

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA MECÂNICA

PEDRO PAULO VIGIANI CASSIANO

**CARACTERÍSTICA DO CORDÃO DE SOLDA NO PROCESSO DE SOLDAGEM
COM ARAME TUBULAR 410 NiMo EM AÇO CARBONO.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2018

PEDRO PAULO VIGIANI CASSIANO

**CARACTERÍSTICA DO CORDÃO DE SOLDA NO PROCESSO DE SOLDAGEM
COM ARAME TUBULAR 410 NiMo EM AÇO CARBONO.**

Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Dr. Celso Alves Correa.

CORNÉLIO PROCÓPIO
2018



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Mecânica
Curso de Engenharia Mecânica**



FOLHA DE APROVAÇÃO

Pedro Paulo Vigiani Cassiano

CARACTERÍSTICA DO CORDÃO DE SOLDA NO PROCESSO DE SOLDAGEM COM ARAME TUBULAR 410 NiMo EM AÇO CARBONO.

Trabalho de conclusão de curso apresentado às **19:00hs** do dia **6 de dezembro de 2018**, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Nome do membro 1 - Presidente (Orientador)

Prof. Nome do membro 2 - (Membro)

Prof. Nome do membro 3 - (Membro)

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

Dedico este trabalho à minha família, amigos e a minha namorada. A meu orientador que me auxiliou a efetuar esse projeto, a Universidade e todos que me instruíram durante a graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, principalmente, meu pai e minha mãe, que sempre deram condições e fizeram mais que o possível por meu estudo, educação e bem-estar. A minhas irmãs que sempre estiveram comigo em todos os momentos, e minha namorada que sempre me deu todo o suporte necessário.

A todos familiares e amigos que me aconselham e sempre participaram de minha vida e minhas decisões. E agradeço especialmente minhas avós, Maria e Alice que olham por mim do céu.

RESUMO

VIGIANI CASSIANO, Pedro Paulo. **Característica do cordão de solda no processo de soldagem com arame tubular 410 NiMo em aço carbono.** 2018, 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

O conhecimento da influência e variáveis sobre o resultado de um processo, auxilia na escolha do melhor método para uma determinada situação. A presente proposta analisa o processo de soldagem em arame tubular de aço inoxidável sobre um material de aço carbono, com a finalidade citada acima. O experimento consiste na soldagem com arame tubular 410 NiMo de 1,2 milímetros de diâmetro, em um chapa de ABNT 1020, utilizando argônio + 2% oxigênio como gás de proteção. Mantiveram-se condições fixas de soldagem como a corrente, ângulo da tocha, velocidade de alimentação do arame e vazão do gás de proteção. Assim variou-se distância do bico contato da peça e a velocidade de soldagem, analisando as características do cordão de solda e as comparando. A maior largura (8,997 mm) e o maior reforço (4,052 mm) foram obtidos com velocidade de soldagem de 300 mm/min e distância bico de contato peça de 35 mm. A menor penetração foi obtida com 400 mm/min de velocidade de soldagem e distância bico de contato peça de 35 mm.

Palavras-chave: Arame tubular 410NiMo, Morfologia do cordão, Soldagem de Revestimento.

ABSTRACT

VIGIANI CASSIANO, Pedro Paulo. **Description of the weld's in flux-cored arc welding with 410 NiMo in carbon steel.** 2018. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2018.

The knowledge of parameters in processes, helps choosing the better method to a specific situation. The present purpose analysis Flux-Cored Arc Welding (FCAW) in carbon steel. The experiment consists in FCAW with 410NiMo of 1.2mm of diameter in plate of ABNT 1020, using argon + 2% oxygen as protection gas. The conditions as, current, torch angle, wire's source speed and flow of protection gas. Then, two parameters was variated: welding speed and distance of contact, interpreting and comparing the welding's features. The largest width (8,997 mm) and the largest reinforcement (4,052 mm) were obtained with a welding speed of 300 mm/min and 35 mm contact nosepiece distance. The lowest penetration was obtained with 400 mm/min welding speed and 35 mm distance of contact.

Keywords: FCAW 410 NiMo. Weld morphology. Welding coating.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo de Soldagem.....	12
Figura 2 – Seção transversal, arame tubular.....	13
Figura 3 – Esquema de soldagem com arame tubular.....	14
Figura 4 – Esquema de soldagem com arame tubular auto protegido.....	15
Figura 5 – Fabricação do arame tubular.....	16
Figura 6 – Esquema de Equipamentos.....	16
Figura 7 – DBCP.....	19

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Influência dos parâmetros sobre a largura.....	26
Gráfico 2 – Influência dos parâmetros sobre o reforço.....	27
Gráfico 3 – Influência dos parâmetros sobre a penetração.....	27
Gráfico 4 – Comparação entre os resultados dos diferentes arames tubulares....	29
Gráfico 5 – Desvio padrão.....	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Gases de proteção recomendados.....	18
Quadro 2 – Composição química ABNT 1020.....	21
Quadro 3 – Condições de soldagem.....	22
Quadro 4 – Parâmetros variáveis de soldagem.....	22
Quadro 5 – Resultados, largura do cordão.....	23
Quadro 6 – Resultados, reforço do cordão.....	23
Quadro 7 – Resultados, penetração do cordão.....	24
Quadro 8 – Médias entre características.....	24
Quadro 9 – Médias entre ensaios.....	25
Quadro 10 – Desvio padrão.....	25
Quadro 11 – Características do cordão de solda.....	28
Quadro 12 – Parâmetros variáveis de soldagem.....	28
Quadro 13 – Desvio padrão amostras 316 L.....	29

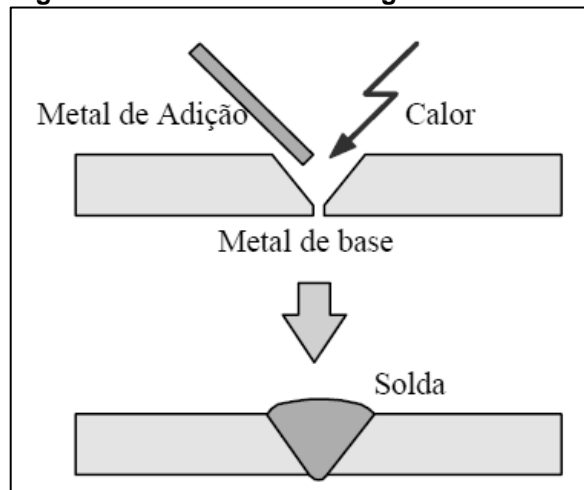
SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1	O arame tubular.....	15
2.2	Equipamentos.....	16
2.3	Vantagens e limitações.....	17
2.4	Gases de proteção.....	17
2.5	Velocidade de soldagem.....	18
2.6	Distancia bico de contato peça.....	18
2.7	Soldagem de revestimento.....	19
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
3.1	Condições fixas de soldagem.....	21
3.2	Parâmetros variáveis de soldagem.....	22
4	RESULTADOS.....	23
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	31
	REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

A soldagem é o processo de união entre duas peças metálicas utilizando uma fonte de calor ou pressão, havendo ou não metal de adição. O processo de soldagem hoje é o principal processo de coalescência de metais, principalmente em indústrias metalúrgicas, porém é observada nas mais diversas áreas. É difícil imaginar a fabricação ou manutenção de algum mecanismo, peça ou produto, sem a utilização deste processo.

Figura 1 – Processo de soldagem



Fonte: MODENESI; MARQUES (2000, p. 8).

Todavia, a união de duas peças metálicas para um determinado fim não é algo moderno, ou utilizado há pouco tempo, esse processo possui uma vasta história e grande evolução até chegar ao conhecido atualmente.

Há evidências do processo de soldagem a 4000 A.C., 1500 A.C. e idade média, os mais comuns, a soldagem por pressão, martelamento e por redução direta (que consistia em misturar minério de ferro com carvão em brasa e soprar, reduzindo o óxido de ferro, produzindo ferro metálico sem a fusão do material). E assim se manteve por muito tempo.

A evolução do processo de soldagem foi devido a descoberta do arco elétrico por Sir Humphrey Davy em 1801, e posteriormente com a descoberta do gás acetileno por Edmund Davy, onde “a primeira chama apropriada para a soldagem foi feita por Edmund Fouche e Charles Picard”, (ESAB, 2005, p. 30). Segundo eles a chama era extremamente quente, maior que 3100° C, se tornando a principal ferramenta de corte e solda do aço.

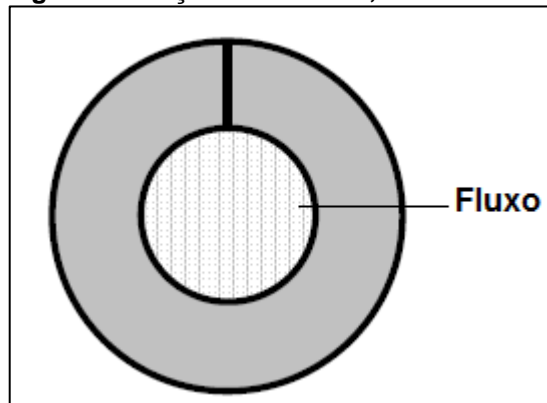
Com a ascensão desses processos e a verificação da necessidade da proteção contra a atmosfera, visto a influenciava direta na qualidade da solda, o sueco Oscar Kjellberg inventou o eletrodo revestido em 1907, possibilitando assim a criação de outros processos.

O processo soldagem de aços carbono por arames tubulares com gases de proteção, teve seu desenvolvimento na década de 50, “tornando-se comercialmente disponíveis em 1957” (ESAB, 2004, p. 1). Teve grande desenvolvimento nos Estados Unidos nas décadas de 60 e 70, e Japão na década de 80, chegando ao Brasil apenas em 1991.

O arame tubular tende a unir as características vantajosas de outros processos, como MIG/MAG, arco submerso e também eletrodo revestido, graças a seu fluxo que confere uma soldagem de alta qualidade aliado a proteção gasosa, conferindo um arco estável com baixos níveis de respingo, além da grande variedade da posição de soldagem. Visto isso, é um processo de alta qualidade e produtividade.

O projeto em questão procura demonstrar as características do cordão de solda de uma peça de aço carbono soldada por arame tubular, a partir dos parâmetros de soldagem que serão definidos posteriormente nesse trabalho.

Figura 2 – Seção transversal, arame tubular



Fonte: ESAB (2004, p. 7).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

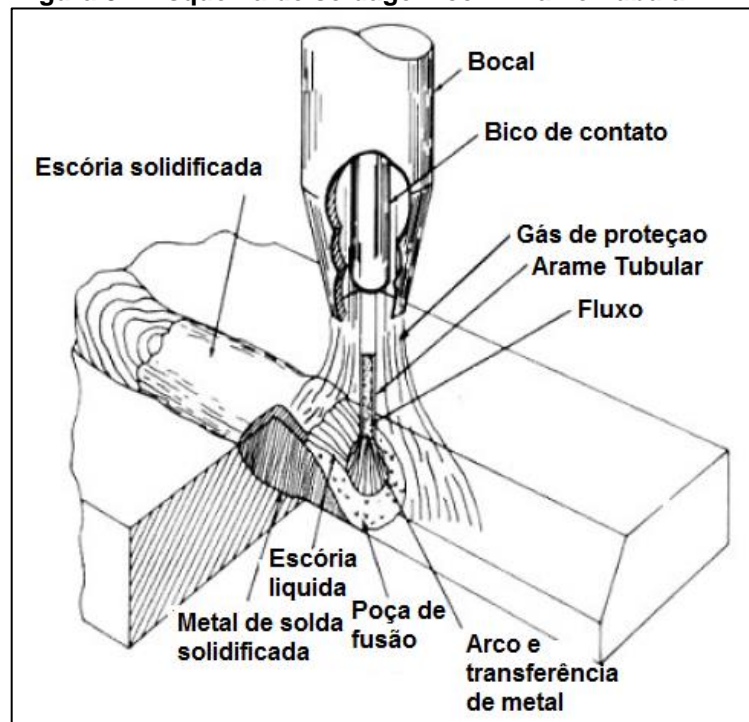
O processo de soldagem por arame tubular (Flux Cored Arc Welding - FCAW) é um processo que fusão de peças metálicas por meio do aquecimento provindo de um arco elétrico, estabelecido entre um eletrodo tubular, que é contínuo e consumível, e o material ou peça em questão.

“A proteção do arco e do cordão de solda é feita por um fluxo de soldagem contido dentro do eletrodo, que pode ser suplementada por um fluxo de gás fornecido por uma fonte externa” (MARQUES; MODENESI; BRANCARENSE, 2011, p.255).

“Além da proteção, os fluxos podem ter outras funções, semelhantes às dos revestimentos de eletrodos, como desoxidar e refinar o metal de solda, adicionar elementos de liga, estabilizar o arco etc” (MARQUES; MODENESI; BRANCARENSE, 2011, p.255).

Existem duas variações para a proteção da soldagem com arame tubular, onde uma é o arame auto protegido, o qual a proteção é obtida pelo próprio fluxo contido no eletrodo, e a outra a proteção da poça é complementada por uma nuvem de gases inertes.

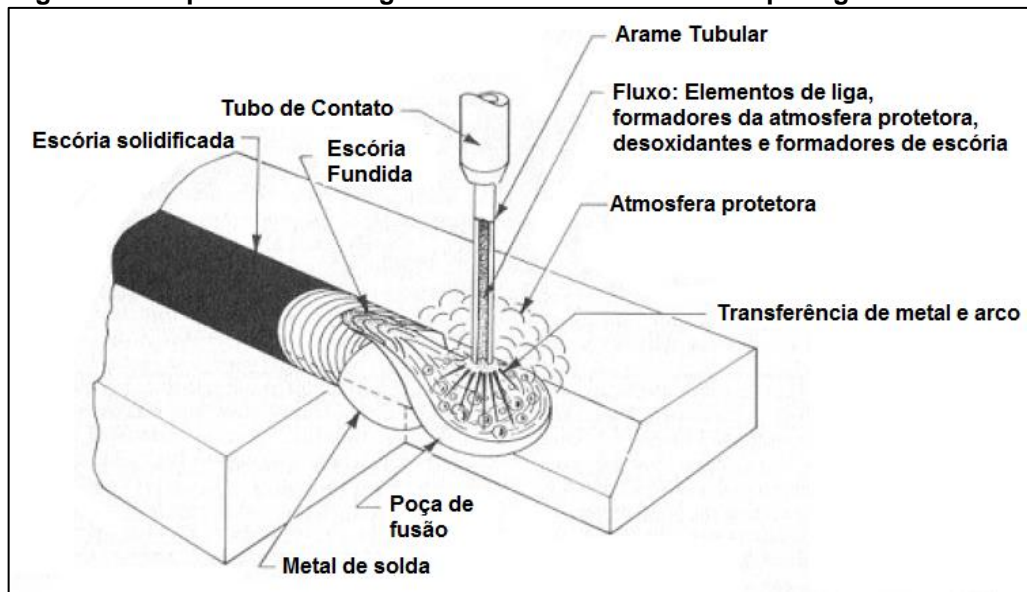
Figura 3 – Esquema de soldagem com Arame Tubular



Fonte: ESAB (2004, p. 27).

A soldagem com arame tubular e proteção gasosa, pode conferir algumas vantagens não atingidas na MIG/MAG e arame auto protegido, tais como, “escorificação de impurezas, melhor estabilização do arco, adição de elementos de liga, obtenção da proteção eficiente com menores vazões de gás, menor quantidade de respingos e cordões com melhor aspecto” (MARQUES; MODENESI; BRANCARENSE, 2011, p.261).

Figura 4 – Esquema de soldagem com Arame Tubular Auto protegido



Fonte: ESAB (2004, p. 28).

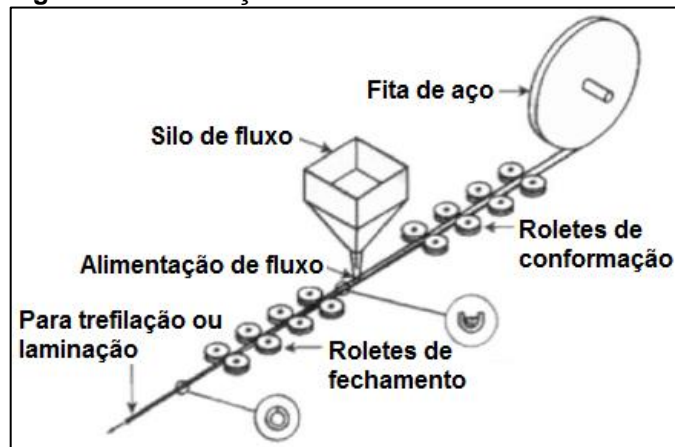
2.1 O arame tubular

O arame tubular compõe-se de um pó de caracterização específica, denominado fluxo, envolto de uma fita metálica. “O fluxo em seu interior pode conter minerais, ferros-liga e materiais que forneçam gases de proteção, desoxidantes e materiais formadores de escória” (ESAB, 2004, p.2).

“O material da fita não precisa reproduzir exatamente a composição requerida para o metal de solda, já que os elementos de liga podem ser adicionados ao fluxo do arame tubular conforme a conveniência” (ESAB, 2004, p.4). O controle e adição de elemento ao fluxo podem promover estabilidade do arco e também ter influência nas propriedades mecânica tanto no metal de solda, quanto o perfil da mesma.

Para o fim de discernimento do arame, abaixo é exibido um esboço de seu processo de fabricação.

Figura 5 – Fabricação do arame tubular



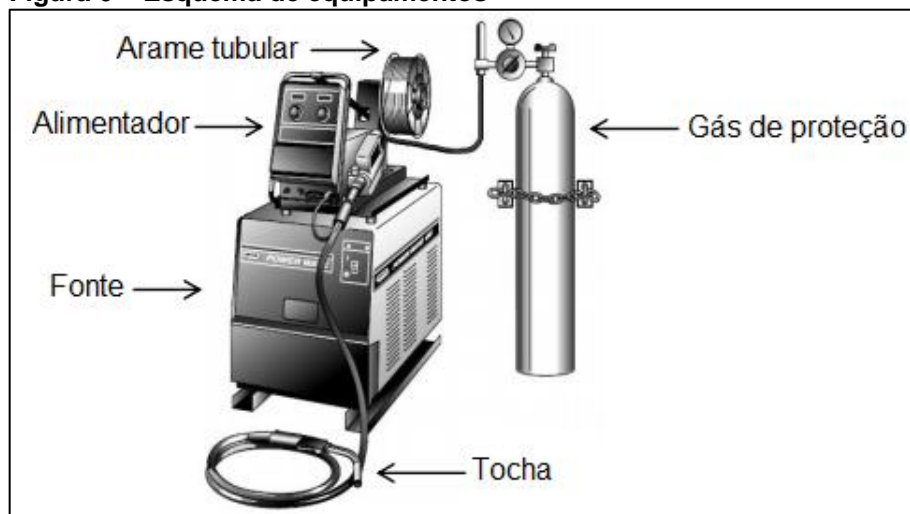
Fonte: ESAB (2004, p. 5).

2.2 Equipamentos

O processo de soldagem com arame tubular é similar aos processos de soldagem MIG/MAG, principalmente o uso de equipamentos, basicamente os mesmos, podendo haver variações nas fontes de tensões e velocidades de alimentadores, além da troca das roldanas lisas para roldanas recartilhadas, item necessário e desenvolvido para o uso de arame tubular.

Abaixo são ilustrados os equipamentos necessários para esse processo, normalmente consiste em uma fonte de energia, o alimentador de arame, fonte de gases protetores e tocha de soldagem.

Figura 6 – Esquema de equipamentos



Fonte: CRUZ (2014, p. 23).

2.3 Vantagens e Limitações

O processo FCAW é normalmente semiautomático e como citado anteriormente, possui grande semelhança com o processo MIG/MAG, tanto em equipamentos, como em princípios de funcionamento. Possui também paridade, no ponto de vista metalúrgico ao eletrodo revestido, acumulando as principais vantagens de ambas, sendo elas:

- alto fator de trabalho do soldador;
- alta taxa de deposição;
- alto rendimento, produtividade e versatilidade;
- possíveis ajustes de composição química do metal de solda;
- facilidade na operação em campo.

Para Marques, Modenesi e Brancarense (2011, p.256), o arame tubular “apresenta características em termos de flexibilidade e produtividade superiores e às vezes bastante superiores às da soldagem com eletrodos revestidos e MIG/MAG”.

Todavia, como todos os processos de soldagem, nota-se também algumas limitações, no processo em questão se destacam o elevado preço de seus equipamentos, além de gerar quantidades proeminentes de fumos e ser necessário a limpeza pós solda.

2.4 Gases de proteção

A principal função dos gases é a proteção da poça de fusão, isolando a poça e a região soldada da atmosfera, protegendo de gases como oxigênio, nitrogênio e hidrogênio, os quais podem interferir no processo e qualidade da solda. “Além disso, os gases de proteção, ainda possuem funções relacionadas a soldabilidade, penetração e pequena participação na composição química da poça de fusão, quando gases ativos são empregados na soldagem” (ESAB, 2018).

Quadro 1 – Gases de proteção recomendados

Arame X	Ar	CO2	Ar-Co2	Ar-He	Ar-O2
Tipo de Gás					
Aços ao carbono e de baixa liga	--	100%	8, 15, 20, 25 ou 50% de CO2 em Ar até 4% de Co2 em Ar	--	--
Ligas de aço inoxidável	--	--	--	--	2 a 4% de O2 em Ar
Alumínio e suas ligas	100%	--	--	até 25% de He em Ar	--
Cobre e suas ligas	100%	--	--	até 75% de He em Ar	--
Ligas de níquel	100%	--	--	até 75% de He em Ar	--
Metais reativos	100%	--	--	até 75% de He em Ar	--

Fonte: ESAB (2018).

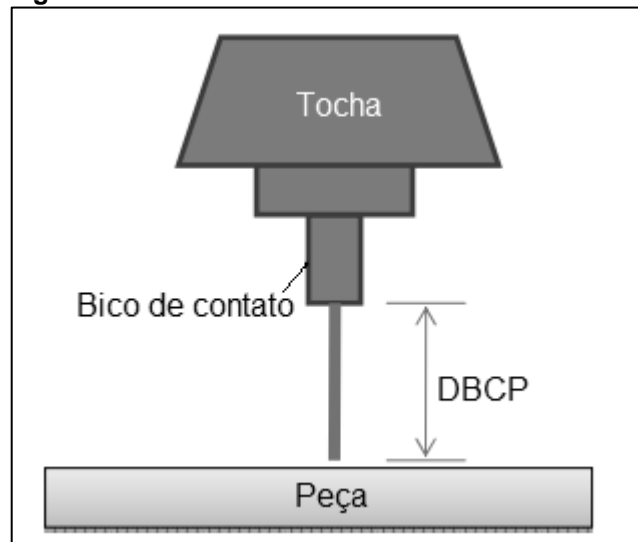
2.5 Velocidade de soldagem

A velocidade de soldagem é a relação entre o deslocamento da tocha sobre a peça, pelo o tempo de ocorrência do procedimento. Esta ligada diretamente a quantidade de calor exercida na região soldada e a taxa de material depositado. Possui também resultados diretos no processo e na morfologia do cordão, onde velocidades baixas podem conferir maiores largura e reforço do cordão, e velocidades excessivas podem agir de forma contraria, obtendo assim menores, larguras, reforços e penetrações.

2.6 Distância bico de contato peça

DBCP ou distância bico de contato peça, como o próprio nome diz é a distancia entre a peça e o bico de contato. Essa distancia tem influencia direta no efeito Joule do arco, influenciando diretamente a morfologia do cordão. A Figura 7 esboça a distância bico de contato peça.

Figura 7 – DBCP



Fonte: CAIMACAN (2014, p. 37).

2.7 Soldagem de revestimento

Soldagem de revestimento é o processo onde ocorre a deposição de uma camada de metal de adição sobre a superfície do metal base ou outro material, com o intuito de obtenção das dimensões e ou propriedades desejadas. Geralmente realizada para “prorrogar a vida útil de peças que não possuem todas as propriedades necessárias para uma dada aplicação, para recuperação de elementos afetados pelo desgaste ou corrosão ou para criação de superfícies com características especiais” (FREITAS GOMES; et al, 2011, p. 232). A principal diferença dos processos mais convencionais é a morfologia do cordão, visto que nesses processos o desejável é a alta penetração, que garante resistência a junta soldada, já na soldagem de revestimento a morfologia desejada se resume a grandes larguras do cordão, altos reforços e baixas penetrações, que é o foco deste trabalho.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Como em todo processo mecânico, seja ele, soldagem, usinagem, fundição, dentre outros, há inúmeras variações, que influenciam diretamente no resultado do mesmo. Neste caso, os maiores “influenciadores” são os consumíveis, metal base, condições fixas de soldagem e os parâmetros variáveis de soldagem.

Os consumíveis do processo de soldagem em questão, se definem basicamente dois, o metal de adição e o gás de proteção.

As amostras colhidas foram soldadas pelo com arame tubular, utilizando o arame 410 NiMo com 1,2 milímetros de diâmetro, arames tubulares de aço inoxidável que emprega proteção gasosa. Deposita um metal de solda que contém em sua estrutura 13% Cr, 4% Ni, e 0,4% Mo e microestrutura constituída por martensita macia. Porta excelente característica de arco, o que permite a utilização de fontes pulsada e convencionais. Em comparação com o arame solido, possui menor índice de defeitos, devido a excelente penetração e molhabilidade do cordão.

O gás empregado foi o argônio + 2% de oxigênio, com vazão de 12 L/min. Conforme o quadro abaixo demonstra, é uma mistura recomendada para aços inoxidáveis.

Para metal base de soldagem no ensaio foi utilizado o ABNT 1020/SAE 1020, com dimensões 40 x 6.35 x 210 milímetros. No quadro 2 encontra-se destacado a composição química do metal base.

Quadro 2 – Composição química ABNT 1020

SAE/AISI	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (%)			
	C	Mn	P Máx.	S Máx.
1005	0,06 Máx.	0,35 Máx.	0,030	0,050
1006	0,08 Máx.	0,25 - 0,40	0,030	0,050
1008	0,10 Máx.	0,30 - 0,50	0,030	0,050
1010	0,08 - 0,13	0,30 - 0,60	0,030	0,050
1012	0,10 - 0,15	0,30 - 0,60	0,030	0,050
1015	0,13 - 0,18	0,30 - 0,60	0,030	0,050
1016	0,13 - 0,18	0,60 - 0,90	0,030	0,050
1017	0,15 - 0,20	0,30 - 0,60	0,030	0,050
1018	0,15 - 0,20	0,60 - 0,90	0,030	0,050
1020	0,18 - 0,23	0,30 - 0,60	0,030	0,050
1021	0,18 - 0,23	0,60 - 0,90	0,030	0,050
1022	0,18 - 0,23	0,70 - 1,00	0,030	0,050
1023	0,20 - 0,25	0,30 - 0,60	0,030	0,050
1025	0,22 - 0,28	0,30 - 0,60	0,030	0,050

Fonte: GERDAL (2003, p. 33).

O 1020 é um aço carbono com excelente forjabilidade e soldabilidade, com baixa temperabilidade e baixa usinabilidade.

3.1 Condições Fixas de Soldagem

Foram elas, o valor da corrente, vazão do gás de proteção, velocidade de alimentação e ângulo da tocha. O quadro 3 exhibe as condições fixas de soldagem e também expõe os consumíveis e metal base, citados anteriormente.

Quadro 3 – Condições de soldagem

Condições de soldagem	
Metal de adição	Arame tubular 410 NiMo, 1,2 mm (diâmetro)
Gás de proteção	Ar + 2% O
Metal base	ABNT 1020
Corrente	200 A, CCEP
Vazão do gás	12 L/min
Velocidade de alimentação	8 M/min
Angulo da tocha	90°

Fonte: Aatoria própria.

3.2 Parâmetros Variáveis de Soldagem

Foram definidos parâmetros anteriormente aos ensaios, sendo eles a distância do bico e velocidade de soldagem, o Quadro 5 demonstra os valores definidos. Onde D1 é a primeira peça ensaiada acompanhada de seu parâmetro utilizado e por consequência D2, D3 e D4 serão outras peças sujeitas a ensaios com seus determinados parâmetros.

Quadro 4 – Parâmetros variáveis de soldagem

Ensaio	Distância do bico contato peça (mm)	Velocidade de soldagem (mm/min)
D1	35	400
D2	35	300
D3	40	300
D4	40	400

Fonte: Aatoria própria

4 RESULTADOS

O ensaio consistiu em utilizar quatro peças para quatro parâmetros distintos, dessas quatro peças foram aferidas 3 medidas para cada resultado morfológico, sendo medido em ambas extremidades, resultando duas variações. Calcularam-se as médias entre as amostras e parâmetros, por fim o cálculo do desvio padrão. Tais resultados dispõem-se no próximo capítulo.

Os resultados morfológicos encontrados do cordão de solda, foram aferidos com auxílio do microscópio “Dino Lite” com ampliação de 50 vezes. Nos Quadros 6, 7 e 8 são exibidos os resultados das amostras. É válido ressaltar que a unidade de medida utilizada foi milímetros.

Quadro 5 – Resultados, largura do cordão

Ensaio	Largura 1 (mm)	Largura 2 (mm)	Largura 3 (mm)
D1A	8,61	8,60	8,55
D1B	8,40	8,40	8,44
D2A	8,76	8,72	8,69
D2B	9,27	9,35	9,20
D3A	7,87	7,91	7,90
D3B	8,38	8,40	8,39
D4A	7,78	7,77	7,77
D4B	8,14	8,16	8,14

Fonte: Autoria própria

Quadro 6 – Resultado, reforço do cordão

Ensaio	Reforço 1 (mm)	Reforço 2 (mm)	Reforço 3 (mm)
D1A	3,39	3,40	3,38
D1B	3,67	3,67	3,68
D2A	3,84	3,84	3,80
D2B	4,28	4,31	4,26
D3A	3,70	3,71	3,69
D3B	3,67	3,66	3,66
D4A	3,55	3,54	3,54
D4B	4,17	4,17	4,16

Fonte: Autoria própria

Quadro 7 – Resultado, penetração do cordão

Ensaio	Penetração 1 (mm)	Penetração 2 (mm)	Penetração 3 (mm)
D1A	1,84	1,85	1,83
D1B	1,77	1,77	1,76
D2A	2,03	2,02	2,04
D2B	2,21	2,21	2,22
D3A	2,96	2,95	2,97
D3B	2,70	2,71	2,70
D4A	2,66	2,66	2,67
D4B	2,23	2,22	2,21

Fonte: Autoria própria

Concluída a coleta dos resultados e visando obter os desvios padrões dos ensaios, foram efetuados cálculos de média entre as amostras. Primeiramente entre as características, ou seja, média entre largura 1, largura 2 e largura 3 de um mesmo ensaio, repetindo com as seguintes. Os quadros esclarecem tal iteração.

Quadro 8 – Médias entre características.

Média ensaios (mm)			
Ensaio	Largura	Reforço	Penetração
D1A	8,587	3,391	1,837
D1B	8,410	3,672	1,763
D2A	8,722	3,824	2,027
D2B	9,272	4,280	2,211
D3A	7,891	3,698	2,957
D3B	8,389	3,662	2,702
D4A	7,770	3,541	2,663
D4B	8,144	4,166	2,216

Fonte: Autoria própria

Seguindo as iterações, após a média entre parâmetros efetuou-se a média entre ensaios, que consiste no cálculo da média entre os ensaios de mesmos parâmetros, D1A e D1B, e assim para os demais ensaios.

Quadro 9 – Médias entre ensaios

Média das amostras (mm)			
Média	Largura	Reforço	Penetração
D1	8,499	3,531	1,800
D2	8,997	4,052	2,119
D3	8,140	3,680	2,830
D4	7,957	3,853	2,440

Fonte: Autoria própria

Por fim a última iteração, o desvio padrão, que tem função determinar a uniformidade dos ensaios, onde um valor mais próximo de zero é considerado um ensaio homogêneo. Para tal cálculo, foi utilizado a formula de desvio padrão amostral (1) e obtiveram-se os seguintes resultados.

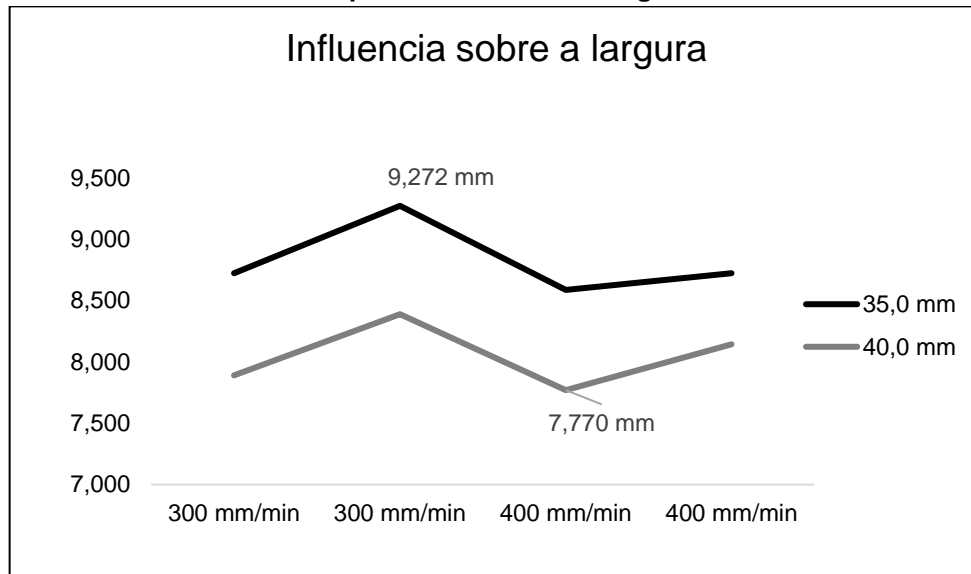
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

Quadro 10 – Desvio padrão

Desvio padrão		
Largura	Reforço	Penetração
0,458	0,224	0,441

Fonte: Autoria própria

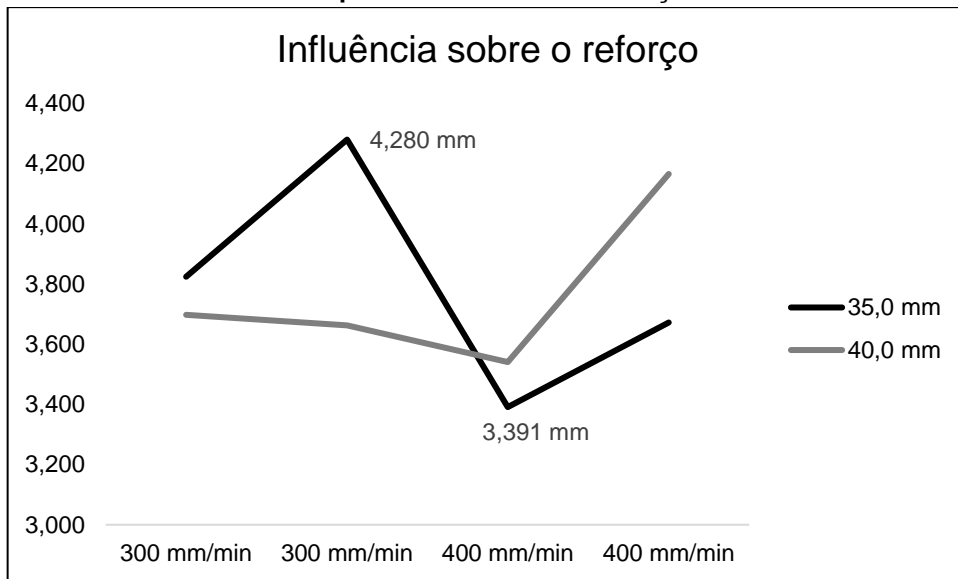
No gráfico 1 podemos visualizar e comparar os efeitos da velocidade de soldagem e da distância entre eletrodo e peça sobre a largura. Nota-se um aumento da largura do cordão quando se diminuí a velocidade de soldagem e também quando se diminui a distância eletrodo-peça.

Gráfico 1 – Influência dos parâmetros sobre a largura

Fonte: Autoria própria.

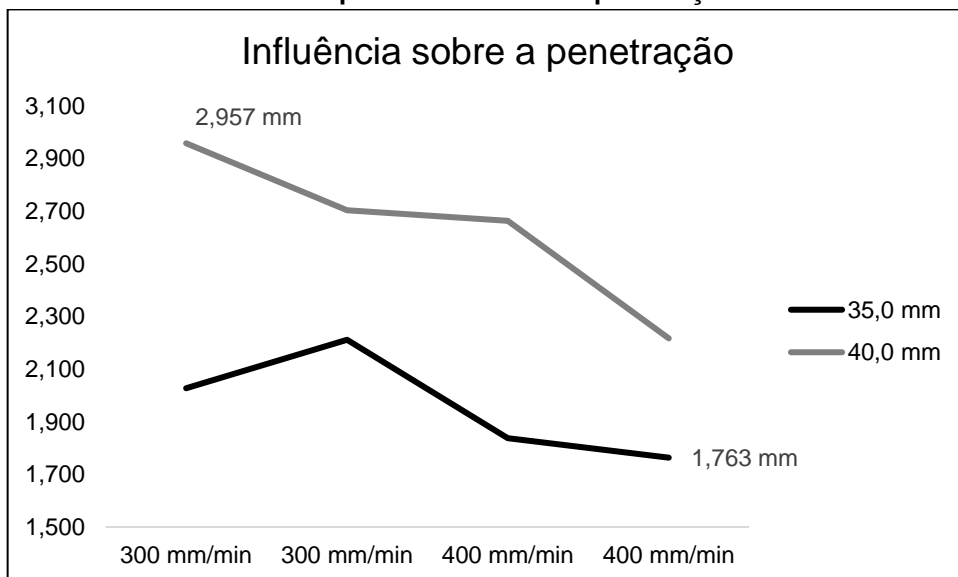
A largura máxima de acordo com o Quadro 8, foi de 9,272, para uma velocidade de soldagem de 300,0 mm/min e a distancia do bico de 35,0 mm. E a mínima foi de 7,770 com velocidade de 400,0 mm/min e distancia de 40,0 mm para a peça. Em menores velocidades nota-se uma maior largura, pois a redução da velocidade possibilita maior quantidade de material depositado sobre a peça. Observa-se também o aumento da largura com a redução da distância, pois o aumento da distância aumenta o comprimento e o efeito Joule do arco elétrico, gerando uma queda de calor na poça de fusão, essa queda de calor diminui as dimensões do cordão.

No Gráfico 2 é possível identificar e realizar a mesma análise dos parâmetros sobre a largura, onde a maior taxa de reforço (4,280) foi retirada da menor velocidade e distância (300 mm/min e 35,0 mm), porém a menor taxa foi verificada com maior velocidade e menor distancia, entendendo assim que maiores valores de reforço se encontram em menores velocidades, pois como na análise da largura, possui maior quantidade de material depositado.

Gráfico 2 – Influência dos parâmetros sobre o reforço

Fonte: Autoria própria.

Já em valores de penetração o valor mais elevado, 2,957 obteve-se em maior distancia e menor velocidade, e sua menor penetração, 1,763 em menor distância e menor velocidade como demonstra a tabela abaixo.

Gráfico 3 – Influência dos parâmetros sobre a penetração

Fonte: Autoria própria.

É possível também observar tais efeito sobre a morfologia em FREITAS GOMES, et al (2011). O qual aborda a morfologia do cordão resultante da soldagem com arame tubular de aço inoxidável 316L, em uma peça de aço carbono ABNT 1020,

sendo alterando os parâmetros de soldagem. Os resultados dos ensaios serão comparados aos ensaios que aqui se expõe.

Os autores realizaram vários ensaios com parâmetros de soldagem variáveis, foram selecionados para comparação aqueles que possuem maior proximidade dos parâmetros do Quadro 4. O Quadro 11 foi retirado e adaptado da referência citada.

Quadro 11 – Característica do cordão de solda

ENSAIO	LARGURA	REFORÇO	PENETRAÇÃO
C1	9,22	2,89	1,28
C2	10,82	2,60	1,71
C3	10,93	2,59	1,72
C4	10,74	2,65	1,62
C5	10,61	2,50	1,80
C6	10,64	2,62	1,49
C7	10,59	2,61	1,49
C8	10,57	2,56	1,50

Fonte: FREITAS GOMES; et al (2011, p. 238).

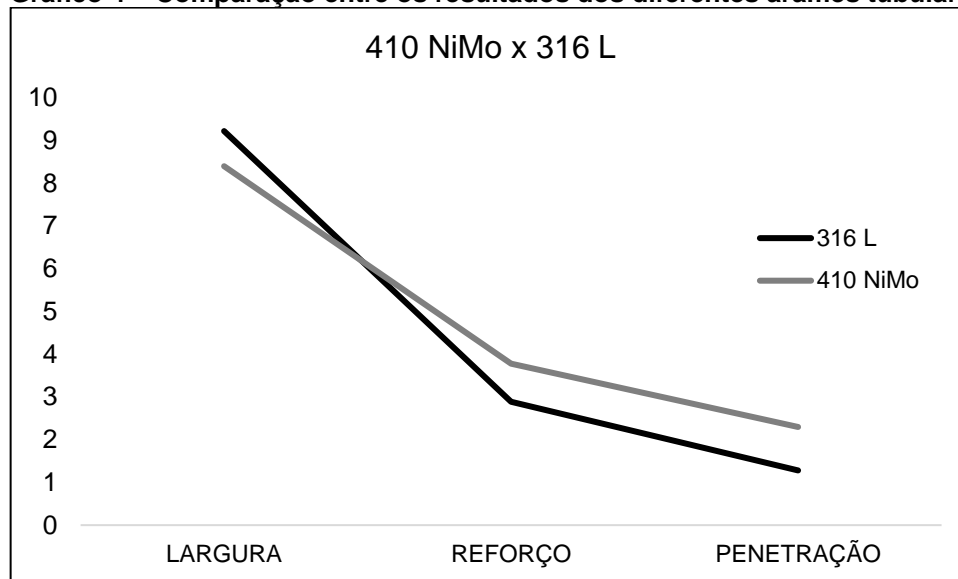
Acima e com auxílio do Quadro 12 é perceptível a influência da velocidade e distancia do bico para os parâmetros de largura e reforço, onde o ensaio C1 possui valores menores que os demais ensaios que foram efetuados em parâmetros mais elevados.

Quadro 12 – Parâmetros variáveis de soldagem

ENSAIO	DISTANCIA DO BICO CONTATO PEÇA (mm)	VELOCIDADE DE SOLDAGEM mm/min
C1	30	400
C2... C8	20	300

Fonte: FREITAS GOMES; et al (2011, p. 235).

Ressalta-se que a velocidade de alimentação do arame definida pelos autores foi 8,5 mm/min. Ao comparar tais dados aos dados dos Quadros 3 e 4, percebe-se a verossimilhança entre os projetos. No Gráfico 4 foi efetuado uma comparação entre C1 (parâmetros mais próximos aos apresentados acima) e uma média entre os ensaios D1, D2, D3 e D4 expostos no Quadro 10.

Gráfico 4 – Comparação entre os resultados dos diferentes arames tubulares

Fonte: Autoria própria.

Claramente é possível analisar o gráfico da seguinte maneira: O processo de arame tubular com 410 NiMo conferem maiores taxas de reforço e penetração em contrapartida o processo com 316 L apresenta maior largura do cordão. É possível verificar também, que havendo algumas diferenças no processo, parâmetros e materiais, os cordões de solda possuem características similares de forma geral. Deve-se lembrar que essa análise não pode ser estendida para fatores de microestrutura e composição química, pois apesar do metal base ser o mesmo, o 316 L possui composição química de 0,03% C, 1,58% Mn, 1% Si, 12,4% Ni, 18,5% Cr e 2,46% Mo, interferindo diretamente em suas propriedades mecânicas e demais especificações da região soldada.

Após feita a primeira análise efetua-se o cálculo de desvio padrão dos dados encontrados no Quadro 11.

Quadro 13 – Desvio padrão amostras 316 L

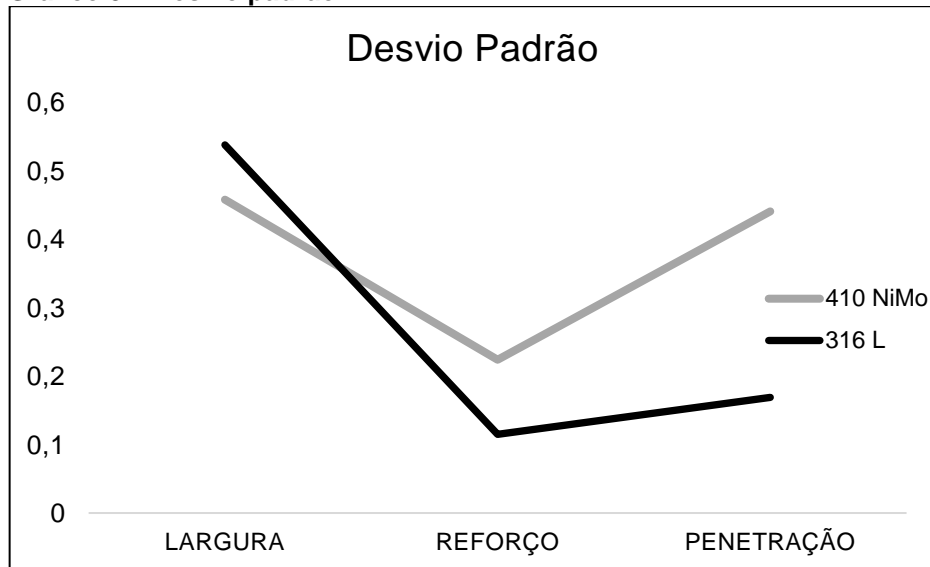
DESVIO PADRÃO		
LARGURA	REFORÇO	PENETRAÇÃO
0,538	0,115	0,169

Fonte: Autoria própria

Por fim, comparando os Quadros 10 e 13, é possível verificar maior homogeneidade em largura no arame 410 NiMo, já o arame 316 L em reforço e penetração. A maior homogeneidade em geral de 316 L é possível pelos valores dos

parâmetros não sofrerem grande alteração, sendo observado a alteração apenas em C1.

Gráfico 5 – Desvio padrão



Fonte: Autoria própria.

De uma forma geral é possível afirmar pelas análises feitas na morfologia do cordão dos arames tubulares em questão possuem características similares, mantendo-se próximas, com pouca variação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação evidencia, valida e também promove a seleção dos melhores processos e escolhas de parâmetros, resultante das melhores respostas. Consequentemente é necessária a comparação dos ensaios realizados, pois ao comparar os resultados entre si, são definidos parâmetros de melhores características.

Para tal comparação observa-se os resultados obtidos no Quadro 9, pois se trata de uma média dos resultados, trazendo assim um padrão para as características do cordão. Analisando nota-se que D2 possui maiores médias de largura (8,997) e reforço (4,052), porém penetração menor que apresentada em D3 e D4.

É notável que a profundidade da solda dentre as demais características do cordão em uma soldagem convencional, se busca maiores valores para sua qualidade, todavia cada característica possui sua empregabilidade, por exemplo, uma soldagem em um vaso de pressão um reforço de muito grande pode resultar em um ponto de trinca, assim como em uma soldagem de canto o valor elevado do reforço é benéfico para a peça ou equipamento soldado. Este trabalho por exemplo, por se tratar de uma soldagem de revestimento, visou a busca de maiores larguras e reforço, e menor penetração.

- A maior média de largura foi de 8,997 mm com velocidade de soldagem de 300,0 mm/min e distância bico de contato peça de 35,0 mm;
- O maior reforço, 4,052 mm com velocidade de 300,0 mm/min e 35,0 mm de distância de bico de contato peça;
- E menor penetração de 1,800 mm, com a distância bico de contato peça de 35,0 mm e 400,0 mm/min de velocidade.

Conclui-se que os ensaios contribuíram para a distinção das características do cordão, evidenciando a variação de parâmetros sobre seus resultados e auxiliando na escolha do mesmo para um futuro projeto, processo de soldagem ou serviço com o arame tubular em questão. Vale ressaltar que não foram realizados ensaios quanto a porosidade, determinação de defeitos e os demais ensaios destrutivos e não destrutivos da região soldada.

REFERÊNCIAS

CAIMACAN, D. **Avaliação do Uso do Curto-Circuito Controlado (CCC) na soldagem de Passes de Enchimento pelo Processo MIG/MAG Duplo arame.** 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

CESAR NETO, BENEDITO VIEIRA. **Comparação de Junta solda Aço Carbono/ Aço Inox utilizando como metal de adição Aço Carbono e Aço Inox.** 2015. 67 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

ESAB. **1904 – 2004: ESAB 100 anos.** 2005. Disponível em: <http://www3.esab.com.br/Revista_Solucao_200505.pdf>. Acesso em: 14 de maio de 2018.

ESAB. **OK Arames Tubulares.** São Paulo, 2005.

ESAB. **OK TUBROD: 410 NiMo MC.** Disponível em: <<https://www.esab.com.br/br/pt/products/index.cfm?fuseaction=home.product&productCode=0031146&tab=1>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

ESAB. **Processos de soldagem: Arames Tubulares.** Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_arames_tubulares.cfm>. Acesso em: 20 nov. 2018.

ESAB. **Processo de Soldagem: MIG/MAG (GTAW).** Disponível em: <https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_mig_mag_gmaw.cfm>. Acesso em: 20 nov. 2018.

FORTES, Cleber. **Arames Tubulares OK.** ESAB, 2004.

FREITAS GOMES, J. H. et al. Otimização de Múltiplos Objetivos na Soldagem de Revestimento de Chapas de Aço Carbono ABNT 1020 Utilizando Arame Tubular Inoxidável Austenítico. **Soldagem Insp.** São Paulo, v. 16, p. 232-242, Jul/Set, 2011. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242011000300005&lang=pt>. Acesso em: 20 nov. 2018.

GERDAU. **Aços para construção mecânica:** Gerdau – 1020. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/pt/productservices/products/Document%20Gallery/Gerdau%20-%201020.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

GERDAU. **Manual de Aços.** São Paulo, 2003.

GIRON CRUZ, Jorge Andres. **Uma metodologia para modelagem e controle da altura do reforço e da largura do cordão de solda no processo GMAW.** 2014. 153. f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos) - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

GUERRA MACHADO, Ivan. **Soldagem e Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre: UFRGS/Centro de Tecnologia/LS&TC, 1996.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J. **Soldagem I: Introdução aos Processos de Soldagem**. Belo Horizonte: UFMG, 2000. Disponível em: <https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/0/03/Perguntas_.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2018.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. **Soldagem: Processo e Metalurgia**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1992.