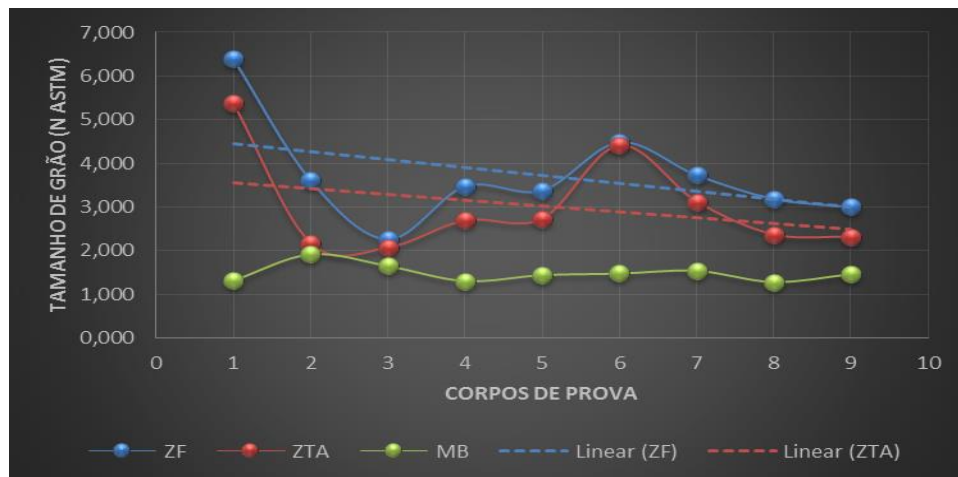


Tabela 2 - Tamanho de grão das amostras calculado.

CORPO DE PROVA	Energia de soldagem (KJ/mm)	ZF	ZTA	MB
CP1-V32-v400	36,00	6,392	5,367	1,309
CP2-V31-v400	34,88	3,618	2,167	1,920
CP3-V29-v400	32,63	2,265	2,060	1,651
CP4-V32-v600	24,00	3,475	2,683	1,300
CP5-V31-v600	23,25	3,382	2,722	1,437
CP6-V29-v600	21,75	4,481	4,402	1,473



---

CP7-V32-v750	19,20	3,732	3,117	1,539
CP8-V31-v750	18,60	3,187	2,363	1,277
CP9-V29-v750	17,40	3,003	2,306	1,459

---

A variação para o MB de maneira geral foi pequena, fato que era de se esperar tendo em vista que esse não é alterado pelo processo de solda. Na região da ZTA foi possível determinar certa diminuição do tamanho do grão com a queda da energia de soldagem. Salvo por alguns corpos de prova que apresentaram comportamento contrário. Segundo Nathan et al. (2015), a diminuição da energia de soldagem é capaz de provocar uma taxa de resfriamento rápida o que conseqüentemente resulta em uma microestrutura mais refinada.

Na zona fundida foi observado uma tendência semelhante a encontrada na ZTA onde novamente a redução da energia de soldagem levou a diminuição do tamanho de grão de uma maneira geral. Elevadas temperaturas levam ao crescimento de grão da ZTA mais que eventualmente esse comportamento pode ocorrer na ZF pela sensibilidade a fissuração no reaquecimento do aço de baixa liga. Fato esse que pode explicar o aumento do tamanho de grão apresentado pela amostra CP6-V29-v600 que não só apresentou esse comportamento na ZF como também na ZTA. Ou seja, foi possível notar uma tendência de redução do tamanho de grão da ZTA e da ZF associada a redução da energia de soldagem o que fica mais evidente se comparar os resultados obtidos pelas amostras com a mesma velocidade de deslocamento da peça pois essa é outra variável capaz de influenciar o tamanho.

Após as medições realizadas ao longo do corpo de prova como descrito anteriormente, foi possível perceber que em todas as amostras ocorreu o aumento da dureza nas regiões de ZTA e ZF. Fato esse que pode ser associado a diminuição do tamanho de grão relacionado à queda da energia de soldagem Nathan et al. (2015). De acordo com Borba et al. (2017), outros fatores que podem explicar esse aumento seriam a elevação de carbono nessas regiões, proveniente do metal de adição e além disso o fato dessa região sofrer elevação da velocidade de resfriamento e uma maior diluição do metal de solda acarretando assim no aumento da dureza.

As medições realizadas no MB não apresentaram grandes variações. Já as ZF apresentaram em alguns momentos uma redução da dureza quando comparados a ZTA como foi o caso do CP3-V29-v400. Tal variação pode ser proveniente da variação dos microconstituintes dessas regiões Silva et al (2018).

De acordo com a norma ABNT NBR 7007:2016 a dureza não é um requisito normalizado para aço A572. Porém, em todas as amostras a dureza da ZTA e ZF foram superiores a dureza do MB com valores acima de 200 HV e inferiores a 350HV que de acordo com Silva et al. (2018) esses valores demonstram que o material contribui de maneira expressiva para a diminuição ao trincamento a frio.

A figura 9 apresenta a distribuição do perfil de dureza sendo que para (A) são agrupadas as amostras com velocidade de solda igual a 400 mm/min, para (B) as amostras com 600 mm/min e para (C) as amostras com 750 mm/min.

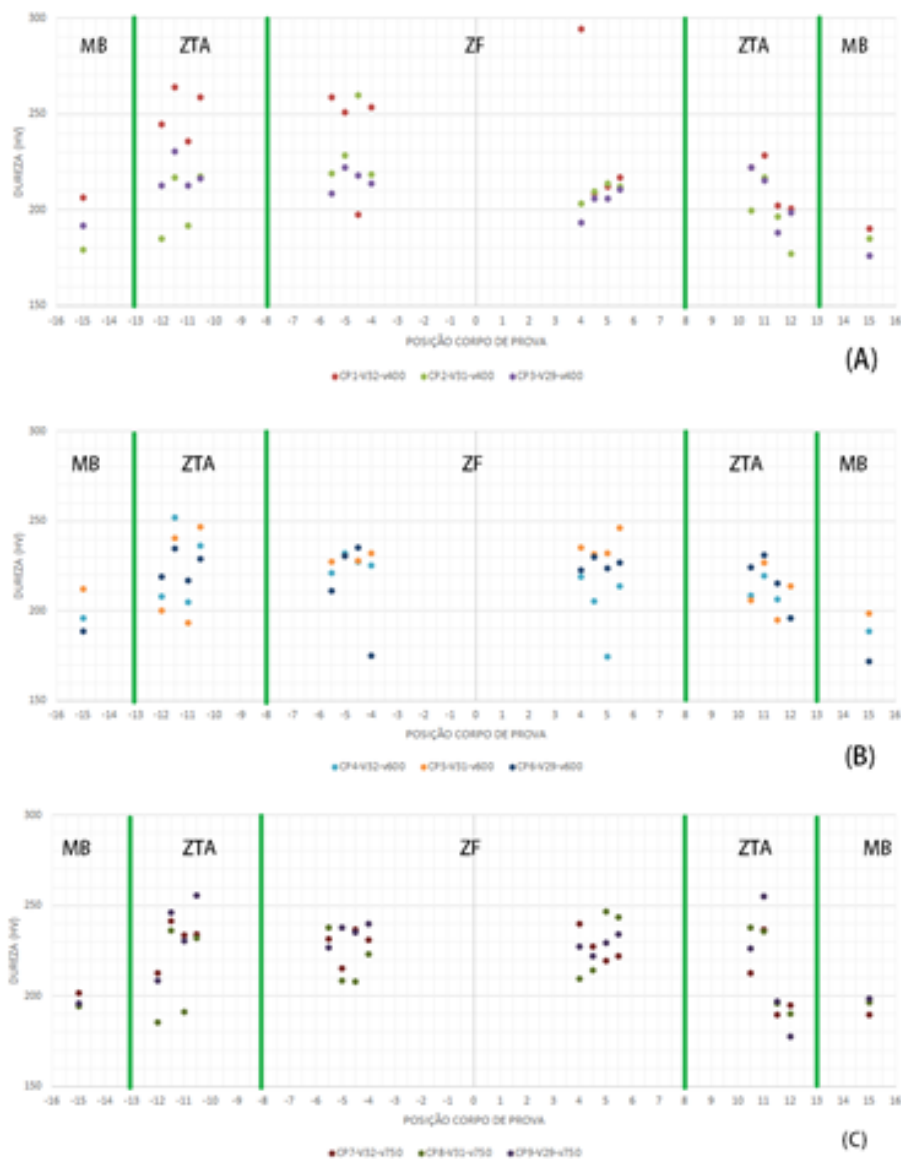


Figura 9 - Distribuição do perfil de dureza nas juntas soldadas a-velocidade de solda igual a 400 mm/min, b- 600 mm/min e c-750 mm/min..

Já a figura 10 destaca o perfil de dureza de três corpos de prova obtidos com a mesma tensão de operação, porém com a alteração nos valores de velocidade de avanço da peça passando por 400, 600 e 750 mm/min.

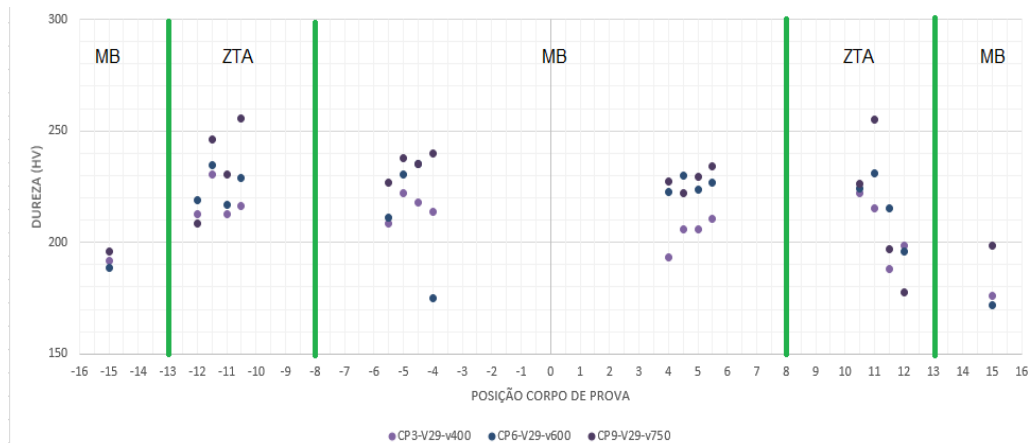


Figura 10 - Perfil de dureza a 29V.

Tal comparação foi realizada para simplificar os resultados já demonstrados na figura 10 onde é possível desta forma observar um comportamento de tendência ao aumento da dureza a medida em que ocorre a redução da energia de soldagem. Aumento esse que está relacionado também a velocidade de avanço mais que no ponto de vista da energia de soldagem é associado a diminuição do tamanho de grãos da estrutura provocado pela queda da energia de soldagem que proporciona a elevação da taxa de velocidade de resfriamento como Nathan et al. (2015) já haviam descrito. Na figura 11 é possível ver a tendência do perfil de dureza das médias obtidas na ZTA, ZF e MB em ambos os lados da amostra.

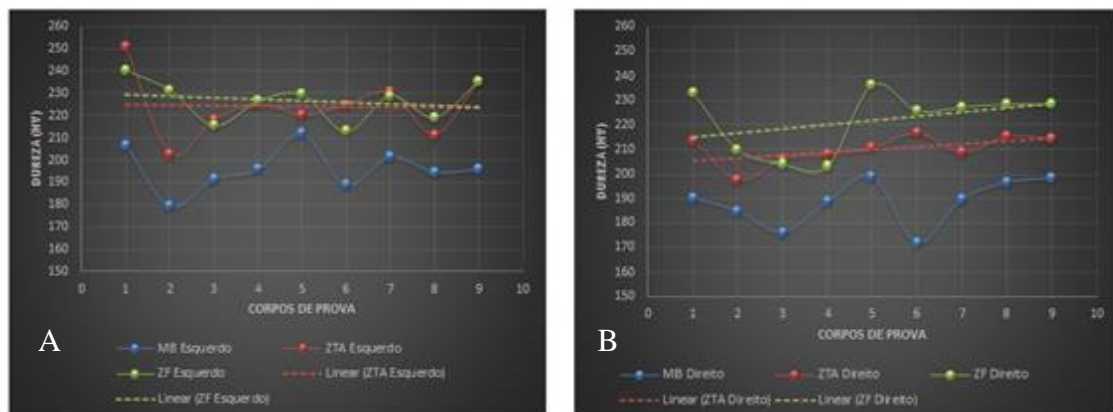


Figura 11 - Média do perfil de dureza a-lado esquerdo da solda e b-lado direito da solda.

É possível observar que do lado esquerda da solda não houve uma variação significativa do perfil de dureza na zona termicamente afetada nas condições de soldagem analisadas. Em contrapartida observou-se um aumento dos valores de dureza no lado direita da solda para as juntas soldadas com maiores velocidades e consequentemente menores energias de soldagem, como previamente discutido.

## 5. Conclusões

Após analisar os efeitos da energia de soldagem em juntas soldadas por SAW do aço ASTM A572 Gr 50 foi possível concluir que valores maiores de energia de soldagem implicam no aumento da convexidade dos cordões de solda bem como no aumento da penetração de solda. Sendo que para os casos abordados por esse experimento valores

inferiores a 34,8 KJ/mm de energia de soldagem foram incapazes de promover a total penetração da solda nos corpos de prova, o que provocou a falta de fusão total entre as chapas. Sendo que foi possível notar visualmente que a redução da energia de soldagem implicou em uma piora na homogeneidade dos cordões de solda onde que nos três últimos corpos de prova que apresentam valores inferiores de energia de soldagem chegou-se até mesmo a apresentar um comportamento próximo ao início de mordedura no cordão provocado pela redução da energia de soldagem associado a maior velocidade empregada nesse momento. Quanto ao comportamento do perfil de dureza foi apresentado uma tendência ao aumento de dureza associado a redução da energia de soldagem na zona termicamente afetada bem como na zona de fusão dos corpos de prova. Aumento de dureza esse que pode ser justificado pela diminuição do tamanho de grãos na ZTA e na ZF das amostras em função da queda da energia de soldagem.

### Referências

- BORBA, M. D. T. OLIVEIRA, S. R. GAMA, R. H. CAIZER, F. O. M. TURANI, O. L.** Avaliação da Soldabilidade do Aço Sincron EN 10025-4 S355M Aplicado na Fabricação de Torres Eólicas com Processo de Soldagem de Alta Deposição. *Soldagem & Inspeção. São Paulo.* 2017.
- MARTINS, W.P. et al.** Influência dos parâmetros de soldagem no comportamento microestrutural e nas propriedades mecânicas de juntas soldadas em aços ARBL. *Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas. Caxias do Sul.* 2011.
- NATHAN, S. R.; BALASUBRAMANIAN, V.; MALARVIZHI, S.; RAO, A. G.** Effect of welding processes on mechanical and microstructural characteristics of high strength low alloy naval grade steel joints. *Defence Technology*, vol 11. 2015.
- OLIVEIRA, M.J.C. MELO, R.H.F. ; MACIEL, T.M. ; DE ARAÚJO, C.J.** . Microstructural evaluation and mechanical behaviour of dissimilar niti-stainless steel joints welded by micro gas tungsten arc welding. *Materials Chemistry And Physics*, v. 224, 2019.
- PEIXOTO, A. L.** *Soldagem. Santa Maria.* UFSM. 2012.
- Pfeil, Walter. Pfeil, Michele.** ESTRUTURAS DE AÇO - Dimensionamento prático. 8ª edição. Rio de Janeiro. LTC. 2009.
- SILVA, H. A. F. CÂNDIDO, C. L. REIS, A. J. T. BARBOSA, A. N. M. R. CAMEL, K. ANDRADE, S. M.** Influência do aporte térmico na dureza da região de crescimento de grão da ZTA simulada na máquina GLEEBLE® de um aço HTP. *ABM. São Paulo.* 2018.
- SILVÉRIO, A. V.** Estudo da evolução do tamanho de grão na laminação a quente de barras de aço médio carbono microligados ao vanádio – 38MnSiV5. *PUC-SP. São Paulo.* 2008.
- STRINGARI, W.** Influência da energia de soldagem e consumíveis sobre a resistência a flexão de juntas “t” soldadas do aço docol 800 DL. *Monografia. Fahor. Horizontina.* 2017.
- VASCONCELOS, A; KISS, P; FRUCHTENGARTEN, J.** Como garantir o desempenho das ligações soldadas de estruturas metálicas?. *AECweb.* 2020.
- VITOR, M.** Avaliação dos efeitos do metal de adição no processo de solda a arco elétrico sobre um aço patinável. *Dissertação. Caxias do Sul. Universidade de Caxias do Sul.* 2018.
- WANDERLIND, A.** Efeitos dos parâmetros de soldagem GMAW com curva controlada na união dos aços dissimilares ASTM a572 grau 50 e ASTM a36. *Universidade do Extremo Sul Catarinense. Criciúma.* 2018
- WAINER, E. BRANDI, S. MELLO, F. D.** Homem. *SOLDAGEM – Processos e metalurgia.* 4ª reimpressão. São Paulo. Edgard Blucher. 2004.