ENG MAT CON
CONGRESSO ONLINE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS
Edição 2021

AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS DE SOLDAGEM DEPOSITADO PELO PROCESSO ARCO SUBMERSO PARA A FABRICAÇÃO DE UMA VIGA PERFIL I

III Congresso Online de Engenharia de Materiais. inscrições encerradas, 4ª edição, de 27/04/2021 a 30/04/2021
ISBN dos Anais: 978-65-89908-00-5

FERREIRA; Patrícia Aparecida de Almeida [1]

RESUMO

1. RESUMO

Atualmente, o mercado tem encorajado e impulsionado as empresas para oferecer produtos ou serviços de forma diferenciada, onde quebra de paradigmas, novas tecnologias e ciclo produtivo otimizado são pilares para obtenção de resultados efetivos. Os processos de união por soldagem têm alcançado avanços tecnológicos e oferece a indústria um leque de alternativas de processos de união. Dentro deste contexto o presente trabalho propõe a utilização do processo de soldagem a arco submerso (SAW) para a soldagem de uma viga estrutural de um veículo ferroviário (Locomotiva), que até então era fabricada somente pelo processo de laminação a quente, pois haviam receios relacionados à resistência inadequada, torções e empenos que inviabilizavam a soldagem, porém fatores como importação e a necessidade de nacionalização impulsionaram fortemente a fabricação desta viga por soldagem. Fabricar esta viga pelo processo de soldagem permitiu a nacionalização de um componente, que além de gerar produção para o mercado nacional.

2. ABSTRACT

Nowadays the market has encouraged and pushes companies to offer products or services in a differentiated way, where breaking paradigms, new technologies and optimized production cycle are pillars to obtain effective results. The processes of union by welding have reached technological advances and offer the industry a range of alternatives of union processes. In this context, the present work proposes the use of the submerged arc welding process (SAW) to weld a structural beam of a railway vehicle (Locomotive), which until then was only manufactured by the hot rolling process, since there were fears related to the inadequate resistance, twisting and bends that could be irreversible, but factors such as importation and the need for nationalization strongly stimulated the manufacturing of this beam by welding. Manufacturing this beam by the welding process allowed the nationalization of a component, which besides generating production for the domestic market.

[1] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, patricia_epga@yahoo.com.br

3. INTRODUÇÃO

O transporte ferroviário brasileiro possui um grande potencial devido toda a sua extensão territorial. Porém, devido aos insuficientes recursos empregados no modal ferroviário no país, permite que o Brasil tenha atualmente somente cerca de 30.000 km de extensão de malha ferroviária. Na matriz do transporte no Brasil, este modal representa aproximadamente 25%, ao passo que o modal rodoviário possui cerca de 58%. Quando comparado com outros países desenvolvidos e também de grande extensão territorial, a matriz de transporte ferroviária representa em torno de 43%.

Por isso, toda melhoria que venha contribuir para minimizar os custos de uma locomotiva (veiculo ferroviário), resultarão em benefícios para os concessionários que atualmente, gerenciam grande parte da malha ferroviária brasileira.

A figura 1 apresenta uma locomotiva de carga que utiliza um par de vigas do tipo “I”, as quais são objeto principal deste estudo. Estas vigas são utilizadas como base estrutural da Locomotiva.

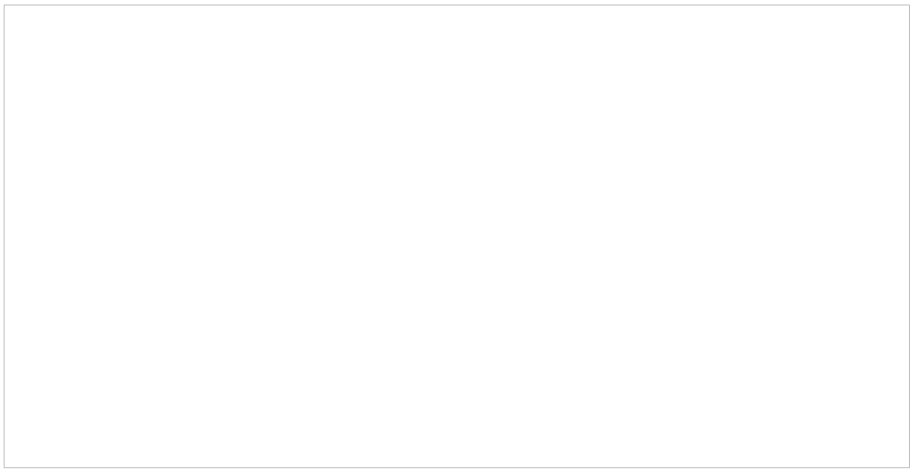

Figura 1 - Locomotiva de Carga Modelo AC-44i.

4. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi dividida em três etapas conforme apresentado na figura 2. A primeira etapa consistiu na execução da soldagem preliminar da viga perfil I. Os parâmetros de soldagem iniciais utilizados foram os que já estavam definidos em uma especificação do processo de soldagem (EPS) conforme norma AWS D1.1.

Na 2° etapa foram realizadas soldas de cordões sobre chapas. Utilizou-se dados mínimos e máximos da soldagem de cada passe, e a partir destes dados foi possível construir uma faixa de parâmetros em três níveis de corrente. O intuito desta etapa foi selecionar os melhores parâmetros de soldagem para serem utilizados na terceira chamada de soldagem final em amostra de viga perfil I.

[1] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, patricia_epga@yahoo.com.br

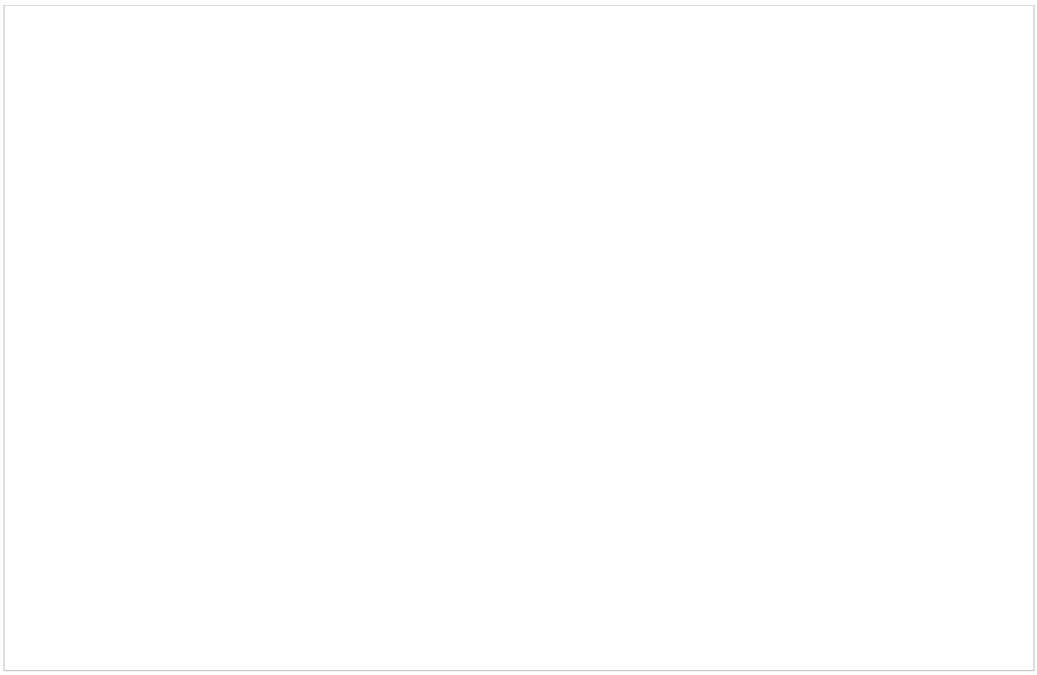

Figura 2 - Procedimento experimental.

Para a realização da soldagem da viga e dos corpos de prova foram utilizadas chapas do aço ASTM A572 grau 50 e os consumíveis foram arame sólido cobreado, acalmado com médio teor de manganês: AWS A5.17 EM12K e o fluxo foi o aglomerado neutro básico AWS A5.17 F7A5-EM12K.

4.1 Soldagem preliminar em viga perfil I

Na primeira etapa foi executada a soldagem em quatro vigas, sendo três passes para cada junta. Como cada viga possui quatro lados, ao final, dezesseis lados (juntas) foram soldadas, obtendo desta forma dezesseis filetes para cada passe. A partir destes dados foi possível conseguir os parâmetros de soldagem que seriam utilizados na segunda etapa. Para a construção da viga em “I” soldada, foram utilizadas duas chapas para formação das abas, denominadas de aba superior e inferior.
Para a execução da solda, foram realizados três filetes, sendo 1 passe de raiz, 1 de enchimento e 1 de acabamento. As vigas foram soldadas na posição 1F com a utilização de uma fonte retificadora com tensão constante e capacidade de corrente de até 800A.
Foram realizadas pelo o software Medições Electron a medição de penetração da solda. A caracterização mecânica foi pelo ensaio de microdureza. Foram realizadas três medições de dureza nas regiões da solda, sendo, metal de base (MB), zona fundida (ZF) e zona termicamente afetada (ZTA).

4.2 Soldagem em corpos de prova

Nesta segunda etapa foram soldados cordões sobre chapas. Os 27 cordões realizados representam os três passes de soldagem de uma viga, sendo nove cordões para cada passe.
Com a obtenção dos parâmetros de soldagem por intermédio da soldagem preliminar da primeira etapa, foi possível construir uma matriz de dados. A tabela 1 apresenta os valores para estes três níveis considerando como exemplo o passe 1 de soldagem.

[1] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, patricia_epga@yahoo.com.br

Tabela 1 - Variáveis retiradas da matriz de dados para formação dos níveis de variação.

Por fim, foram estabelecidos três blocos de variáveis de soldagem, a serem executadas em nove cordões para cada passe de soldagem. A tabela 2 apresenta os valores para 1 destes bloco considerando o passe 1 de soldagem.

Tabela 2 – Divisão de blocos de parâmetros para execução da soldagem de corpos de prova.

Foi medido o reforço, largura, a penetração e a área da ZTA do cordão. A figura 3 ilustra as linhas de medições da amostra e destaca as regiões de soldagem.

Figura 3 - Medição das áreas de soldagem.

Para selecionar o melhor cordão de cada passe, criou-se uma matriz de classificação, tabela 3 considerando uma escala de avaliação de “muito relevante” a “irrelevante”.

[1] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, patricia_epga@yahoo.com.br

Tabela 3 - Matriz de classificação.

Na caracterização microestrutural foi verificado a microestrutura das três principais regiões de soldagem, MB, ZF e ZTA. Foi feito um perfil de dureza nas regiões da solda, as medidas foram realizadas em duas direções, vertical e horizontal.

4.3 Soldagem final em amostra de viga perfil I

A soldagem foi realizada de forma similar à soldagem da primeira etapa. A tabela 4 apresenta estes parâmetros por passe.

Tabela 4 - Parâmetros de soldagem utilizados na soldagem final.

No ensaio de macrografia foram analisadas uma das faces de 2 amostras retiradas do centro.

5. RESULTADOS e discusSÃO

A tabela 5 apresenta os valores dos parâmetros de soldagem para o passe 1 realizado nas quatro vigas, houveram também as mesmas tabelas para os passes e 3.

[1] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, patricia_epga@yahoo.com.br

Tabela 5 - Parâmetros de soldagem das soldas do passe 1.

A figura 4 apresentam as cotas realizadas nas macrografias da viga 1, face 1 e 2 da amostra 3.

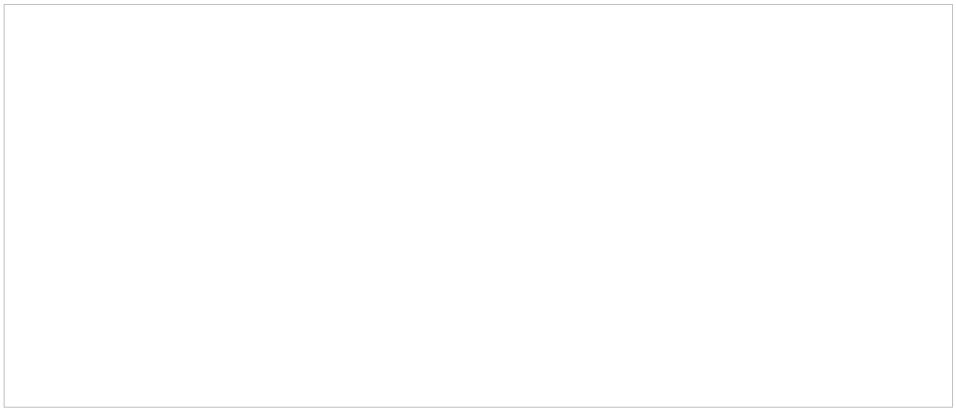

Figura 4 – Macrografia da amostra 3 face 1 e 2 respectivamente.

A figura 5 apresenta as micrografias das áreas avaliadas da amostra A3 face 1.

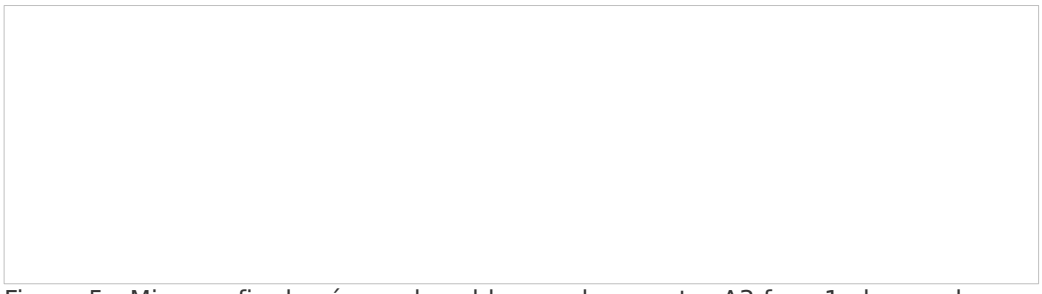

Figura 5 - Micrografia das áreas de soldagem da amostra A3 face 1 observadas no MO.

[1] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, patricia_epga@yahoo.com.br

Foi verificado no microcópio eletrônico de varredura (MEV) a área de transição da ZTA para ZF, com aumento de 100X e escala de 100 mm, ver figura 6.

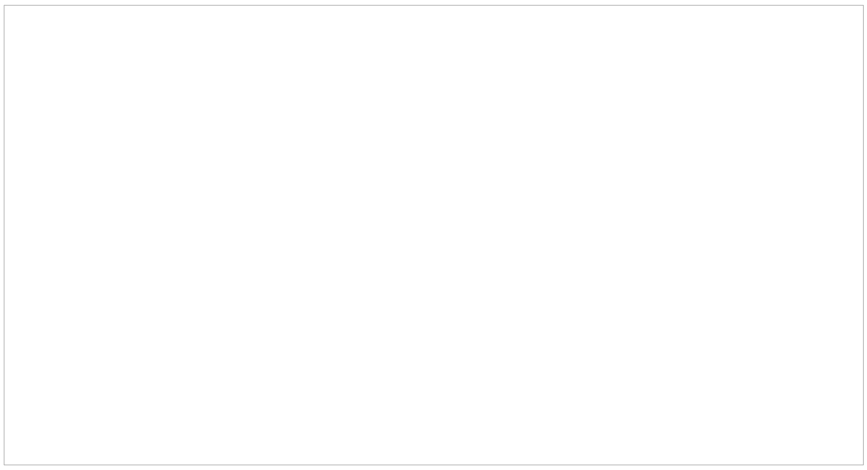

Figura 6 - Micrografia da área transição da amostra A3 face 1 observadas no MEV.

A figura 7 apresenta os resultados das medições de dureza das áreas designadas para o ensaio, MB, ZF e ZTA.

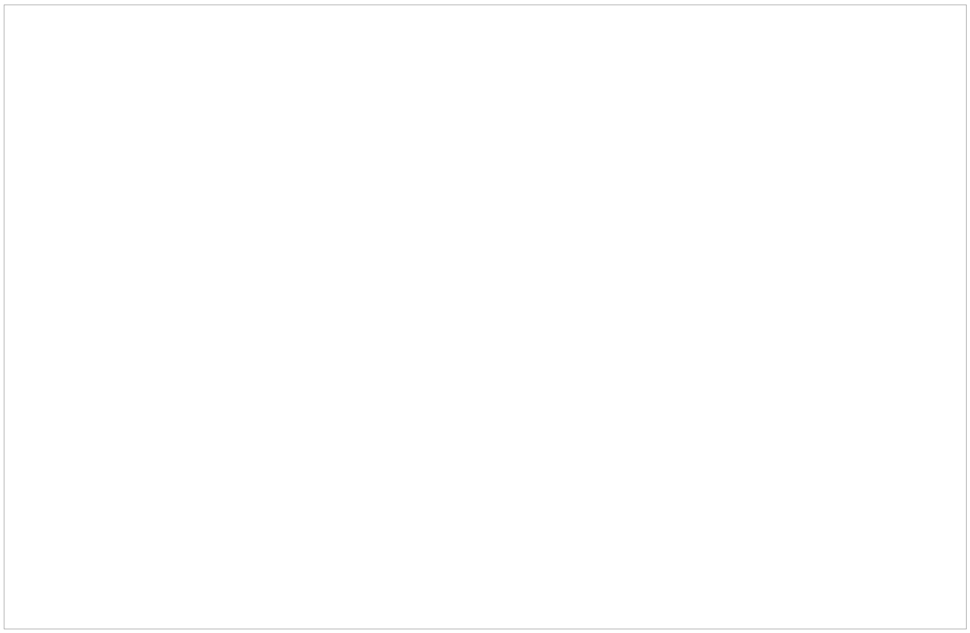

Figura 7 - Resultados das medições das áreas designadas para o ensaio de dureza.

A tabela 6 apresenta um exemplo dos valores encontrados para reforço, largura, penetração e área de ZTA para o passe 1 de soldagem.

[1] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, patricia_epga@yahoo.com.br

Tabela 6 - Dimensões das regiões dos cordões soldados sobre chapas, passe #1.

Foram escolhidas as amostras 9.1 (1º passe), 2.2 (2º passe) e 8.3 (3º passe) com base na necessidade de cada passe e também considerando como as características em questão destes cordões poderiam contribuir para a qualidade dos passes na soldagem final da viga, tabela 7.

Tabela 7 - Matriz de classificação para os resultados do passe #1.

Na análise metalográfica qualitativa foi observado que todas as amostras apresentaram uma microestrutura predominante de ferrita de contorno de grão (FG), perlita (P) e 67% apresentou ferrita acicular (FA).

A média de dureza para o MB encontrada no mapeamento vertical foi 186 HV. Para os três passes no sentido horizontal foi de 187 HV. Já para a ZF a média de dureza encontrada no mapeamento vertical foi de 214 HV e para horizontal foi de 215 HV. Para a ZTA a média de dureza encontrada no mapeamento vertical foi de 204 HV e para medição horizontal foi de 207 HV.

5.1 Soldagem final em amostra de viga perfil I

Foi realizada a soldagem final da amostra da viga, conforme demonstrado na figura 8. A figura 9 apresentam as cotas realizadas nas macrografias das amostras 1.

[1] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, patricia_epga@yahoo.com.br

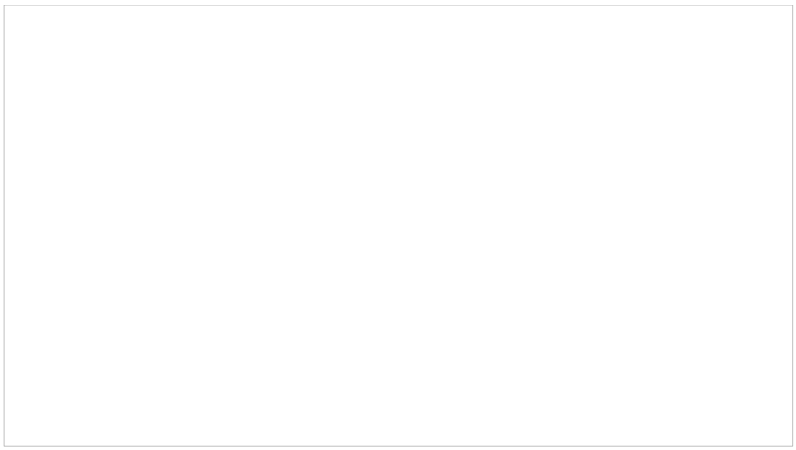

Figura 8 - Amostra da viga perfil I após soldagem final.

Figura 9 – Macrografia da amostra 1 aba superior.

Figura 9 – Macrografia da amostra 1 aba inferior.

A ZF foi observada com ferrita de contorno de grão (FG) com alguns pontos de perlita. Na região da ZTA foi verificada uma microestrutura mais refinada com

[1] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, patricia_epga@yahoo.com.br

ferrita e alguns pontos com perlita. Ver figura 10.

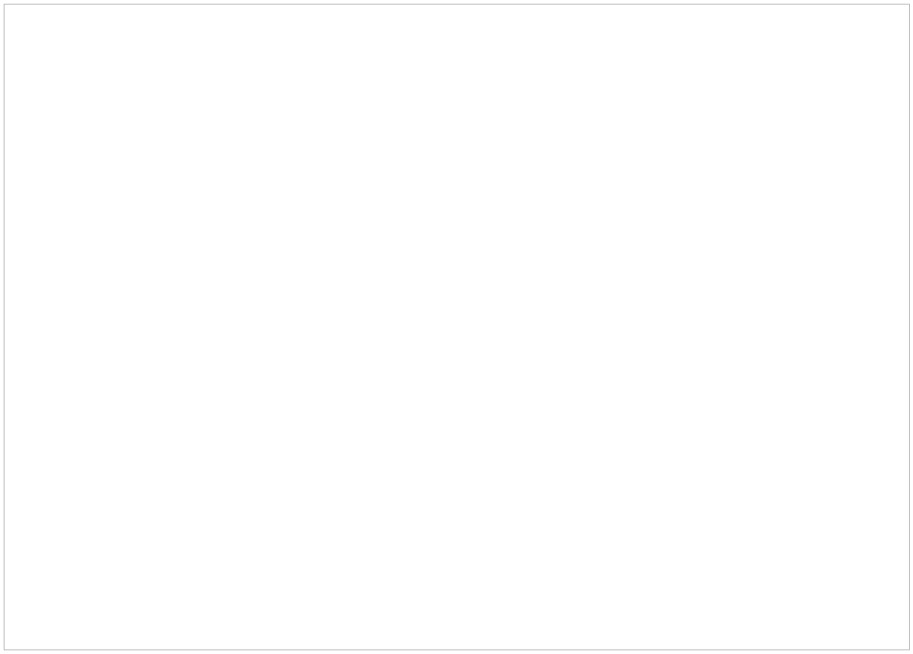

Figura 10 - Micrografia da ZF e ZTA da amostra 1 observadas no MO.

A figura 11 apresenta os resultados das medições de dureza das áreas de ZF e ZTA, os maiores valores de dureza foram verificados na ZTA de ambas as abas da viga.

Figura 11 - Resultados do ensaio de microdureza da amostra 1 aba superior e inferior.

5.2 Análise Comparativa

Compara-se aqui os resultados da soldagem da preliminar com a soldagem final.Um ponto positivo para a soldagem final foi com relação ao perfil do filete proposto pela a norma AWS D1.1 que no caso da soldagem final apresentou um perfil mais adequado (menor convexidade) que o filete da solda preliminar, figura 12.

[1] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, patricia_epga@yahoo.com.br

Figura 12 - Comparação do perfil do filete de solda.

A soldagem final obteve maior penetração. A figura 13 compara os valores encontrados em (mm) para as amostras analisadas.

Figura 13 - Penetração da soldagem preliminar (1º etapa) X soldagem final (3º etapa).

Pelas macrografias realizadas é possível verificar a diferença de penetração entre as amostras, figura 14

[1] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, patricia_epga@yahoo.com.br

Figura 14 - Macrografia da solda preliminar (1º etapa) X solda final (3º etapa).

Não foram observadas diferenças marcantes nas microestruturas das amostras da soldagem preliminar e da soldagem final. Os valores de durezas médias conforme tabela 8 ficaram muito próximas de uma amostra para a outra, exceto para área de ZTA da amostra aba superior e inferior que apresentaram o valor de dureza média no valor de 227 HV, já amostra preliminar com a média de dureza no valor de 243 HV.

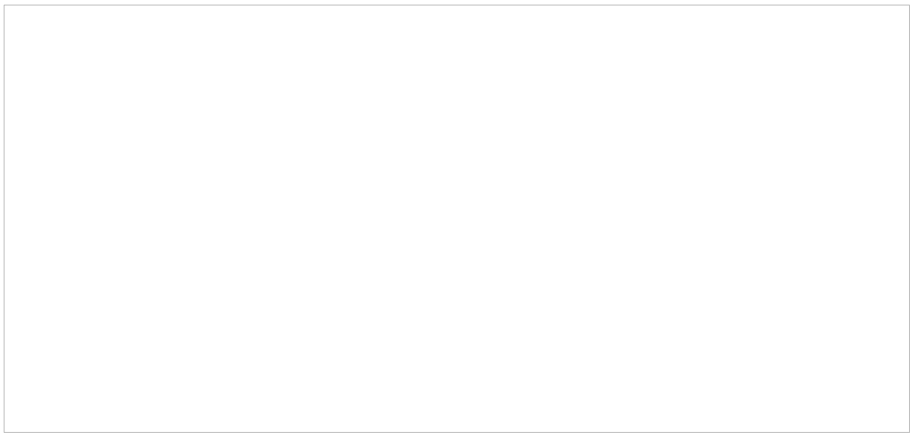

Tabela 8 – Microdureza da amostra preliminar (1º etapa) X amostra final (3º etapa).

6. CONCLUSÕES

- A soldagem dos 27 cordões sobre chapas variando parâmetros de corrente e velocidade nos passes de soldagem permitiu obtenção de cordões de solda mais adequadas para a soldagem à viga perfil I.

- Quanto à verificação da geometria do cordão de solda sobre chapas, por ensaio de macrografia, foram verificadas as regiões de penetração, reforço, largura e ZTA dos 27 cordões de solda e conclui-se que a variação dos parâmetros de soldagem possui influência direta na geometria do cordão. Soldas do 1º passe apresentaram maior reforço, largura e penetração visto que para estes cordões foram utilizados maiores valores de corrente (A).

[1] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, patricia_epga@yahoo.com.br

- Conclui-se também que a maior penetração foi visualizada na soldagem final, sendo que esta foi observada no 1º passe de soldagem (raiz). Já a soldagem preliminar, além de possuir menor penetração, apresentou maior penetração no 3º passe (acabamento), ou seja, uma penetração desnecessária.

- Com relação às durezas encontradas nas amostras dos cordões sobre chapas, conclui-se que os parâmetros utilizados também em maiores médias de durezas na ZF e menores médias de dureza na ZTA, e que os pontos de maior dureza foram verificados na transição da ZF para a ZTA.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN WELDING SOCIETY. AWS D1.1/D1.1M:2004 Structural welding code steel. Flórida. 2003.

ANTF, Associação Nacional dos Transportes Ferroviários. Banco de Imagens. Disponível em: <https://www.antf.org.br/banco-de-imagens/> Acesso em: 02 Fev.2019.

CHIAVERINI, Vicente. Tecnologia mecânica. Processos de fabricação e tratamento, volume 2. 2.ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986. 315p.

COLPAERT H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008, 652p.

CORBAGE, Claudio de Oliveira. Logística brasileira: um estudo teórico do modal ferroviário. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/1775/1/COC11082017.pdf>. Acesso em: 25 Jan.2019.

DA SILVA, A.F. et al (2003). Análise microestrutural do metal de solda de perfis soldados de um lado só utilizados na construção civil. Disponível em: <http://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/cobef20030558.pdf>. Acesso em: 18 mar. 2018.

DIETER, George Ellwood. Mechanical metallurgy SI metric edition adapted by David Bacon. Singapore: McGraw-Hill, 1988. 751p.

gonçalves, Alexandre Dias. Estudo comparativo das soldas realizadas com os processos de soldagem SMAW e TW aplicados na união de trilhos a 100 da norma DIN 536. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: CEFET, 2016. 115p.

JORGE, Carlos Ferreira Jorge. et al. Propriedades mecânicas e microestruturais de juntas soldadas pelo processo a arco submerso com elevado aporte térmico. Soldagem & inspeção, Rio de Janeiro, v. 20, n. 3, p.347-358, set. 2015.

MACHADO, Ivan Guerra. Soldagem e técnicas conexas: processos. Porto Alegre: editado pelo autor. UFRGS, 1996, 477p. Disponível em: <http:// scholar.google.com.br >. Acesso em: 30 ago. 2017.

MARQUES, Paulo Villani; MODENESI, Paulo José; BRACARENSE, Alexandre

[1] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, patricia_epga@yahoo.com.br

Queiroz. Soldagem fundamentos e tecnologia. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009. 363p.

OLIVEIRA, Fabiano Farias de. “Estudo das transformações macro e microestruturais das juntas soldadas do aço SAE - 4340 pelo processo FCAW”. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte: CEFET, 2015. 96p.

POLIDO, Rafael Saito. et al. Caracterização da zona termicamente afetada em aço estrutural submetido à soldagem por arco submerso: XII Congresso nacional de estudantes de engenharia mecânica. São Paulo, 2005.

SZEREMETA, Igor Cordeiro. O atual estado da malha ferroviária brasileira. Disponível em: <http://www.webartigos.com/artigos/o-atual-estado-da-malha ferroviaria-brasileira /50069/>. Acesso em: 12 Jun. 2016.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de. Soldagem processos e metalurgia. 8 Reimpressão São Paulo: Edgard Blücher LTDA, 2011, 494 p.

8. AGRADECIMENTOS

Agradeço Dra. Maria Celeste M. S. Costa e Dr. Carlos Alberto Carvalho Castro, meus orientadores. Ao CEFET/MG e CAPES - Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP). Ao CT INFRA – Financiadora de inovação e Pesquisa (FINEP). Agradeço a Wabtec Company e MECBRUN pelo suporte experimental.

PALAVRAS-CHAVE: Soldagem, Soldagem a Arco Submerso, Viga Estrutural

[1] Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, patricia_epga@yahoo.com.br