



## **Análise da Soldagem FCAW com a Adição de Arame Frio Aplicado a Indústria Naval**

Fabio Gonçalves da Silva, [eng\\_fgs@yahoo.com.br](mailto:eng_fgs@yahoo.com.br)<sup>1</sup>,  
Everton Augusto Maciel Mendonça, [notreve@ufpa.br](mailto:notreve@ufpa.br)<sup>1</sup>,  
Eduardo de Magalhães Braga, [edbraga@ufpa.br](mailto:edbraga@ufpa.br)<sup>2</sup>.

<sup>1,2</sup> Universidade Federal do Pará, Campus Universitário do Guamá, rua Augusto Correa nº1, Laboratório de Engenharia Mecânica, Belém-Pará, CEP.: 66075-900.

**Resumo:** Este trabalho tem por objetivo analisar o processo de soldagem FCAW com adição de arame, aplicado à indústria naval. A utilização desta técnica apresenta grandes vantagens comparadas ao processo FCAW convencional, impulsionando as indústrias navais a serem mais competitivas na qualidade de seus produtos. Este trabalho, tem por finalidade analisar a qualidade das juntas soldadas pelas técnicas FCAW e FCAW-CW (arames frios), apresentando um comparativo de estabilidade de arco, econômico e geométrico entre os processos realizados em ambiente industrial. As soldagens foram realizadas em chanfros “V” de chapas de aço estrutural (ASTM A-131 grau A), em posição plana pelo método semiautomático. Em todas as condições de soldagem o passe de raiz foi realizado com arame eletrodo AWS E71T-1 de 1,2 mm de diâmetro, com velocidades de 8,5 m/min e CO<sub>2</sub> como proteção na vazão de 15 l/min. Para os passes de enchimento utilizou-se o mesmo arame eletrodo, porém com três níveis de velocidade de alimentação de arame (6, 8 e 10 m/min) sem e com adição de arame frio da classe AWS ER70S-6. Para o processo FCAW-CW foram realizados dois procedimentos independentes, o primeiro com adição de arame frio de diâmetro de 0,8 mm e o segundo com arame frio de 1,0 mm de diâmetro, a proporção entre as velocidades de alimentação do arame eletrodo e de alimentação de arame frio foram as seguintes: 6/2, 8/3 e 10/4 m/min. Os resultados mostraram que em relação ao aspecto da estabilidade de arco relacionado a transferência metálica, notou-se que muito provavelmente predominou o modo de transferência misto nos passes de enchimento para os dois processos FCAW e FCAW-CW. Na caracterização econômica houve melhorias significativas com a aplicação do arame frio comparado ao convencional, já relacionado as características geométricas houve uma tendência de redução de penetração e aumento do reforço.

**Palavras-chave:** FCAW, FCAW-CW, ASTM A-131, AWS E71T-1.

### **1. INTRODUÇÃO**

Tendências de inovações tecnológicas aplicadas ao setor de processos de fabricação e materiais voltadas as indústrias tornam-se cada vez mais evidentes ao propor modificações aos processos produtivos já consolidados, garantido maior produtividade com qualidade. Nesse seguimento os processos de soldagem ganham maiores atenções ao proporcionar essas evoluções aos seus métodos e criam novas técnicas voltadas ao setor produtivo.

Em discussão aos vários processos de soldagem, Fortes (2004), afirma que a soldagem FCAW possui inúmeras semelhanças ao processo GMAW. Por outro lado, através da soldagem FCAW é possível obter a alta versatilidade da soldagem com eletrodos revestidos no ajuste de composição química e facilidade de trabalho em campo. Nascimento (2004) complementa que o processo de soldagem FCAW é recomendado para a soldagem ambiente industrial em todas as posições. A composição do fluxo neste processo de soldagem possibilita condições para a transferência metálica no modo globular mesmo com o CO<sub>2</sub> usado como gás de proteção, Starling (2006).

Mendonça (2007), cita que a aplicação do processo duplo arame tem aumentado na indústria, principalmente, permitindo a imposição de maior velocidade de deslocamento e alta taxa de metal depositado. Estas são algumas das principais vantagens do processo com duplo arame em relação ao processo de soldagem convencional.

A proposta da soldagem com adição de um arame frio (FCAW-CW ou GMAW-CW) se estabelece como uma alternativa técnica e econômica em relação a soldagens convencionais e GMAW com duplo arame. Esta nova versão da soldagem utiliza apenas um equipamento convencional (uma fonte de tensão constante), a alimentação do arame não energizado é realizada através de um segundo cabeçote alimentador e um sistema (injetor de arame) acoplado à extremidade da tocha de soldagem a fim de conduzi-lo a região do arco elétrico (Junior, 2009; Sábio, 2007; Bacelar e Ferraz, 2005, e Barrozo, 2006).

A utilização do gás CO<sub>2</sub> para as soldagens GMAW-CW e FCAW-CW como gás de proteção é justificada, primeiro por ter custo economicamente viável e segundo por observações significantes na qualidade e desempenho de processos duplo arame (Starling, 2006; Mendonça, 2007; Junior, 2009; Sábio, 2007; Bacelar e Ferraz, 2005, e Barrozo, 2006).

As velocidades de alimentação de arame eletrodo e arame frio devem apresentar a proporção de 2:1, admitindo que velocidades mais altas possam exceder o limite tolerável e o arame não energizado pode ficar retido e solidificado na poça de fusão, como conseqüência o travamento do sistema (Barrozo, 2006).

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma análise da técnica FCAW-CW, aplicado a indústria naval da região, através da qualidade das juntas soldadas pelas técnicas FCAW e FCAW-CW, apresentando comparativos geométrico, econômico e de características do arco entre os processos realizados em ambiente industrial.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. EQUIPAMENTOS

Para a realização dos experimentos, foi desenvolvido um suporte de alimentação de arame frio, que acoplado a pistola de soldagem garantiu a versatilidade e praticidade da aplicação em ambiente industrial pelo método semiautomático. Este equipamento apresentou outras versões utilizadas em trabalhos anteriores nos modos automatizados nas aplicações com adição de arame frio em ensaios no laboratório. Entretanto, houve a necessidade de adaptá-lo a realidade da indústria (“chão de fábrica”) para o melhor manuseio durante a deposição dos metais de adição. Assim, o suporte elaborado por Junior (2009), é mais leve e atende as necessidades do processo FCAW-CW com fácil adaptação na tocha de soldagem, conforme a Fig. (1), da representação esquemática, apresentada para a prática na indústria.

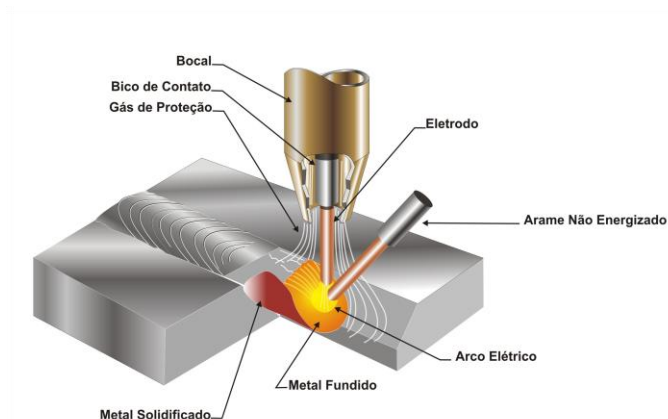


Figura 1 – Representação esquemática do posicionamento do injetor de arame não energizado acoplado a tocha FCAW ou GMAW.

Foram utilizados uma fonte de soldagem eletrônica, dois sistemas alimentação de arame, uma tocha de soldagem e sistema de proteção gasosa fornecidos pela indústria. O equipamento de aquisição e processamento de dados (corrente e tensão) com sistema de controle de alimentação de arames e programa computacional OSCILOS (comercial) foi empregado nos ajustes dos parâmetros e verificações do comportamento durante o processo.

### 2.2. MATERIAIS UTILIZADOS

Em todos os ensaios foram utilizadas chapas de aço baixo carbono ASTM A131 Grau A, estrutural naval, de 9,5 mm de espessura, como metal de base. As chapas foram cortadas em peças de dimensões 300 x 150 mm, pesadas e usinadas, apresentando em uma das arestas maiores o ângulo de Bisel de 22,5°, a formar a junta a soldar um chanfro em “V” de 45°, sem nariz e com abertura de fresta de 2,4 mm, a montagem do corpo de prova é representada na Fig. (2).

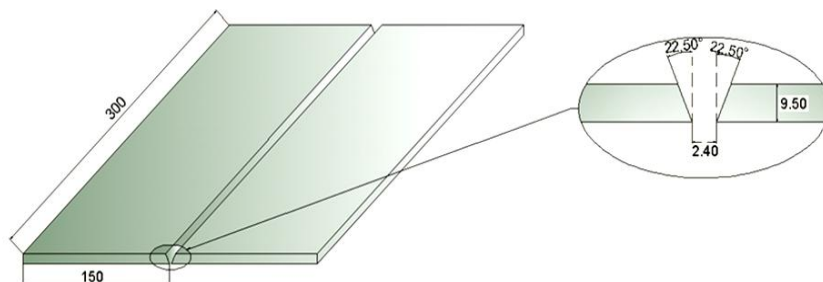


Figura 2 – Representação esquemática do corpo de prova (em mm).

Os consumíveis utilizados foram: o arame eletrodo da classe AWS E71T-1 (ASME SFA-5-20) com 1,2 mm de diâmetro; para arame frio foram utilizados dois arames da classe AWS ER70S-6 (ASME SFA-5.18) com diâmetros distintos, o primeiro com 0,8 mm e o outro de 1,0 mm; na proteção gasosa o CO<sub>2</sub> comercial. Estes materiais são os mesmos utilizados pela indústria naval. A Tabela (1) apresenta a composição química encontrada nos materiais de consumo.

Tabela 1. Composição química do metal de base e do consumível (% peso).

Elementos	C	Mn	Si	P	S
ASTM A-131	0,21	2,5 x C	0,035	0,035	0,040 (max.)
AWS E71T-1	0,04	1,3	0,5	0,015	0,012
AWS ER70S-6	0,08	1,5	0,9	0,025	0,035

### 2.3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

As soldagens foram realizadas por simples deposição em chanfro, no sentido empurrando na posição plana pelo método semiautomático em dois passes: primeiro o passe de raiz, em todos os corpos de prova, com finalidade de anular o passe no reverso do cordão de solda, que foi realizado com arame eletrodo da classe AWS E71T-1 de 1,2 mm nas condições mais adequadas ao soldador. Para os passes de enchimento foi utilizado o mesmo arame eletrodo, em três níveis de velocidade de alimentação de arame (6, 8 e 10 m/min) sem e com adição de arame frio da classe AWS ER70S-6. Para o processo FCAW-CW foram realizados dois procedimentos independentes, o primeiro com adição de arame frio de diâmetro de 0,8 mm e o segundo com adição de arame frio de 1,0 mm de diâmetro, com corrente a 190 A e tensão de 30 V, com proteção gasosa de CO<sub>2</sub> na vazão de 15 l/min. A Tabela (2) apresenta os parâmetros relacionando as velocidades de alimentação dos arames. Os passes de enchimento foram realizados em triplicatas para verificação da regularidade dos parâmetros. O critério de aceitação adotado foi pela ausência de defeitos, bom acabamento superficial, quantidade de respingos e regularidade do cordão de solda.

Tabela 2. Parâmetros de velocidade dos processos FCAW e FCAW-CW.

Fator de Velocidade de Alimentação	Nível		
Arame Eletrodo, (m/min), FCAW - Ø=1.2 mm	6,0	8,0	10,0
Arame Frio, (m/min), FCAW-CW - Ø=0.8 mm	2,5	3	4
Arame Frio, (m/min), FCAW-CW - Ø=1.0 mm	2	3	4

Executadas as soldagens, os corpos de prova foram limpos, pesados e avaliados quanto a qualidade superficial dos cordões de solda para em seguida ser realizada as caracterizações dimensional e metalográfica, para isso as chapas foram seccionadas conforme a Fig. (3), na qual foram retiradas as amostras de aproximadamente 50 x 10 mm, na parte central do corpo de prova, pelo critério de ser a região que subtende-se ser de maior regularidade de arco, observada no oscilograma do comportamento de corrente e tensão durante o processo.

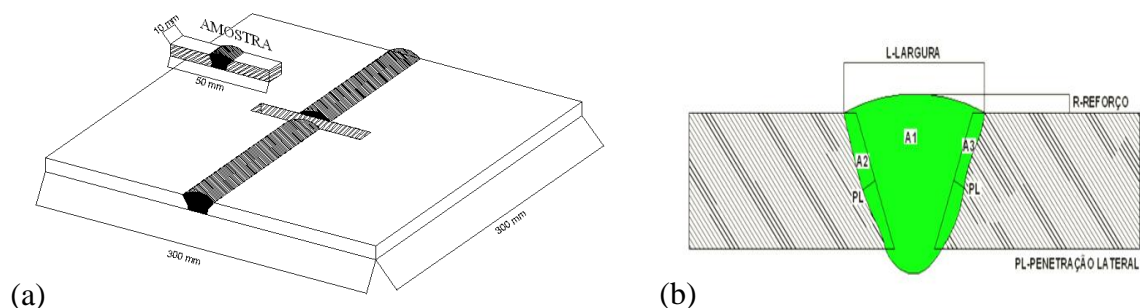


Figura 3. Representação esquemática (a) da posição de retirada das amostras, (b) para caracterização geométrica e metalográfica (A1 – zona de fusão; A2 e A3– zona fundida do material de base, A1 + A2+ A3 = cordão de solda).

Cada amostra passou pelo processo de lixamento em uma das seções transversais, e em seguida, atacada com solução de Nital 2%, para revelação de regiões e posterior medição dos parâmetros geométricos, representada na Fig. (3 b) (largura, reforço, penetração, diluição, com identificação das regiões da zona afetada pelo calor e área total fundida).

Para esta análise, foi utilizado um equipamento de aquisição de imagens e software comercial para esboçar e sombrear a zona fundida e quantificar as medidas geométricas das imagens. Os valores da taxa de fusão ( $TF$ ) e taxa de deposição ( $TD$ ) obtidos a partir das Equações 1 e 2 (Sábio, 2007; Bacelar e Ferraz, 2005, e Barrozo, 2006), foram utilizadas para avaliar as características econômicas dos processos de soldagem em geral.

$$TF = 3,6 \left( \rho_1 \frac{l_1}{t_1} + \rho_2 \frac{l_2}{t_2} \right) \quad [kg.h^{-1}] \quad (1)$$

Onde:  $t_1$  – tempo do arame eletrodo (s);  $t_2$  – tempo do arame frio (s);  $\rho_1$  – densidade linear do arame eletrodo (g/m);  $\rho_2$  – densidade linear do arame frio (g/m);  $l_1$  – comprimento consumido de arame eletrodo (m) e  $l_2$  – comprimento consumido de arame frio (m).

$$TD = 3,6 \left( \frac{m_f - m_i}{t_M} \right) \quad [kg.h^{-1}] \quad (2)$$

$$\text{Sendo: } t_M = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

Onde:  $m_f$  - massa final da junta depois da soldagem (g);  $m_i$  - massa inicial da junta antes da soldagem (g) e  $t_M$  – tempo médio (s). Na determinação da diluição foi utilizado a Equação 4.

$$\delta = \frac{A1}{A1 + A2 + A3} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3)$$

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 3 apresenta as características geométricas dos processos FCAW convencional e FCAW-CW, onde são observadas as variações decorrentes da velocidade para os processos com e sem a influencia da adição de um arame frio ao arco elétrico. A diluição manteve-se regular aos dois processos, no qual observa-se que para os mesmos parâmetros de corrente e tensão durante a soldagem não ocorreram grandes variações quando se adicionou mais material não-energizados na forma de aumento do diâmetros dos arames de 0.8 mm para 1.0 mm.

Tabela 3. Característica geométricas dos processos FCAW e FCAW-CW.

Processo	Veloc. arame eletrodo (m/min)	Veloc. do arame frio (m/min)	Características Geométricas			
			Largura (L) (mm)	Reforço (R) (mm)	Penetração Lateral ( $P_L$ ) (mm)	Diluição ( $\delta$ ) (%)
FCAW	6	-	14,43	2,10	0,44	9,24
	8	-	13,08	0,89	0,42	12,62
	10	-	13,77	0,97	0,37	12,80
FCAW-CW (0.8 mm)	6	2,5	15,39	2,12	0,64	11,30
	8	3	13,98	1,63	0,64	12,31
	10	4	16,60	2,08	1,01	17,20
FCAW-CW (1.0 mm)	6	2	14,19	1,53	0,72	10,00
	8	3	13,55	1,85	0,65	9,89
	10	4	14,54	0,67	0,75	14,28

A Figura (4) representa, em forma gráfica, as variações no reforço e largura do cordão de solda com relação as velocidades de alimentação de arame eletrodo, para os processos. Foram observados na largura, uma tendência de decréscimo provocado pela velocidade 6 para 8 m/min, seguido de aumento de 8 para 10 m/min, predominando o FCAW-CW (0.8 mm) dos valores mais altos, quando comparado o processo soldagem pela velocidade. No reforço médio, observamos que FCAW e FCAW-CW (0.8), apresentaram perfil gráfico semelhantes com mesma tendência, e FCAW-CW(1.0) se comportou de forma inversa em todas as variações de velocidade.

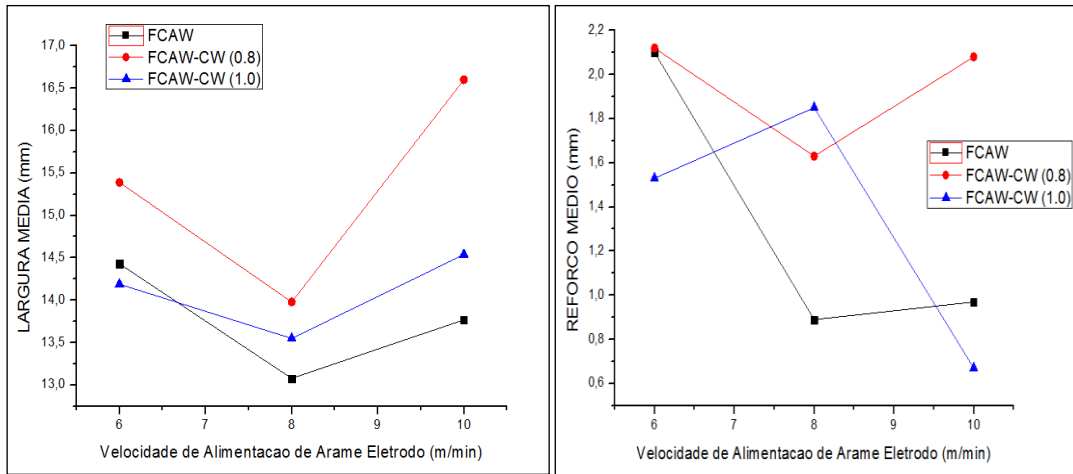


Figura 4. Características geométricas da largura e reforço do cordão de solda dos processos FCAW e FCAW-CW.

A penetração lateral ocorreu de forma irregular aos métodos, conforme apresentado na Fig. (5), com forte influência da técnica de aplicação da soldagem no modo semiautomático, provocadas pelas variações na distância bocal-peça e das ocorrências de salpicagem influenciadas pelas trepidações na tocha de soldagem interferindo na deposição de material. Esses fatores influenciaram também na estabilidade de arco observado nos oscilogramas de controle dos parâmetros. Quanto a diluição, Sábio (2007) e Barrozo (2006) concluíram em seu trabalho que houve uma tendência de crescimento ao se utilizar o arame não energizado, isto confirma que os processos arame frio, apresentaram ganhos percentuais significativos, entretanto o FCAW-CW(1.0) com 8 m/min proporcionou um valor percentual negativo em relação a 6 m/min.

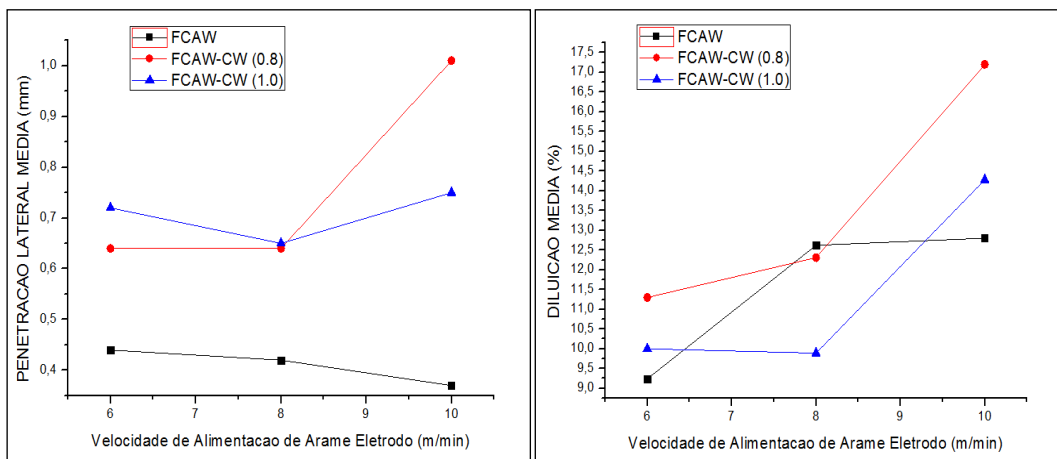


Figura 5. Características geométricas da penetração lateral e diluição do cordão de solda dos processos FCAW e FCAW-CW.

Na micrografia das amostras dos corpos de prova soldados pelos processo FCAW-CW, houve o surgimento de uma descontinuidade em alguns casos, detalhes na Fig. (6), essas irregularidade configurada como inclusão de escória, muito provavelmente foi provocada pela manipulação inadequada do eletrodo, remoção incompleta da escória da soldagem do passe de raiz ou pelo baixo aporte de calor ser insuficiente para refundir a escória. Entretanto, nos casos do processo FCAW-CW com velocidades de alimentação de arame eletrodo entre 6 e 8 m/min e arame frio de 1,0 mm de diâmetro, não apresentaram descontinuidades, fatores que satisfazem a possíveis aplicação do processo FCAW-CW em escala industrial.

A Figura (6), ainda revela as áreas delimitadas características da soldagem em juntas, na qual apresentou nitidamente as regiões do cordão, zona termicamente afetada pelo calor e metal de base, as quais, de modo geral não apresentaram variações relevantes no comparativo entre os processos convencionais e com a adição de arame frio.

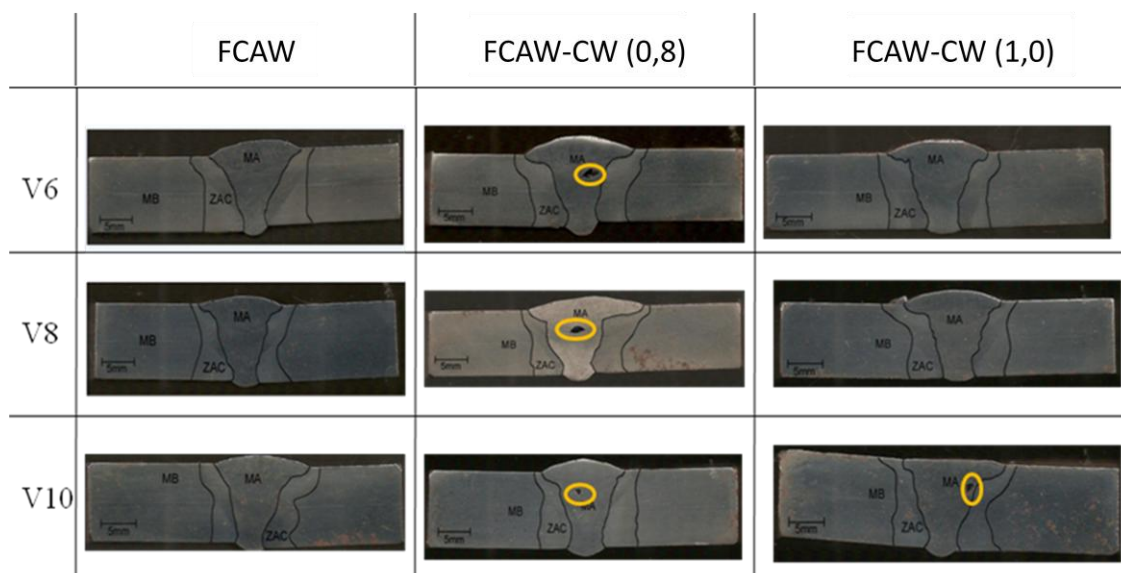


Figura 6. Imagens das secções transversais dos cordões de solda apresentando as características geométricas das zonas relacionada aos processos FCAW e FCAW-CW(0,8 e 1,0), onde V6, V8 e V10 são as velocidades de alimentação de arame eletrodo.

Na avaliação das características econômicas, a Tab. (4) apresenta os resultados da Taxa de Fusão (TF) e Taxa de Deposição (TD), na qual observamos valores satisfatórios ao processo FCAW-CW, comparado ao modo FCAW convencional nas variações de velocidade. Isto é devido a maior quantidade de material por unidade de tempo que foram adicionada na atmosfera de arco do arame eletrodo. Resultados semelhantes foram encontrados por Barrozo (2006).

Tabela 4. Características econômicas dos processos de soldagem FCAW e FCAW-AF.

Processo	Velocidade do arame eletrodo (m/min)	Velocidade do arame frio (m/min)	Características econômicas	
			TF (kg/h)	TD (kg/h)
FCAW	6	-	5,95	4,04
	8	-	6,78	6,30
	10	-	7,60	6,06
FCAW-CW (0.8 mm)	6	<b>2.5</b>	6,65	5,54
	8	3	7,46	6,23
	10	4	8,51	7,25
FCAW-CW (1.0 mm)	6	2	6,67	4,56
	8	3	7,86	6,20
	10	4	9,03	6,66

As taxas de fusão (TF) e deposição (TD) apresentadas na Fig. (7), mostram que os processos com FCAW-CW proporcionam maiores vantagens de aplicação quando comparados com o processo convencional, e estas taxas tenderam a aumentar consideravelmente com a adição de um arame frio.

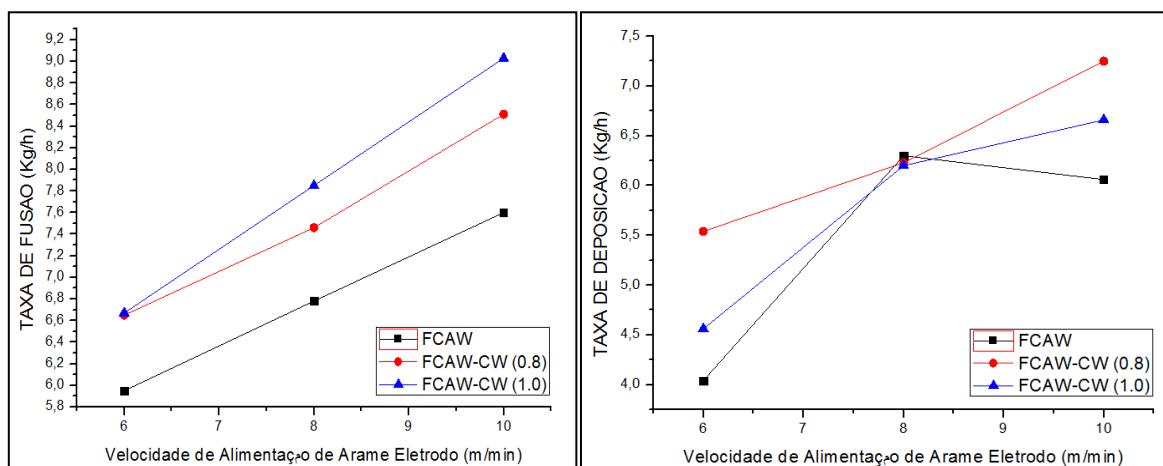


Figura 7. Efeito da taxa de fusão (TF) e taxa de deposição (TD) na velocidade de alimentação de arame eletrodo.

Na análise da TD, observamos que para o processo FCAW-CW(0,8) nas velocidades de 6 e 10 m/min, apresentou vantagens significativas em relação ao FCAW-CW (1,0) e FCAW. De modo geral, os processos arame frio foram superiores nesta análise em todos os aspectos.

A Tabela (5), apresenta os dados obtidos para a média de corrente e tensão durante os experimentos. Observa-se, de modo geral, que o aumento da velocidade de alimentação de arame, houve o aumento dos valores da corrente e tensão de soldagem, situação natural, já que a fonte precisa equilibrar a potência do arco, para fundir uma quantidade maior de arame por unidade de tempo.

Tabela 5 – Parâmetros de soldagem obtidos de Im e Um.

Processo de Soldagem	Vel. Arame Eletrodo (m/min)	Vel. Arame Frio (m/min)	Parâmetros Obtidos	
			Im (A)	Um (V)
FCAW	6	-	131	28,6
	8	-	148	29,1
	10	-	163	31,0
FCAW-CW 0.8 mm	6	<b>2.5</b>	181	29,7
	8	3	242	28,5
	10	4	212	29,2
FCAW-CW 1.0 mm	6	2	165	28,1
	8	3	191	36,1
	10	4	226	34,6

Na Figura (8), o desempenho da corrente média obtido nas velocidades de alimentação do arame eletrodo, se apresentou equivalente à soldagem FCAW-CW quanto à dinâmica das transferências de carga elétrica, portanto, sem alterações significativas na regularidade do arco voltaico. Entretanto, os valores médios da tensão e da corrente de soldagem tenderam a se maior, por decorrência da introdução de um arame não energizado na atmosfera do arco voltaico. De forma generalizada, podemos perceber uma tendência de aumento de corrente e tensão para os processos.

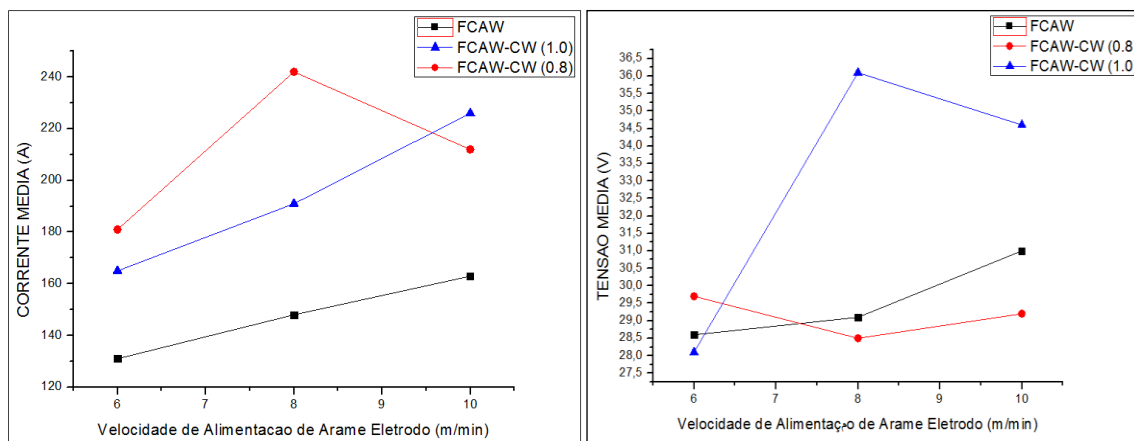


Figura 8. Representação gráfica do comportamento da corrente média e tensão média, para os processos.

Para uma melhor visualização dos dados da Tab. (5) e da Fig. (8) do comportamento da corrente e tensão com a mudança de velocidade de alimentação de arame, observa se o comportamento dos oscilogramas de corrente e tensão, Fig. (9), para um dos processos convencionais e na Figura (10), são apresentados os oscilogramas para uma dos processos FCAW-CW (1,0).

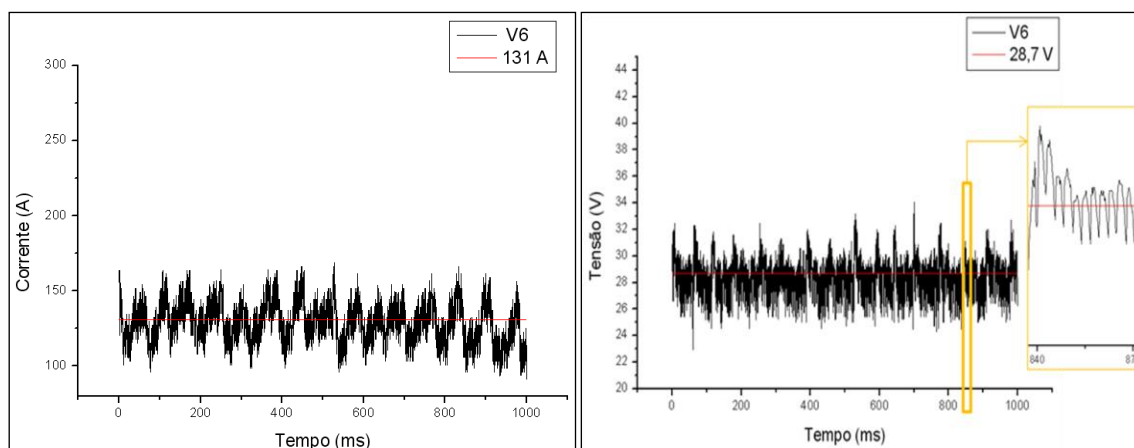


Figura 9 - Representação do oscilogramas da corrente e tensão média para o processo FCAW.

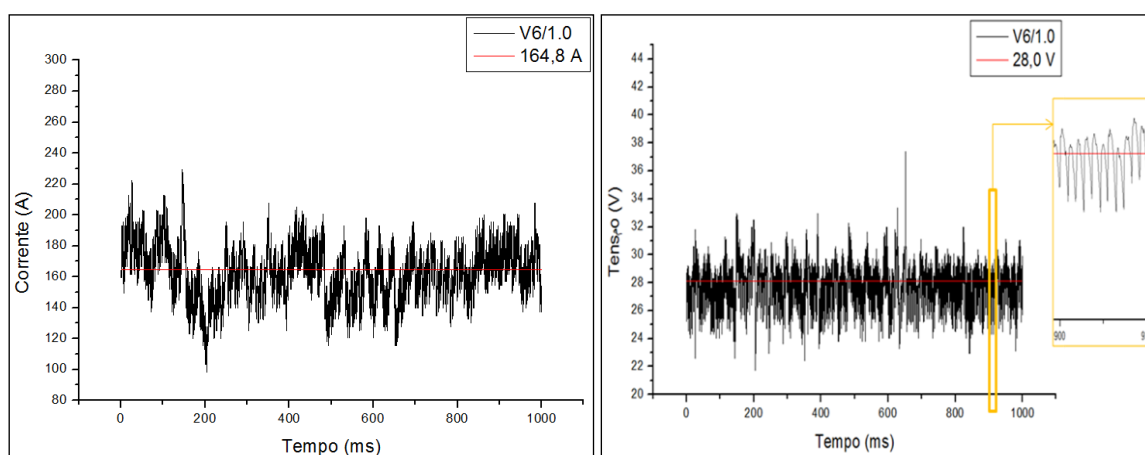


Figura 10 - Representação do oscilogramas da corrente e tensão média para o processo FCAW-CW com arame frio de 1.0 mm de diâmetro.

Pelas observações dos oscilogramas de corrente e de tensão de soldagem apresentados e pelas características do processo de soldagem FCAW-CW, nas velocidades de alimentação de arame eletrodo apresentaram um comportamento dinâmico regular comparando o processo convencional ao processo arame frio. A introdução do arame frio na atmosfera do arco voltaico da soldagem FCAW-CW, não promoveu perturbações de natureza significativa capaz de alterar a regularidade do arco, ao se variar a velocidade de alimentação de arames. Segundo observações e comparativos com a literatura, os oscilogramas são característicos de transferência metálica predominante



provavelmente globular a misto, conforme observado em Starling (2006), sendo relatado a presença de curtos-circuitos forçado de pequena duração promovendo perturbações à estabilidade do arco, devido o processo semiautomático sem o controle do comprimento de arco, e se manteve em todos os experimentos mesmo com a adição do arame não energizado, nas faixa de corrente e tensão de trabalho.

#### 4. CONCLUSÃO

A largura, reforço e penetração tenderam a se manterem numa faixa estável, com baixas oscilações com o aumento da velocidade de alimentação de arame, independente do processo utilizado. A diluição média, tendeu a aumentar com o aumento da velocidade de alimentação.

Durante as análise metalográfica, por microscopia optica, foi observada inclusões de escoria na maioria dos cordões de solda nos processos FCAW-CW, entretanto, nas velocidades de alimentação de 6 e 8 m/min com arame frio de 1.0 mm de diâmetro, essa descontinuidade não se fez presente, o que pode ser considerado um parâmetro otimizado para a aplicação do processo FCAW-CW na industria.

A adição de arame frio, independente do diâmetro do arame utilizado, proporcionou aumento na taxa de fusão TF e taxa de deposição TD em comparação ao processo convencional.

A taxa de fusão, de deposição e o rendimento tenderam a aumentar com o aumento da velocidade de alimentação de arame eletrodo, independente do processo.

O processo de soldagem FCAW-CW proporcionou rendimentos superiores aos da técnica FCAW convencional com os mesmos parâmetros de aplicação da indústria naval da Região. As altas taxas de produção e de consumo, revelam que estas evoluções dos processos convencionais são uma boa alternativa para as indústrias locais aumentarem sua produtividade a baixo custo de investimento, sendo o FCAW-CW de fácil adaptação a linha de produção.

Em todas as condições observadas, o processo de soldagem FCAW-CW apresentou o modo de transferência metálica globular a misto, que se confirma pela literatura pesquisada.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Agradeço a FAPESPA pelo apoio financeiro concedido, à Universidade Federal do Pará - LCAM e PPEGEM pelas oportunidades oferecidas.

#### 6. REFERÊNCIAS

- FORTES, C., Arames Tubulares OK, Assistência Técnica Consumíveis, ESAB, 2004.
- NASCIMENTO, A. S., Aspectos Operacionais e Metalúrgicos da Soldagem com Arame Metal Cored. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Pará, 2004.
- STARLING, C. M. D, MODENESE P. J. Avaliação da Transferência de Metal de Arames Tubulares, Soldagem & Inspeção, No. 3, ju/set, 2006.
- MENDONÇA, N. B., Uma Contribuição ao Estudo do Desenvolvimento da Soldagem FCAW com Arame Frio. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, Universidade Federal do Pará, Pará, 2007.
- JUNIOR, L. P. S. C., Ferraresi, V. A., Braga, E. M.: Parâmetros Otimizados para Revestimento de Chapas de Aço Carbono pelo Processo MIG-DWOA com Arame ER 308LSI. CONSOLDA, Piracicaba, São Paulo, 2009
- SÁBIO, A. D., Estudo da Viabilidade Operacional do Processo MAG com Arame Frio. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, Pará, 2007.
- BACELAR, A. R. C. & FERRAZ, A. C. Estudo da Viabilidade Operacional do Processo de Soldagem MAG com Alimentação Adicional de um Arame Frio. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, UFPA, Belém, 2005
- BARROZO, T. S., “Estudo da Soldagem FCAW com Arame Frio”. Trabalho de Conclusão de Curso – TCC, Universidade Federal do Pará, Pará, 2006.