

COMPARAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS ENTRE FONTES DE SOLDAGEM SMAW INVERSORA E TRANSFORMADORA

Andrêssa de Jesus Gonçalves¹

Warley Augusto Pereira²

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar o desempenho de duas fontes de energia em um sistema automatizado de soldagem através da geometria do cordão de solda resultante. Os resultados foram obtidos e comparados com soldas realizadas pelo processo de soldagem a arco com eletrodo revestido (*Shielded Metal Arc Welding - SMAW*). Os testes foram executados por meio de simples deposição dos cordões sobre chapas de aço 1020. Os parâmetros analisados foram: penetração, largura e reforço do cordão de solda. Os cordões de solda foram executados em um dispositivo de soldagem automatizado que permite ajustes de distância entre o eletrodo e a chapa, através do controle da tensão do arco, além de permitir repetitividade do processo. Os valores dos resultados finais indicam diferenças que interferem na qualidade da solda ao se utilizar fontes de soldagem inversora e transformadora.

Palavras-chave: Parâmetros de soldagem. Geometria do cordão. Perfil de penetração.

¹ Graduanda em Engenharia Mecânica pela Universidade de Rio Verde, Campus Rio Verde, GO.

² Orientador, doutor em Materiais e Processos de Fabricação.

1 INTRODUÇÃO

A soldagem é caracterizada pelo processo de união entre dois metais que utilizam uma fonte de calor, sendo a solda o resultado disso. Dentre os processos de fabricação a soldagem é um dos mais importantes, pois muitos produtos não podem ser fabricados sem sua utilização. Com isso houve a necessidade da modernização nos processos de soldagem provinda da evolução decorrente ao longo dos anos. Essa necessidade é fruto dos avanços tecnológicos que obrigaram cada vez mais as técnicas a serem versáteis e de melhor qualidade.

Dentre os processos de soldagem, a soldagem a arco com eletrodo revestido (*Shielded Metal Arc Welding - SMAW*) é a mais utilizada no mundo inteiro. Isso é possível devido sua simplicidade, versatilidade e baixo custo. Sua variedade de aplicação é muito ampla, abrange desde procedimentos mais simples como serviço de ponteamto até o mais rígido controle na fabricação de vasos de pressão para usinas nucleares. Como consequência dessa variedade de procedimentos, existe no mercado uma variedade de fontes de soldagem. Esse equipamento é essencial, pois é ele quem alimenta de energia o processo que produz saídas de corrente e tensão. Portanto, o presente trabalho visa à comparação das características da solda e utiliza dois tipos de fontes de soldagem, uma inversora e uma transformadora. Para este fim, buscou-se informações para estudar as características das fontes, compará-las e analisá-las e baseá-las na taxa de deposição, no perfil do cordão e no perfil de penetração.

O objetivo da comparação é apresentar resultados de ambas as fontes de soldagem podendo assim identificar qual a melhor opção para cada soldagem, e levar em consideração tempo de soldagem, custo-benefício e qualidade da solda. Diante de um mercado altamente competitivo em que a todo momento surgem novas máquinas de soldagem que vão de custos baixos até mais elevados, é essencial diferenciar seu desempenho.

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram utilizadas pesquisas bibliográficas e análise prática, ou seja, testou-se a funcionalidade por meios de soldagem ao empregar as duas fontes de energia, fazendo-se a seguir ensaios em corpos de prova, e também medir sua altura, largura e variação de peso.

1.1 PROCESSOS DE SOLDAGEM A ARCO ELÉTRICO COM ELETRODO REVESTIDO

Tecco (1992) esclarece que a soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido é o processo no qual a união dos metais ocorre devido ao calor do arco elétrico criado entre um eletrodo revestido e a peça a soldar.

Esse processo teve início no começo do século passado onde se usavam arames sem revestimentos ligados a uma rede elétrica para soldar. Como esses arames não tinham revestimentos, isso gerava muitos problemas como instabilidade do arco e reações dos gases do ar com metal fundido, e reduz muito a qualidade da solda (MACHADO, 1996).

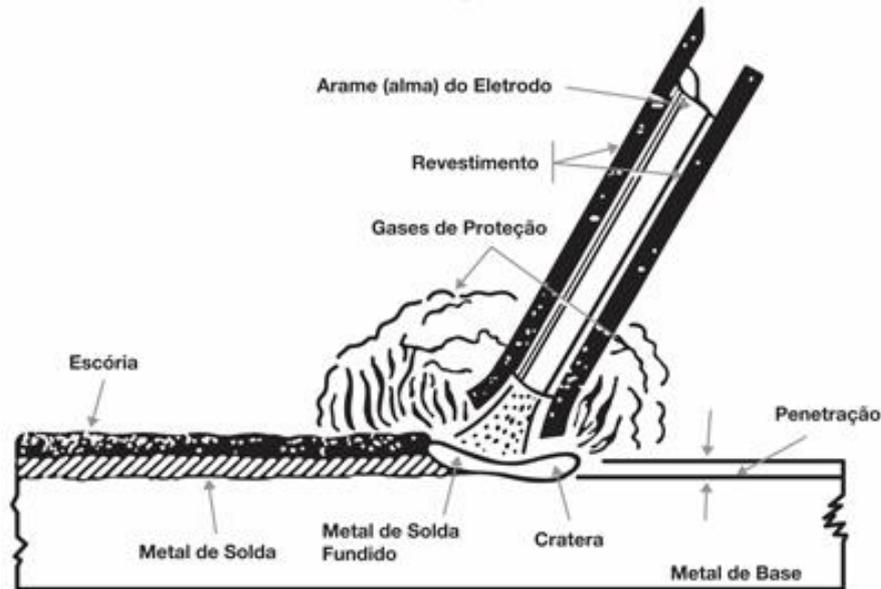
Com o tempo observou-se que os arames enferrujados ou cobertos com cal proporcionavam melhor estabilidade de arco, logo se adotou o eletrodo com revestimento ácido. Desde então o desenvolvimento vem sendo contínuo trazendo ao mercado eletrodos com diversos revestimentos (WAINER, 1992).

O processo de soldagem ao arco elétrico com eletrodo revestido, também conhecido como SMAW (Shielded Metal Arc Welding), consiste na abertura e manutenção de um arco elétrico entre o eletrodo revestido e a peça a ser soldada, de modo a fundir simultaneamente o eletrodo e a peça; o metal fundido do eletrodo é transferido para a peça, formando uma poça fundida que é protegida da atmosfera (O_2 e N_2) pelos gases de combustão do revestimento do eletrodo. O metal depositado e as gotas ejetadas do metal fundido recebem uma proteção adicional por meio do banho de escória, a qual é formada pela queima de alguns componentes do revestimento (INFOSOLDA, 2016).

Machado (1996) ressalta que o processo com eletrodo revestido foi o que abriu as portas para que a soldagem se destacasse como um dos mais importantes processos de fabricação. Apesar de não ser o mais eficiente, esse processo é o mais utilizado por ser um dos mais baratos e versáteis, sendo empregados em grande variedade de aplicações e apropriados para a maioria das ligas metálicas.

A FIGURA 1 apresenta um esquema de funcionamento da soldagem com eletrodos revestidos.

FIGURA 1 – Esquema básico do funcionamento de soldagem com eletrodo revestido



Fonte: http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_eletrodo_revestido_mma_smaw.cfm, 2014.

1.2 FONTES DE SOLDAGEM A ARCO

A soldagem a arco utiliza uma fonte de energia projetada para fornecer tensão na faixa de 10 a 40 V e corrente de 10 a 1.200 A. Nos últimos anos, ocorreram grandes desenvolvimentos nos projetos e construções destas fontes, introduzindo sistemas de controle eletrônico. Portanto, no mercado atualmente há diversos tipos de fontes que vão de máquinas convencionais com tecnologia básica, até as eletrônicas mais modernas (MARQUES, 1991).

1.2.1 Requisitos básicos das fontes

Marques (1991) coloca que as fontes de energia devem atender alguns requisitos básicos, como produzir saídas de corrente e tensão adequadas, permitir alteração dos valores de tensão para diversas aplicações e controlar a variação dos níveis de corrente e tensão. Assim, como são exigidos requisitos básicos para as fontes, os projetos dessas máquinas precisam estar de acordo com as normas estabelecidas, relacionados à segurança e funcionalidade, apresentar resistência em ambientes industriais, ter controle de fácil uso e, quando necessário, ter saídas para sistema de automação.

1.2.2 Fontes de soldagem inversoras e transformadoras

Os transformadores trabalham com corrente alternada (CA) e os valores de corrente e tensão são alterados através do núcleo revestido por enrolamento de bobinas de cobre.

As fontes de soldagem inversoras são constituídas por circuitos eletrônicos, pois garantem facilidade na mudança de corrente e tensão. São equipamentos compactos, potentes que podem trabalhar com uma variedade maior de eletrodos. Devido à diferença de tecnologia, os inversores são mais eficientes, consomem menos energia, são mais leves e compactos e possibilitam transporte e trabalhos em lugares de difícil acesso (ESAB, 2016).

1.3 CORRENTES DE SOLDAGEM

Nos apontamentos de Wainer (1992), a corrente da soldagem controla todas as características operatórias do processo, o aspecto do cordão e as propriedades da junta soldada. Ela controla diretamente a distribuição de energia térmica disponível no arco e a maior parte dos fenômenos que ocorrem. É o mais importante efeito controlador da penetração da solda, da largura e do reforço do cordão.

1.4 TAXA DE DEPOSIÇÃO

A taxa de deposição é a massa do metal obtido através da solda depositado por unidade de tempo e aumenta com a corrente de soldagem dentro dos limites de um determinado eletrodo. Esse é um fator muito importante na economia da soldagem (MACHADO, 1996).

1.5 GEOMETRIA DA JUNTA SOLDADA

A junta soldada não é constituída apenas pelo cordão de solda. Na metalurgia de soldagem, qualquer região na qual em decorrência dos efeitos da soldagem tenham ocorrido consideráveis alterações em suas condições iniciais, é constituinte da junta soldada (FILHO, 2008).

A utilização da energia nas juntas de soldagem deve ser feita com cautela, pois nem sempre há uma relação direta entre a energia de soldagem e seus efeitos na peça, pois os parâmetros de soldagem (corrente, tensão e velocidade de deslocamento) afetam de modo diferente a intensidade do arco e o rendimento térmico do processo. Assim, embora se utilize o mesmo processo e energia de soldagem, é possível obter soldas de formatos completamente diferentes pela variação individual dos parâmetros de soldagem (MODENESI, 2003).

2 MATERIAL E MÉTODOS

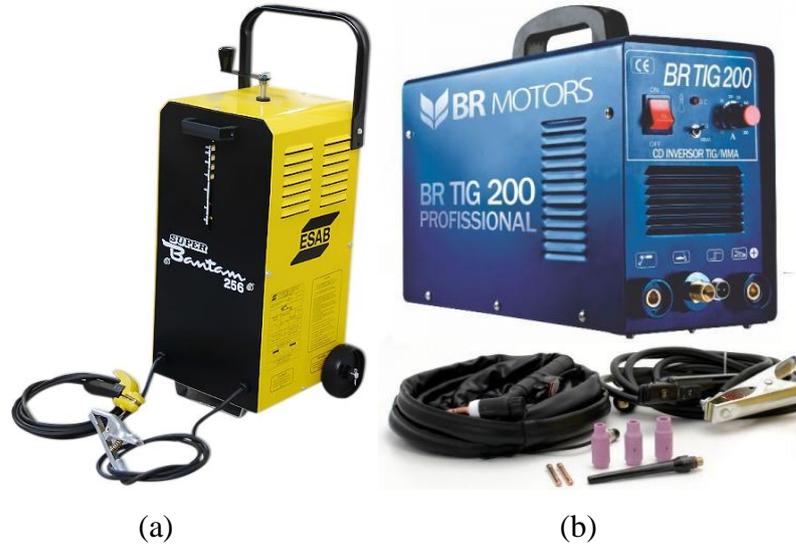
A soldagem das chapas que utilizam os equipamentos de soldagem transformador e inversor foi executada no Laboratório de Soldagem da UNIRV, que disponibilizou os equipamentos necessários. Neste item são descritos os materiais e procedimentos adotados em todas as etapas do trabalho.

2.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para a execução deste trabalho, foram utilizados os seguintes equipamentos e materiais:

- Equipamento de soldagem transformador: fonte de soldagem marca ESAB, modelo Bantam 256 Brasil, conforme a Figura 2 (a).
- Equipamento de soldagem inversor: fonte de soldagem marca BR Motors, modelo BR TIG 200, conforme a Figura 2 (b).

FIGURA 2 – Fontes de soldagem: (a) Fonte transformadora ESAB - Bantam 256 Brasil; (b) Fonte inversora BR Motors - BR TIG 200



Fonte: <http://www.antferramentas.com.br>, 2016.

- Para a execução das soldagens dos corpos de prova, utilizou-se a bancada de soldagem automatizada para soldas com o processo SMAW, conforme mostrado na Figura 3.

FIGURA 3 – Bancada para soldagem automatizada com o processo SMAW



Fonte: Andr essa de Jesus Gonçalves, 2016.

- Equipamento de corte: lixadeira da marca BOSCH, para efetuar o corte transversal das amostras.
- Lixa de corte: para efetuar os cortes transversais no corpo de prova.
- Barra chata de aço: utilizou-se como corpo de prova barras chatas de aço 1020 nas dimensões 1”x3/16” x 150 mm.
- Eletrodo AWS E6013 de 2,5 mm de diâmetro.
- Paquímetro em aço analógico profissional 15 mm.

2.2 PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM

Inicialmente foram preparados corpos de prova de aproximadamente 150mm. O corpo de prova e o eletrodo foram fixados à bancada de soldagem automatizada onde foi controlada a posição relativa de ambos para que não houvesse desalinhamento durante a soldagem do corpo de prova. Em todos os procedimentos o eletrodo foi fixado em ângulo de aproximadamente 60° em relação à chapa na direção puxando, ou seja, inclinação do eletrodo para o lado oposto ao deslocamento de soldagem. A chapa foi posicionada a uma distância de aproximadamente 20 mm da ponta do eletrodo.

A bancada de soldagem permitiu a automatização do processo com velocidade de soldagem constante, a fim de obter soldas com propriedades uniformes e repetitividade do processo. No procedimento, ligaram os cabos do equipamento à bancada, sendo que o cabo do porta-eletrodo ficou ligado ao suporte do eletrodo e o cabo de retorno ficou ligado ao dispositivo de deslocamento do corpo de prova. Após ajustar a posição entre eletrodo e chapa, deu-se início à soldagem automática. Foram realizados três testes em cada equipamento.

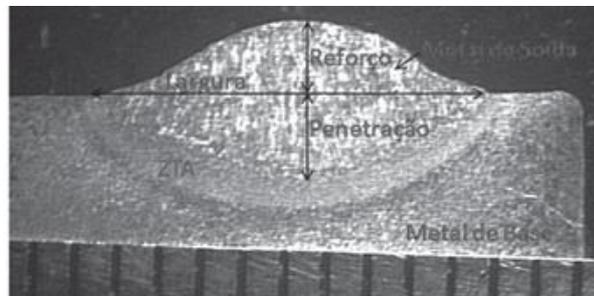
Primeiro foi utilizada a fonte de soldagem transformadora e, logo após a realização dos três testes, trocou-se pela fonte inversora. A análise individual de cada equipamento serviu para comparar os resultados entre os dois, logo os cordões de solda foram executados em seis chapas sendo três utilizados em máquina inversora e três em máquina transformadora.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na diferentes etapas do trabalho são apresentados neste capítulo, bem como a discussão pertinente aos mesmos. Os dois equipamentos de soldagem analisados: fonte de soldagem inversora e fonte de soldagem transformadora.

A comparação dos resultados ocorreu através da análise da geometria do cordão de solda e perfil de penetração. Para isso, mediu-se a penetração, largura e reforço de solda de cada amostra. Através dos resultados da geometria do cordão foi feita uma análise e se verificou a influência de cada equipamento na penetração, largura e reforço do cordão de solda. A Figura 4 mostra as dimensões características que foram avaliadas.

FIGURA 4 –Perfil e dimensões do cordão de solda

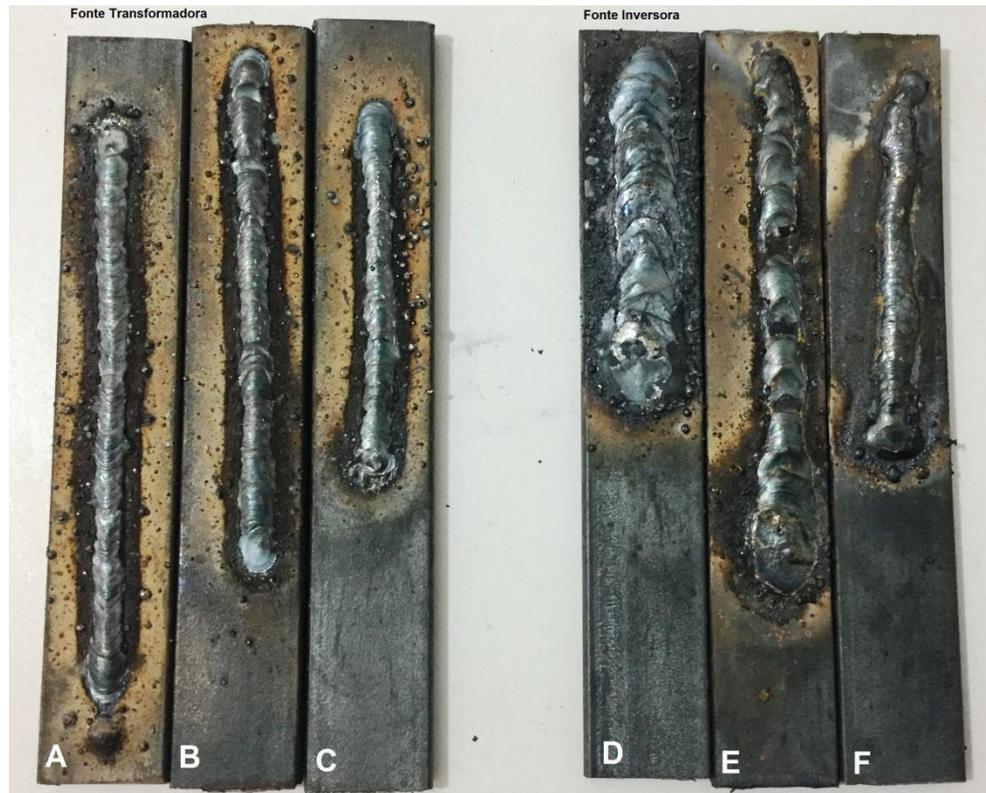


Fonte: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242012000400004, 2012.

3.1 ASPECTOS DOS CORDÕES DE SOLDA

A Figura 5 apresenta o aspecto superficial dos cordões de solda. Do lado esquerdo encontram-se os cordões obtidos pela fonte transformadora, e do lado direito os cordões obtidos pela fonte inversora. Ao se observar os corpos de prova é possível perceber que os cordões A, B e C soldados pela fonte transformadora apresentam cordões estreitos mais lisos e uniformes já os corpos de prova que utilizaram o fonte inversora D e E apresentam cordões largos diferente do F em que o cordão está com aspecto similar ao dos cordões após o uso da máquina transformadora. Isso porque os dois primeiros cordões com a fonte inversora (D e E) foram obtidos com corrente similar àquela usada na soldagem com a fonte transformadora, pois a princípio tentou-se usar valores similares de corrente e tensão para se obter cordões com aspectos similares aos da transformadora. Entretanto, observou-se que para se conseguir resultados equivalentes de geometria de cordão (Figura 5-F), a fonte inversora necessitou corrente de soldagem bem abaixo daquela usada nos testes da fonte transformadora.

FIGURA 5 –Aspecto visual dos cordões de solda obtidos com: fonte transformadora(A, B e C) e fonte inversora(D, E e F)



Fonte: Andr essa de Jesus Gonçalves, 2016.

3.2 Perfil dos cordões de solda

Foi realizado um corte na sessão transversal dos corpos de prova para a avaliação das características geométricas do cordão de solda. Foram medidas penetração, largura e reforço do cordão de solda. Os resultados obtidos da fonte transformadora encontram-se na Tabela 1 e da fonte inversora encontram-se na Tabela 2.

Tabela 1 – Resultados dos testes com a fonte transformadora

Teste	Tempo de Soldagem (s)	Tensão média (V)	Corrente Média (A)	Comprimento do cordão (mm)	Penetração (mm)	Largura (mm)	Reforço (mm)
A	25	21	83	106	2,5	6,7	1,5
B	23	21	90	97	-	7	1,2
C	15	18	92	67	-	6,2	0,9

Fonte: Andr essa de Jesus Gonçalves, 2016.

Tabela 2 – Resultados dos testes com a fonte inversora

Teste	Tempo de Soldagem (s)	Tensão média (V)	Corrente Média (A)	Comprimento do cordão (mm)	Penetração (mm)	Largura (mm)	Reforço (mm)
D	23	30	80	56	3	12,5	1,2
E	32	28	70	113	-	7,6	1,8
F	36	31	50	82	-	7	3

Fonte: Andrêssa de Jesus Gonçalves, 2016.

A fonte transformadora apresentou tensão em vazio de 62 V e a inversora 53 V, medidas com um multímetro digital. No caso dos testes com a fonte transformadora, as medidas de corrente e tensão de soldagem foram realizadas através de um dispositivo de aquisição de sinais ligados ao equipamento de soldagem automatizada e de um *software* de tratamento dos sinais. No caso dos testes com a fonte inversora, os valores de corrente e tensão do arco foram medidos por um multímetro digital, pois o dispositivo de aquisição de sinais do equipamento de soldagem automatizada não é capaz de fazer essas medições para sinais de corrente contínua.

A média de velocidade de soldagem da fonte inversora foi de 4 mm/s, enquanto que na fonte transformadora foi de 2,7 mm/s.

A penetração foi apresentada através dos testes apenas nos cordões A e D conforme mostrado na Figura 6. Essa medida foi feita a partir da superficial da chapa até o ponto mais profundo da zona fundida do cordão de solda.

Os valores de largura e reforço (altura do cordão acima da chapa) do cordão foram obtidos através de medição com um paquímetro analógico, a partir de uma média de três valores medidos ao longo de cada cordão.

FIGURA 6 –Seção transversal dos cordões de solda A e D obtidos da soldagem dos corpos de prova



Fonte: Andrêssa de Jesus Gonçalves, 2016.

3 CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos neste trabalho, as principais conclusões sobre a comparação das características técnicas entre as fontes de soldagem inversora e transformadora são:

- Para os aspectos visuais dos cordões obtidos pela fonte inversora serem similares à fonte transformadora pode-se usar correntes menores.
- Para correntes iguais, a penetração ao utilizar fonte inversora é maior.
- Os cordões obtidos pela fonte inversora ficaram irregulares pelo superaquecimento na soldagem que fez com que o revestimento do eletrodo queimasse mais rápido.
- Nas condições de testes usadas na fonte transformadora (corrente e tensão), quando se soldou com a fonte inversora o arco ficou mais instável, pois, como esta necessita de menores valores de corrente média, por usar corrente contínua, houve necessidade de reajustar os valores de corrente para reduzir o comprimento do arco e estabilizá-lo.
- A velocidade média de soldagem com a fonte inversora é maior do que a da fonte transformadora, o que promove maior produtividade quando se utiliza esse tipo de equipamento.
- Os inversores são mais eficientes e consomem menos energia.
- O inversor é mais leve e mais compacto que o transformador, facilitando o transporte.
- Para a mesma faixa de corrente fornecida, as fontes inversoras são mais caras que as transformadoras.

*COMPARISON OF TECHNICAL CHARACTERISTICS BETWEEN
SOLDERING SOURCES SMAW INVESTOR AND TRANSFORMER*

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the performance of two power sources in an automated welding system through the geometry of the resulting weld bead. The results were obtained and compared with welds made by the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) process. The tests were performed by simple deposition of the strands on 1020 steel plates. The parameters analyzed were: penetration, width and reinforcement of the weld bead. The weld beads were executed in an automated welding device that allows adjustments of the distance between the electrode and the plate, through the control of the arc voltage, besides allowing process repeatability. The values of the final results indicate differences that interfere in the quality of the weld when using inverter and transforming welding sources.

Keywords: Welding parameters. Geometry of the cord. Penetration profile.

REFERÊNCIAS

ESAB, “**Máquina de Solda com Eletrodos - Inversor ou Transformador?**”, <http://www.esab.com.br>, Acessado em 14/06/2016.

FILHO, C. A. – “**Metalurgia da Soldagem**”, <http://www.ebah.com.br>, Acessado em 15/06/2016.

INFOSOLDA, “**Processo com Eletrodo Revestido - Características Processo**”, <http://www.infosolda.com.br>, Acessado em 15/06/2016.

MACHADO, I.G. – “**Soldagem & Técnicas Conexas: Processos**”, Porto Alegre, editado pelo autor; 1996.

MARQUES, P. V. – “**Soldagem – Fundamentos e Tecnologia**”, Belo Horizonte, ESAB, UFMG; 1991.

MODENESI, P. J. – “**Fluxo de Calor em Soldagem**”, 2003.

MODENESI, P.J.- “**Fontes de Energia para a Soldagem a Arco**”, <http://demet.eng.ufmg.br>, Acessado em 14/06/2016.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; DE MELLO, F. D. H. – “**Soldagem Processos e Metalurgia**”, Edgard Blücher, 1992.