

**Análise Comparativa entre o Arame Maciço e o Tubular no Processo de Soldagem MIG/MAG -
Posição Vertical Ascendente**

(Comparative Analyze Between GMAW and FCAW - Upward Vertical)

Renon Steinbach Carvalho^{1}, Jair Carlos Dutra¹, Luciano Machado Cirino¹, Ramon Natal Meller¹, Nelso Gauze Bonacorso²*

¹*Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Florianópolis, SC, Brasil, renon@labsolda.ufsc.br, jdutra@labsolda.ufsc.br, lucianocirino@labsolda.ufsc.br, ramon@labsolda.ufsc.br*

²*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Departamento de Metal Mecânica, Florianópolis, SC, Brasil, nelso@ifsc.edu.br*

Resumo

A soldagem, como método de fabricação e manutenção, tem grande importância nas atividades de vários ramos da indústria. Nestas atividades existem diferentes posições de soldagem e campo para a introdução de procedimentos que empreguem automatização. É neste âmbito que o presente trabalho se propõe a explorar a automação da soldagem MIG/MAG, bem como analisar os resultados no que concerne à qualidade dos cordões de solda e os custos envolvidos. Para tanto, dois tipos de arames são utilizados neste trabalho: um maciço (ER70S-6) e outro tubular (E71T-1). Inicialmente buscou-se levantar parâmetros de soldagem adequados para realizar os passes de preenchimento em uma junta com chanfro em “V” na posição vertical ascendente com os dois arames. Em seguida, avaliou-se a qualidade dos cordões por intermédio de ensaios não-destrutivos e análise macrográfica. Por fim, passou-se a analisar os custos envolvidos para a determinação de qual arame apresenta maior produtividade para a tarefa descrita. Durante a determinação dos procedimentos, o arame maciço mostrou-se de operação mais simples. Já o arame tubular exigiu maiores cuidados no momento da soldagem. No que concerne a produtividade, foi possível empregar velocidades de soldagem maiores com arame tubular o que permitiu o preenchimento da junta em menor tempo.

Palavras-chave: *soldagem fora de posição, linhas dutoviárias, arame maciço, arame tubular, análise de custos.*

Abstract: *Welding as a method of manufacturing and maintenance, has great importance in the activities of various branches of industry. In these activities there are different positions of welding and possibility for the introduction of procedures that employ automation. In this context this paper will explore the automation of GMAW and FCAW weld, and to analyze the results regarding the quality of the weld beads and the costs involved. For this, two types of wires are used in this paper: a solid (ER70S-6) and other cored (E71T-1). Initially was attempted to lift the welding parameters available to do filling passes in a “V” groove joint vertically upward with the two wires. Thereafter was evaluated the quality of the weld beads with non-destructive tests and macrographical analysis. Finally, was analyzed the costs involved for the determination of which wire presents the higher productivity for the described work. During the establishment of procedures, GMAW proved to be of more simple operation. Already FCAW required more care in the welding. About the productivity, was possible to employ higher-speed welding with FCAW which allowed the filling of the joint in less time.*

Key-words: *welding out of position, pipelines, GMAW, FCAW, costs analysis.*

1. Introdução

A soldagem, como método de fabricação ou manutenção, ganha certo grau de interesse nas atividades práticas diárias de alguns ramos da indústria como, por exemplo: naval e petrolífera. Nestes casos, é necessário garantir a integridade e o bom funcionamento de quilômetros de vias dutoviárias, pois através destas se faz intensa distribuição de produto. A soldagem ganha então importância fundamental, especialmente com um mercado em constante expansão.

A construção de novas vias é um trabalho complexo, que envolve considerável quantidade de mão-de-obra especializada e uma grande quantidade de equipamentos. Maior produtividade e conseqüentemente, redução de custos é um objetivo a ser alcançado por qualquer empresa que se dedique a este ramo de atividade e que deseje manter-se no mercado. E neste caso, a soldagem dos dutos é o fator de maior preponderância na determinação do tempo de realização do projeto.

A união de dutos é, tradicionalmente, realizada de forma manual e com processo de soldagem por eletrodos revestidos (ER). Possivelmente, este processo seja utilizado pela disponibilidade de soldadores com experiência, pela facilidade de operação em campo e devido à eficiência já comprovada em vários anos de utilização. Como exemplo de procedimento de soldagem de dutos, pode-se citar a soldagem celulósica combinada, onde são utilizados eletrodos celulósicos E6010 (para soldagem da raiz) e E8010-G (para os demais passes) [1]. Esta técnica foi empregada com sucesso na construção do Gasoduto Bolívia-Brasil.

Contudo, na visão de alguns autores a soldagem de dutos com processo MIG/MAG mecanizado é, atualmente, o processo de soldagem mais utilizado para linhas dutoviárias de grandes diâmetros e desenvolvimentos nos procedimentos de soldagem têm aumentado sua produtividade [2]. Um exemplo de soldagem conduzida com MIG/MAG mecanizado bem sucedida trata-se da construção de uma linha para transporte de gás natural, iniciando no noroeste do Canadá e terminando nas proximidades da cidade de Chicago [3]. A escolha por efetuar as soldas desta maneira deveu-se principalmente, ao fato de que não existia mão-de-obra disponível em número suficiente para cumprir a tarefa no prazo determinado. Além disto, são apontados como melhorias [3]:

- O tempo para completar uma solda (do passe de raiz até o reforço) passou a ser contado em minutos ao invés de horas;
- As soldas foram mais consistentes e uniformes ao longo da linha e o tempo de retrabalho diminuiu;
- O emprego do processo MIG/MAG e arame maciço ajudou a prevenir a fragilização ou trincamento por presença de hidrogênio.

Estas vantagens, somadas a carência de soldadores preparados, transformam a soldagem mecanizada de dutos em uma rota acertada para se atingir a produtividade necessária em um ramo industrial tão competitivo e exigente. É neste âmbito que este trabalho se propõe a explorar a soldagem MIG/MAG mecanizada no que diz respeito a condução da soldagem (por intermédio do levantamento de procedimentos para a soldagem fora de posição), a análise dos resultados no que concerne a qualidade dos cordões de solda obtidos e dos custos envolvidos na soldagem.

Dois tipos de arames são utilizados neste trabalho: um maciço (ER70S-6) e outro tubular (E71T-1), ambos de ampla utilização na soldagem de aços ao carbono. Em uma primeira etapa, buscou-se levantar parâmetros de soldagem adequados para realizar os passes de preenchimento em uma junta com chanfro em “V” na posição vertical ascendente com os dois arames.

Em uma segunda etapa buscou-se avaliar a qualidade dos cordões de solda por intermédio de ensaios não-destrutivos (ensaio radiográfico, ensaio de líquido penetrante), ensaios mecânicos (testes de tração e dobramento) e análise metalográfica das juntas soldadas. A seguir, passou-se a análise dos custos envolvidos e determinou-se qual arame apresentou o melhor custo/benefício na tarefa de soldagem descrita.

Neste contexto, cabe salientar que na soldagem, assim como em outros campos da engenharia, muitos mitos são criados e com o passar do tempo assumem status de verdade. Em alguns casos tais mitos são frutos de interesses econômicos, já em outros provêm da falta de ousadia em pensar de forma diferente do senso comum.

Relacionado a este tema, muitos artigos descrevem que o arame tubular proporciona maior produtividade do que o arame maciço [4-7]. Mas o que se entende por produtividade? É evidente que considerando apenas a taxa de fusão do arame, os resultados encontrado com o arame tubular são aparentemente melhores. Entretanto, o conceito de produtividade deve ser mais abrangente e englobar desde o tempo de preparação dos corpos de prova, até os intervalos necessários para a retirada da escória formada na soldagem com arame tubular. Outro fator de fundamental relevância, e que deve ser considerado, é o percentual de retrabalho das peças soldadas com cada processo.

No meio da soldagem é amplamente difundido que os arames tubulares proporcionam maior sustentabilidade para a poça de fusão quando esta se encontra fora da posição plana. Também é dito que existe

uma grande dificuldade para a soldagem com arame maciço nas posições sobre-cabeça e vertical ascendente. Contudo, não se encontra na literatura informações claras e imparciais a respeito de tal tema. A referida imparcialidade pode ocorrer em virtude de diversos aspectos. Por exemplo, muitas vezes a avaliação dos resultados toma como base os dados obtidos por intermédio do soldador. Este geralmente tem vícios, o que pode interferir diretamente na análise, e levar a conclusões errôneas. Outro aspecto que contribui para conclusões precipitadas é a qualidade das fontes de soldagem. Muitas vezes uma fonte de má qualidade pode funcionar perfeitamente para um tipo de arame e não tão bem para o outro.

O terceiro ponto de influência nas conclusões, e talvez o mais comum, é a questão comercial. É sabido que o custo do arame tubular é consideravelmente mais elevado que o do arame maciço, além disso, sua taxa de fusão também é mais elevada. Em suma, o arame tubular é mais caro e consumido mais rapidamente do que o arame maciço. Deste modo, fica notório que as fabricantes de consumíveis tendem a pregar veementemente a maior qualidade e confiabilidade dos arames tubulares.

Neste contexto, o presente trabalho busca efetuar uma análise comparativa entre os arames maciço e tubular utilizados para a soldagem MIG/MAG fora de posição. O objetivo é levantar as potencialidades reais de cada arame, sem que haja a interferência dos vícios de soldadores ou de empresas fabricantes de consumíveis. Para tanto, todos os ensaios foram conduzidos de maneira automatizada e foram empregadas bobinas de arames de fabricantes distintos.

Paralelamente ao desenvolvimento dos procedimentos para a soldagem MIG/MAG, tem-se o objetivo de levantar informações a respeito da soldagem do passe de raiz com o processo TIG. Assim, alguns ensaios preliminares servirão como base para futura automatização desta tarefa.

No primeiro momento este trabalho visa à comparação entre as características dos arames. Todavia, seus resultados servirão como subsídio para o desenvolvimento de procedimentos de soldagem voltados para a indústria naval e para a soldagem orbital de dutos.

2. Materiais e Métodos

2.1 Bancada, Equipamento e Consumíveis

Este item tem como objetivo apresentar uma visão geral dos equipamentos utilizados na realização dos testes para o levantamento de parâmetros de soldagem na posição vertical ascendente. A Figura 1A mostra a bancada de ensaios. Na referida imagem tem-se destacado com o número 1 a fonte de soldagem DIGITEC 600 [8], a qual foi empregada durante todos os ensaios. Já o número 2 apresenta o manipulador TARTÍLOPE V4 [9], sendo que o mesmo foi utilizado nos ensaios executados de forma automatizada.

Em todos os ensaios tomou-se como base o mesmo corpo de prova padrão constituídos por chapas de aço carbono com dimensões de 200 x 75 x 16 mm. Posteriormente, estas chapas foram cortadas com processo oxicorte e lixadas de modo a se ter uma junta em “V” com as dimensões indicadas na Figura 1B. Considerando que o objetivo do trabalho é estabelecer uma comparação entre arames maciço e tubular, foram usados os arames ER70S-6 e E71T-1 ambos com diâmetro de 1,2 mm. Como gás de proteção empregou-se uma mistura de 75% de argônio e 25% de dióxido de carbono.

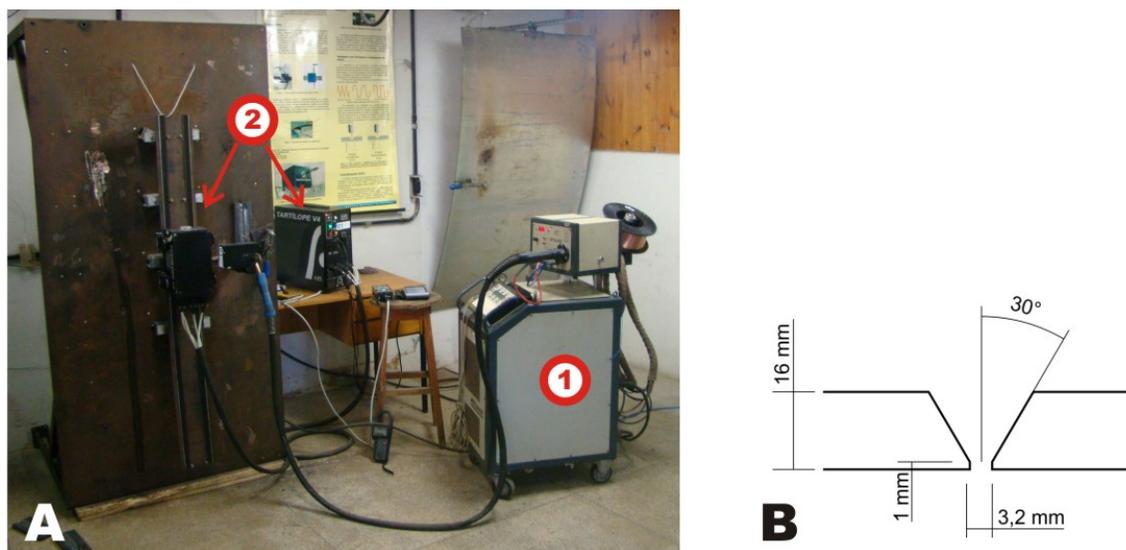


Figura 1. Em (A) bancada de ensaios experimentais e em (B) dimensões da junta “V” dos corpos de prova.

2.2 Procedimentos Experimentais

Inicialmente, foram realizadas soldas de forma manual na posição vertical ascendente, para que se tivesse um ajuste preliminar dos principais parâmetros de soldagem (tensão de soldagem, velocidade de alimentação do arame, velocidade de soldagem e vazão de gás de proteção) para cada arame utilizado. Durante estes testes procurou-se ainda se observar detalhes práticos relacionados especificamente com a soldagem (movimentos realizados pelo soldador e ângulo de ataque da tocha são alguns exemplos) para que, mais tarde, se tentasse reproduzi-los com o sistema de deslocamento automático de tocha.

Com o processo manual finalizado, iniciou-se a soldagem com o sistema automatizado de deslocamento de tocha na posição vertical ascendente utilizando os arames: maciço e tubular. A principal preocupação foi obter cordões de solda uniformes, de bom aspecto superficial, isentos de falhas (mordeduras, falta de penetração, trincas e porosidades) e sem que ocorresse o escorrimo do metal de adição líquido durante a soldagem. Para tanto, foi analisada a melhor forma de realizar cada passe de solda no preenchimento da junta por intermédio da definição das condições e parâmetros de soldagem ideais.

Com base neste método descrito acima, os parâmetros obtidos para soldagem na posição vertical ascendente para arame maciço (ER70S-6) são apresentados na Tabela 1, enquanto que para arame tubular (E71T-1) são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Parâmetros para soldagem vertical ascendente com arame maciço.

Parâmetros	Unidade	Passe 1	Passe 2	Passe 3	Passe 4	Passe 5
Arame	-	-		ER70S-6		
Diâmetro	mm	-		1,2		
Tensão	V	-		20,0		
Vazão de gás	l/min	-		10 a 12		
Velocidade de arame	m/min	-		4,2		
Corrente eficaz	A	-		166		
Ks	-	-		15		
Kd	-	-		20		
Velocidade de soldagem	cm/min	-	18	13	9	7
Amplitude	mm	-	5,5	9,5	13,5	17,5
Frequência	Hz	-	0,8	0,7	0,7	0,4
Tempo de parada	s	-	0,3 / 0,3	0,3 / 0,3	0,3 / 0,3	0,4 / 0,4
Distância bico de contato peça	mm	-		12		

Tabela 2. Parâmetros para soldagem vertical ascendente com arame tubular.

Parâmetros	Unidade	Passe 1	Passe 2	Passe 3	Passe 4	Passe 5
Arame	-	-		E71T-1		
Diâmetro	mm	-		1,2		
Tensão	V	-		23		
Vazão de gás	l/min	-		15 a 18		
Velocidade de arame	m/min	-		8,5		
Corrente eficaz	A	-		215		
Ks	-	-		20		
Kd	-	-		20		
Velocidade de soldagem	cm/min	-	25	17	13	10
Amplitude	mm	-	6,5	9,5	13	17
Frequência	Hz	-	0,9	0,8	0,6	0,4
Tempo de parada	s	-	0,1 / 0,1	0 / 0	0 / 0	0 / 0
Distância bico de contato- peça	mm	-		18		

Para a avaliação da qualidade dos cordões de solda foram realizados, além da inspeção visual, ensaios não destrutivos como líquido penetrante (que evidencia defeitos superficiais) e raio-x (que detecta defeitos no interior do cordão de solda). E depois de realizados os ensaios mencionados, os corpos de prova foram seccionados na metade de seu comprimento para a realização de macrografias. As macrografias foram realizadas para detectar defeitos como falta de fusão nas laterais do cordão de solda.

3. Resultados e Discussão

Com os parâmetros das Tabelas 1 e 2 foi possível obter os cordões de solda mostrados na Figura 2. Nesta figura em (A) tem-se o aspecto superficial de um cordão de solda gerado com arame tubular enquanto em (B) e em (C) tem-se o resultado do ensaio de líquido penetrante e raios-X, respectivamente. Estes não evidenciaram quaisquer falhas ao longo do cordão, tanto superficial quanto internamente. Ainda na Figura 2, é apresentado o aspecto visual de um cordão de solda obtido com arame maciço em (D). Em (E) e (F) são apresentados os resultados para o ensaio de líquido penetrante e raio-X, respectivamente. Da mesma forma, nenhuma falha foi evidenciada.

Comparando os dois cordões obtidos, o aspecto visual do cordão gerado com arame maciço foi considerado melhor. Em outros aspectos, o processo MIG/MAG utilizando-se arame maciço pode ser considerado de operação mais simples quando comparado com o arame tubular. Soldando com arame tubular, alguns cuidados (não necessários com o arame maciço) devem ser tomados. Por exemplo, deve-se tomar um cuidado maior com a distância bico de contato-peça a fim de evitar presença de porosidades. Quando fora de utilização, o arame tubular deve ser mantido acondicionado em lugar seco e fechado para evitar o acúmulo de umidade no fluxo interno e após a soldagem a escória deve ser removida apropriadamente para evitar que estas fiquem aprisionadas entre um passe e o subsequente. Contudo, as velocidades de soldagem obtidas com arame tubular foram maiores em comparação com arame maciço. Nas macrografias da Figura 3 não se constatou falhas de fusão nas laterais da secção transversal dos cordões seja para arame maciço em (A), quanto para arame tubular em (B).

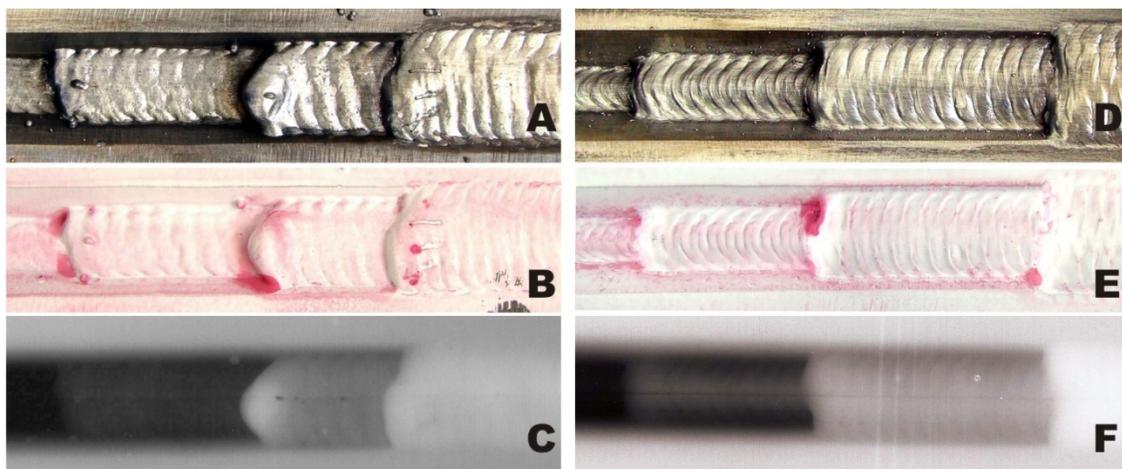


Figura 2. Cordões de solda realizados na posição vertical ascendente com resultados dos ensaios de líquido penetrante e de raio-X. À esquerda arame tubular e à direita arame maciço.

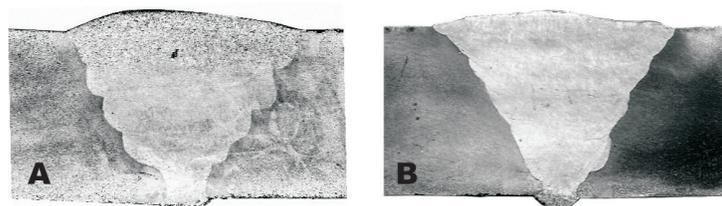


Figura 3. Macrografias dos cordões de solda realizados com arame maciço em (A) e tubular em (B).

Nesta primeira parte de avaliação de resultados, a qual verificou o aspecto visual dos cordões de solda com os diferentes arames, fica notória a melhor qualidade da soldagem com arame maciço. Como segunda parte da avaliação de resultados, calculou-se a velocidade de soldagem equivalente para os arames maciço e tubular. Para tanto, foi empregada a Equação (1), sendo que esta considera que o inverso da velocidade de soldagem equivalente é igual à soma dos inversos das velocidades de soldagem em cada um dos passes executados.

$$\frac{1}{V_{seq}} = \frac{1}{V_{s1}} + \frac{1}{V_{s2}} + \frac{1}{V_{s3}} + \dots + \frac{1}{V_{sn}} \quad (1)$$

Substituindo os valores das velocidades de soldagem das Tabelas 1 e 2 respectivamente na Equação (1), obteve-se os seguintes valores para as velocidades equivalentes relativas: 2,6 cm/min para o arame maciço e 3,6 cm/min para o arame tubular.

A análise destes resultados isoladamente mostra que a velocidade de soldagem equivalente alcançada com o emprego do arame tubular chega a ordem de 40% a mais do que é atingido com o arame maciço. Logo, fica explícito que o tempo final de execução de uma determinada tarefa, analisando somente o tempo de arco aberto, será significativamente menor com o emprego de um arame tubular.

Todavia, para a determinação de qual arame realiza determinada tarefa em menor tempo deve-se considerar o tempo global de soldagem e não apenas o tempo de arco aberto. Isto se faz necessário em virtude de que há significativa distinção entre os tempos de preparação para a execução dos cordões. Tal variação nos tempos gastos entre a realização dos cordões deve-se à necessidade de retirada de escória e maiores cuidados no posicionamento da tocha de soldagem no chanfro no caso do arame tubular.

Neste contexto, novos ensaios foram realizados com o objetivo de medir o tempo total gasto para a soldagem, com arame maciço e tubular, de um corpo de prova com aproximadamente 400 mm de comprimento. Para que a influência de termos não relacionados com os procedimentos de soldagem interferissem o mínimo possível nos ensaios, durante todos os experimentos somente as pessoas envolvidas de fato permaneceram nas bancadas. Adicionalmente, houve o cuidado de manter-se todos os equipamentos e ferramentas nos mesmos locais.

O primeiro tipo de arame a ser testado foi o maciço, considerando-se os parâmetros apresentados na Tabela 1. Posteriormente o mesmo ensaio foi repetido, entretanto com o emprego do arame tubular e com os parâmetros da Tabela 2.

A Tabela 3 contempla todos os resultados das marcações de tempo. Para tornar a análise mais simples, a Figura 4 apresenta os resultados das marcações de tempo para cada passe (apenas o tempo de arco aberto) em forma de gráfico para todos os ensaios. O eixo x representa o número do passe levando em conta o passe de raiz (ou seja, o primeiro passe de preenchimento é considerado o segundo passe no total). No gráfico da Figura 4 fica evidente a desvantagem do arame maciço em relação ao tubular que teve tempos de arco aberto em média 40% menores. O tempo total de soldagem foi 20% menor no ensaio com arame tubular do que com arame maciço.

Tabela 3. Medições de tempo de soldagem

MEDIÇÕES	Unidade	Arame Maciço					Arame Tubular				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Tempo de arco aberto por passe	min	-	2:05	2:51	4:07	5:10	-	1:30	2:09	2:48	3:39
Tempo total de arco aberto	min			14:13					10:06		
Tempo total de soldagem	min			24:01					20:09		

Este resultado denota uma necessidade de se aperfeiçoar os procedimentos que compreendem os tempos mortos e desta forma, obter-se maior produtividade com arame tubular de modo a compensar o maior investimento. Ainda concernente ao arame tubular, deve-se considerar modificações em termos de processo, mais especificamente os parâmetros da fonte de soldagem (tensão e velocidade de arame), já que a otimização de parâmetros não foi abordada neste trabalho de nenhuma forma. Os fatores limitantes fundamentais para que se aumente tensão, velocidade de arame e, conseqüentemente, corrente são: possibilidade de ocorrer escorrimento do metal de solda líquido e, no caso específico deste trabalho; a perfuração do passe de raiz. Como solução para este último aspecto, pode-se considerar a produção de um passe de raiz com maior reforço ou ainda determinar procedimentos para realização do passe de raiz com processo MIG/MAG, embora neste caso, provavelmente seja necessário recorrer ao uso de backing.

Outro fator não considerado neste trabalho reside na geometria da junta “V”. Pode-se diminuir o ângulo de chanfro ao limite de utilização de uma tocha MIG/MAG comum, ou ainda considerar o emprego de tochas de soldagem especialmente projetadas para este fim. Presumivelmente, uma junta “V” com ângulo de chanfro menor levará a um preenchimento com menor número de passes, aumentando assim a produtividade tanto para o arame maciço quanto do tubular.

Juntamente com a avaliação das características dos cordões de solda, das velocidades equivalentes de soldagem e dos tempos totais de soldagem foi efetuado um estudo a respeito do rendimento de cada um dos arames e uma análise econômica entre os dois arames. Resumidamente o método para a avaliação seguiu as seguintes etapas:

- Pesagem do corpo de prova;
- Execução dos cordões de solda com medição do comprimento de arame consumido;
- Pesagem do corpo de prova.

Em todos os ensaios efetuados o passe de raiz foi feito de forma manual e com o emprego do processo TIG. Este passe é considerado com passe 1 e os demais passes de enchimento são numerados de 2 a 5. A Tabela 4 apresenta os dados relativos aos ensaios com arame maciço e tubular. São ilustradas as variações de massa, Δm , dos corpos de provas, bem como o comprimento de arame, ΔL , consumido. Adicionalmente, foi verificado que cada metro de arame maciço de 1,2 mm de diâmetro possui uma massa de 8,5 g, enquanto que o arame tubular de 1,2 mm de diâmetro apresenta uma massa de 7,2 g por metro de arame.

Tabela 4. Variações de massa e comprimento de arame consumido em cada passe.

Passe	Arame Maciço		Arame Tubular		
	Δm (g)	ΔL (m)	Δm com escória (g)	Δm sem escória (g)	ΔL (m)
2	43,9	5,1	38,85	35,40	5,3
3	65,85	7,8	54,85	52,00	7,8
4	73,05	8,7	68,65	67,55	10,4
5	71,20	8,3	89,90	87,00	13,5

Após estas etapas os valores medidos foram empregados na função de medição descrita a seguir por intermédio da Equação 6.

$$\eta = \frac{m_2 - m_1}{\pi L d} \quad (6)$$

Onde:

- m_1 : massa inicial do corpo de prova (g);
- m_2 : massa final do corpo de prova (g);
- L : comprimento do arame (m);
- d : massa por metro de arame (g/m).

Para uma fácil visualização e a verificação mais detalhada dos resultados obtidos nos testes, foram gerados dois gráficos a partir dos valores anteriormente citados na Tabela 4. A Figura 4 apresenta a os rendimentos das taxas de deposição de material com o emprego de arame maciço e de arame tubular. Este gráfico considera o rendimento de cada passe de soldagem, lembrando que o passe número 1 foi efetuado com soldagem TIG manual e por isto não é representado.

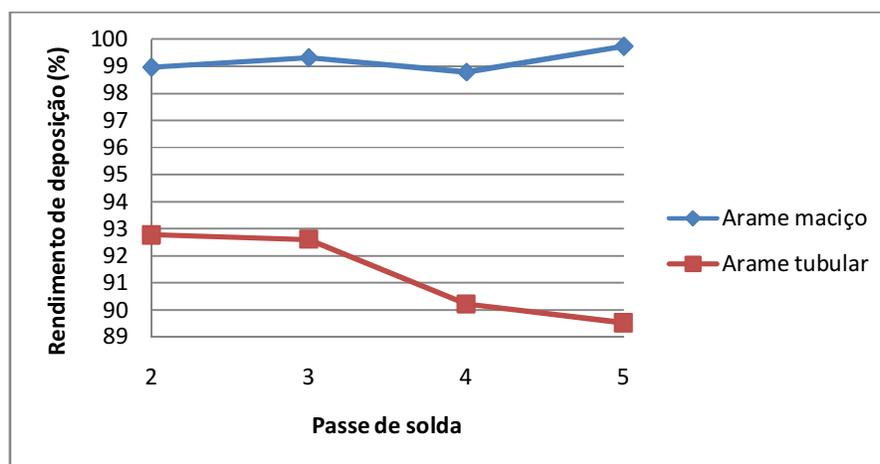


Figura 4. Rendimento de deposição dos passes de solda.

A análise da totalidade de rendimento considerando todos os cordões de solda mostra que o arame maciço possui um rendimento de 99,94%, enquanto que o arame tubular apresenta rendimento de apenas 90,82%. Evidentemente este resultado deve-se ao fato de que com arame tubular há formação de escória, a qual precisa

ser retirada antes da execução do próximo cordão. Todavia, é um material que está sendo consumido, ou seja, gerando custos, e não de fato depositado no material de base.

Na Figura 5 é feita uma comparação entre a massa de material calculada, que deveria ser depositada na peça durante a soldagem e a massa real de material depositada (verificada experimentalmente). Esta comparação foi feita com os dois tipos de arame. Foi explicitada levando-se em consideração a soma das massas depositadas em cada passe. A verificação da figura mostra que para o preenchimento da mesma junta há um menor consumo de arame maciço do que tubular. Contudo, tem-se maior quantidade de material depositado quando, ao invés do arame tubular, emprega-se o arame maciço.

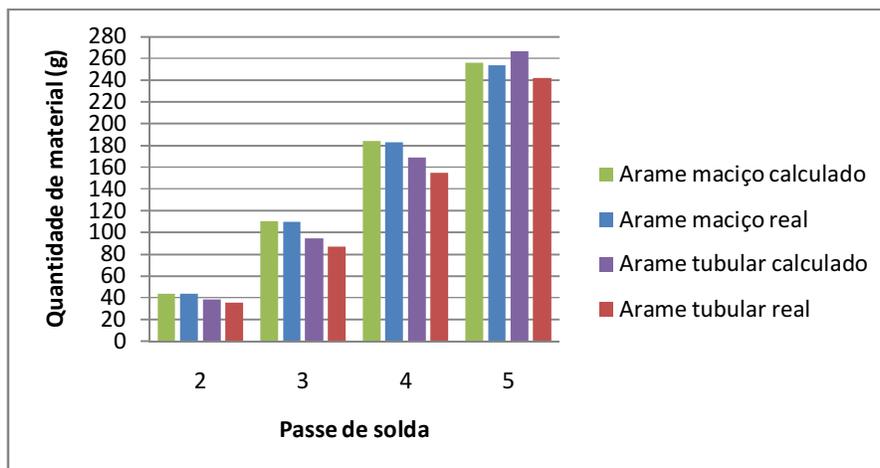


Figura 5. Comparação entre massa de material calculada e depositada na tarefa.

4. Conclusões

Este trabalho focou em determinar parâmetros para a soldagem de preenchimento de uma junta em “V” na posição vertical ascendente de maneira automatizada. A dificuldade neste tipo de procedimento está em manter a poça de fusão estável de maneira que não ocorra o colapso da mesma, o que resulta em respingos grosseiros e o escorrimento do metal líquido durante a soldagem.

Para que isto não ocorra, é importante que se combine velocidade de soldagem, padrão de tecimento e regulagem da fonte de soldagem de maneira adequada. Este objetivo foi alcançado e os parâmetros (tanto para a fonte de soldagem quanto para o sistema de deslocamento de tocha) estão registrados nas Tabelas 1 e 2. Apesar de estarem restritos a apenas um tipo de junta (chanfro em “V” com ângulo de 30°), os procedimentos contidos neste artigo podem servir como base para outros tipos de juntas semelhantes.

Com estes conjuntos de parâmetros foi possível produzir soldas de boa qualidade com ambos os arames. Todos os cordões de solda foram submetidos a ensaio radiográfico dentre os quais, alguns apresentaram descontinuidades. Contudo, estavam dentro dos limites permissíveis pela norma ASME Seção 9.

O tipo de descontinuidade mais comum foi a formação de porosidades internas, porém sempre de maneira dispersa e em número muito pequeno ao longo do cordão de solda. Para o caso específico do arame tubular, foram detectadas porosidade superficiais do tipo vermicular (worm hole). A soldagem MIG/MAG com arame tubular mostrou-se mais suscetível a formação deste tipo de porosidade em comparação com a soldagem com arame maciço. Daí vem a necessidade de se tomar os cuidados necessários para a soldagem com arame tubular.

Comparando o aspecto visual dos cordões de solda obtidos com arame maciço e tubular, o primeiro leva vantagem. No aspecto praticidade, o arame maciço foi considerado de operação mais simples. No entanto, as velocidades de soldagem obtidas com arame tubular foram maiores daquelas obtidas com arame maciço.

5. Agradecimentos

Um trabalho como o aqui apresentado, que envolve várias ciências e tecnologias, não poderia ser executado somente pelos autores citados. Mais de uma dezena de técnicos, tanto de nível médio, como de nível superior, participam do presente projeto em atividades de eletrônica de controle, eletrônica de potência, *software*, projeto mecânico e tecnologia da soldagem. A todos eles é fundamental um grande agradecimento.

6. Referências Bibliográficas

- [1] FEDELE, R. Soldagem de Tubulações: Metalurgia, Procedimentos e Desafios, Metalurgia e Materiais, v.58, n.521, Maio 2002.
- [2] D. YAPP; S. A. BLACKMAN. Recent Developments in High Productivity Pipeline Welding, Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, vol.26, n.1, Março 2004.
- [3] JOHNSEN, M. R. U.S. Pipeline Industry Enters New Era, Welding Journal, vol.78, n.11, p.37-41, Novembro 1999.
- [4] STARLING, C.M.D., MODENESI, P.J. Efeito da Polaridade do Eletrodo na Velocidade de Fusão de Arames Tubulares, Soldagem & Inspeção, v.10, n.3, p.101-108, Setembro 2005.
- [5] STARLING, C.M.D. et al. Comparação do Desempenho Operacional e das Características do Cordão na Soldagem com Diferentes Arames Tubulares, Soldagem & Inspeção, v.14, n.1, p.10-25, Março 2009.
- [6] STARLING, C.M.D., MODENESI, P.J. Avaliação da Transferência de Metal de Arames Tubulares, Soldagem & Inspeção, v.11, n.3, p.147-155, Setembro 2006.
- [7] BRACARENSE, A.Q. et al. Parametrização para Soldagem Orbital Robotizada de Tubos com Arame Tubular, Tecnologia em Metalurgia e Materiais, v.2, n.3, p.6-10, Março 2006.
- [8] IMC SOLDAGEM, MTE DIGITEC 450/600. Disponível em: <<http://www.imc-soldagem.com.br/mte.html>>. Acesso em: 15 de junho de 2010.
- [9] CARVALHO, R.S. Robô CNC para a automação da soldagem MIG/MAG em posições e situações de extrema dificuldade. 2009. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.