



Associação Brasileira de Soldagem

XXXVIII CONSOLDA – Congresso Nacional de Soldagem  
10 a 13 de Setembro de 2018  
Uberlândia, MG, Brasil

## Estudo dos Limites Operacionais do Processo TIG Semiautomático com Variação do Ângulo de Injeção de Material (alimentação de arame) Viabilizada por um Bocal Especial

(Study of Operational Limits of Semiautomatic TIG Welding Process with Variation of the Material Insertion (wire feed) Angle Provided by a Special Nozzle)

**Alisson Fernandes da Rosa<sup>1</sup>, Hellinton Direne Filho<sup>2</sup>, Giovanni Dalpiaz<sup>3</sup>, Mateus Barancelli Schwedersky<sup>4</sup>, Régis Henrique Gonçalves e Silva<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Tecnólogo em Fabricação Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica/LABSOLDA, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. [alisson.fernandes@posgrad.ufsc.br](mailto:alisson.fernandes@posgrad.ufsc.br)

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica/LABSOLDA, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. [hellinton.direne@posgrad.ufsc.br](mailto:hellinton.direne@posgrad.ufsc.br)

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Metalúrgica. TMC/PDISO/CENPES/PETROBRAS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. [giovani.dalpiaz@petrobras.com.br](mailto:giovani.dalpiaz@petrobras.com.br)

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica/LABSOLDA, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. [m.baracelli@ufsc.br](mailto:m.baracelli@ufsc.br)

<sup>5</sup> Doutor em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica/LABSOLDA, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. [regis.silva@ufsc.br](mailto:regis.silva@ufsc.br)

### Resumo

Este projeto foi proposto para viabilizar o estudo da alimentação de arame no processo de soldagem TIG, e assim, levantar dados sobre a angulação ótima entre o eletrodo e o ângulo de inserção do arame para a obtenção de um melhor resultado em termos de eficiência de fusão de material. Dado o proposto, o desafio foi criar um dispositivo capaz de alterar o ângulo de inserção de arame com um ajuste contínuo variando entre 10 e 30° relativo ao eletrodo de tungstênio. Por ser um conceito inovador, o projeto do bocal tem como modelo de referência o bocal do sistema TOPTIG/Air Liquide. Para a fixação do bocal foi utilizada uma tocha TIG automática o que facilitou a execução dos testes. Foi utilizado o eletrodo de tungstênio (W) com dopagem de 2% de lantânio (La), com diâmetro de 2,4 mm e com ângulo de afiação variado, conforme o ângulo de inserção do arame. Os ângulos de alimentação foram alterados de 10 a 30° com incremento de 5°. Como material de adição foi utilizado o aço carbono ER70S-6 de 1.0 mm de espessura. Para os testes, a velocidade de alimentação foi alterada progressivamente, a partir de 1,0 m/min, e foi monitorada o tipo de transferência metálica até que o processo se desestabilizasse. Os dados elétricos foram monitorados e os cordões foram avaliados sob o aspecto superficial e sua seção transversal foi avaliada via ensaio metalográfico. Os resultados apontaram para necessidades de melhorias no bocal de proteção. E, apesar da necessidade de um maior número de testes, foram determinados os limites operacionais para os ângulos avaliados.

**Palavras-chave:** Pipelines, Processo de União por Soldagem, Petróleo e Gás, Soldagem Mecanizada, Produtividade.

**Abstract:** This project was proposed to make feasible the study of wire feed in the TIG welding process, and thus, to acquire data on the optimum angulation between the electrode and the angle of insertion of the wire to obtain a better result in terms of fusion efficiency of material. Given the proposed, the challenge was to create a device capable of changing the angle of insertion of wire with a continuous adjustment varying between 10 and 30 ° relative to the tungsten electrode. Due its innovative concept, the nozzle design was based on the TOPTIG / Air Liquide system nozzle. For the fixation of the nozzle, an automatic TIG torch was used, which facilitated the execution of the tests. The tungsten (W) electrode was used with 2% lanthanum (La) doping, with a diameter of 2.4 mm and a varied grinding angle, according to the angle of insertion of the wire. The feed angles were changed from 10 to 30 ° with a 5 ° increase. The addition material was 1.0 mm thick ER70S-6 carbon steel. For the tests the feed rate was progressively changed, starting at 1.0 m / min, and the metal transfer type was monitored until the process became destabilized. The electrical data were monitored and the welds were evaluated under the surface aspect. Their cross section was evaluated through a metallographic test. The results

*pointed to the need for improvements in the protection nozzle. And, in spite of the need for a larger number of tests, the operational limits for the evaluated angles were determined.*

**Key-words:** Pipelines, Welding Bonding Process, Oil and Gas, Machined Welding, Productivity.

## 1. Introdução

Um dos maiores desafios em obras, manutenção de equipamentos e operações de construção e montagem nas quais devem ser empregados processos de soldagem são os curtos prazos propostos, principalmente utilizando procedimentos manuais, que formam estreitos gargalos na produção. A aplicação de processos de soldagem semiautomáticos ou mesmo automáticos é ferramenta imprescindível para enfrentamento eficiente destes desafios, considerando-se o fato de que a execução de juntas soldadas representam uma operação crítica não somente em tempo (o cronograma das obras depende da produtividade dos processos) como em integridade estrutural (a qualidade das soldas com baixo índice de reparos depende da robustez e estabilidade dos processos).

O processo semiautomático MIG/MAG (GMAW) atualmente disponível apresenta uma grande propensão a falta de fusão quando aplicados na união de tubulações e, por conseguinte tem sido aplicado com muita restrição em componentes sujeitos a pressão interna. O processo TIG (GTAW), de mais ampla aplicação para soldagem de tubulações apresenta, em sua versão convencional, baixa produtividade por ser manual. Recentes avanços tecnológicos do processo TIG apresentam potencial para reunir a qualidade de soldagem TIG e a produtividade do MIG/MAG sem a susceptibilidade de apresentar falta de fusão [1, 2, 3]. Em relação ao Eletrodo Revestido, ainda utilizado em algumas situações, as vantagens de qualidade e produtividade são ainda mais evidentes.

Destes avanços, uma técnica que promete melhorias em termos de produtividade - pelo aumento da taxa de deposição de material utilizando o processo de soldagem TIG - é injeção tangencial de arame, cuja designação comercial mais difundida é TOPTIG [1]. Nesta técnica, utilizando um bocal especial, é possível alimentar o processo com o metal de adição introduzido a um ângulo de 20° em relação ao eletrodo, o que não seria possível com bocais convencionais. Com este ângulo o arame é inserido em regiões de mais alta temperatura no arco elétrico, aumentando a capacidade de fusão do processo, e, por consequência, aumentando a sua taxa de deposição. Conquanto, esta é a única angulação possível de ser aplicada, visto que o bocal comercialmente disponível se caracteriza por um sistema fixo e rígido. Dentro deste cenário, os pesquisadores do LABSOLDA propuseram o desenvolvimento de um bocal baseado nesta tecnologia. Denominado de Bocal TIG-AT (Alimentação Tangencial), este dispositivo permite variações discretas de ângulo de alimentação entre 10 e 30°. Pois, somente com conhecimento das bases tecnológicas e científicas, com avaliações amplas e imparciais, é possível mapear faixas e limites operacionais, realizar customizações para situações não convencionais e definir adequadamente as melhores opções e práticas para aplicações distintas.

Neste sentido, este artigo pretende, além de apresentar o desenvolvimento do protótipo deste bocal, discorrer sobre estudos realizados em ensaios práticos de soldagem, nos quais, aplicados sobre chapa de aço carbono manganês buscaram-se os limites operacionais para diferentes ângulos de alimentação. Estes limites foram em correlação com observações do tipo de transferência de arame. Por meio de ferramentas de monitoramento de processo e análises estatísticas, pretende-se estimar e avaliar o tipo de transferência metálica e os limites operacionais a uma determinada faixa de ângulo.

## 2. Fundamentação Teórica

Os parâmetros de distância eletrodo-peça (DEP), ângulo de alimentação, corrente de soldagem, velocidade de soldagem e velocidade de alimentação são fundamentais para definir a transferência metálica e a estabilidade no processo TIG alimentado. No gráfico da Figura 1, as curvas apresentadas por um fabricante de tocha de soldagem que utiliza a técnica de alimentação tangencial demonstram uma relação entre a velocidade de arame imposta e o tipo de transferência metálica [4].

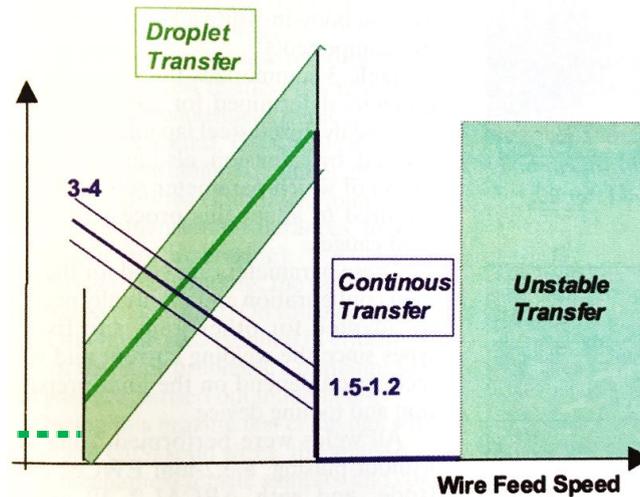


Figura 1- Relação entre os modos de transferência metálica e velocidade de alimentação no processo TIG. [4]

Na região denominada na figura como “*Droplet Transfer*”, à medida que incrementos na velocidade de arame são realizados dá-se o início a transferência (linha verde contínua). Esta transferência apresenta uma taxa de deposição baseada na frequência dos acontecimentos, ou seja, à medida que a velocidade de arame aumenta a frequência de destacamentos das gotas também aumenta. A partir de uma determinada velocidade de arame a transferência metálica não apresenta mais frequência de deposição de gotas (de forma intermitente), pois a ponta do arame em constante contato com a poça de fusão, caracterizando uma transferência metálica em ponte, ilustrada na Figura 1, região do gráfico denominada como “*Continuous Transfer*” (linha azul contínua). A região “*Unstable Transfer*” (excesso de alimentação de arame) representa regiões de instabilidade. As Figura 2 e Figura 3, ilustram, em filmagem de alta velocidade as diferenças entre a transferência contínua de arame e a intermitente, respectivamente.



Figura 2 - Representação da transferência metálica por ponte obtida via filmagem de alta velocidade.

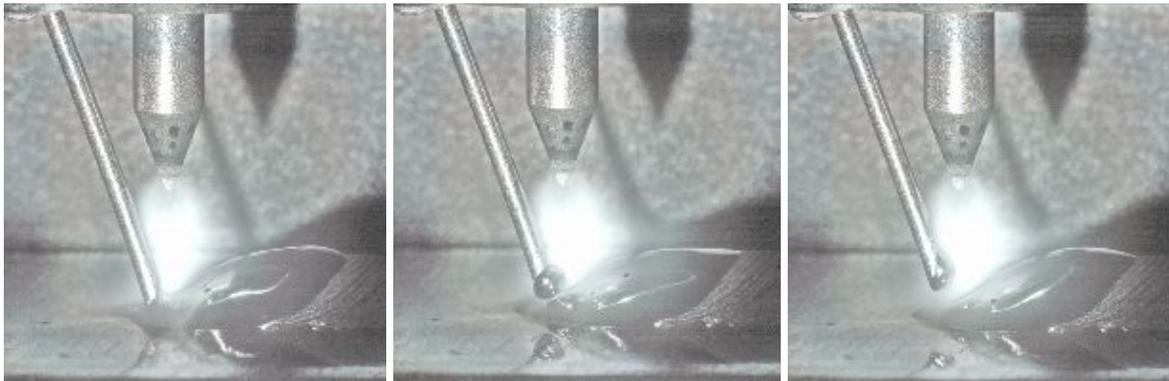


Figura 3 - Representação da transferência metálica intermitente obtida via filmagem de alta velocidade.

A transferência contínua, em ponte, ocorre à medida que se atinge uma velocidade ótima de operação. Conforme os autores [5, 6], trata-se de uma condição caracterizada por excelente nível de estabilidade, que sofre pouca influência da distância entre a tocha e a peça.

Para os processos inovadores TIG que utilizam um bocal especial para a alimentação de arame, uma faixa maior de transferência em ponte em relação a alimentação de arame pode ser alcançada, o que justifica o projeto e construção de um bocal especial, além de permitir uma maior taxa de fusão de arame em relação a corrente de soldagem [5, 7].

### 3. Conceito e Projeto do Bocal TIG-AT

Este projeto foi proposto para viabilizar o estudo da alimentação tangencial de arame no processo de soldagem TIG, e assim, determinar a angulação ótima entre o eletrodo e o ângulo de inserção do arame para a obtenção de um melhor resultado em termos de eficiência de fusão de material. Dado o proposto, o desafio foi criar um dispositivo capaz de alterar o ângulo de inserção de arame com um ajuste contínuo variando entre 10 e 30° relativo ao eletrodo de tungstênio. Devendo ser compacto para interferir o mínimo possível nas capacidades normais de uma tocha de solda convencional, além de permitir acesso em locais de pequenas dimensões.

Por ser um conceito inovador, a coleção de dados é dificultosa, sendo o melhor modelo-base a tocha TOPTIG desenvolvida pela empresa AIR LIQUIDE Welding [1], que usa um bocal especial para inserir o arame em um ângulo fixo de 20° relativo a linha vertical do eletrodo-não-consumível. Para fixação do bocal foi adotada uma tocha TIG automática o que facilita a execução dos testes e a utilização dos sistemas já compostos na tocha, como o sistema de refrigeração ou o sistema de proteção gasosa, minimizando os requisitos de projeto.

Outra observação a ser feita é a precaução que deve ser tomada quando se altera o ângulo do arame. Com a alteração desta variável, altera-se inerentemente o ponto focal entre o eletrodo e o arame, conforme ilustrado na Figura 4. Como requisito de projeto, estipulou-se a necessidade de manter uma orientação paralela entre o eletrodo e o arame de adição, deste modo, no instante em que o ângulo de inserção de arame for alterado, deve-se alterar a afiação do eletrodo para manter o paralelismo entre os dois componentes.

Dentro da concepção do projeto do bocal TIG-AT, optou-se, também, por utilizar um porta-pinça com difusor de gás de proteção integrado, ao invés de utilizar um sistema *gas lens*. Esta opção contraria a utilização comum e recomendada da tocha, em contrapartida se justifica pelo fato de que o conjunto porta-pinça/difusor de gás possui dimensões reduzidas em relação ao sistema *gas lens*, o que diminui consideravelmente as dimensões do projeto da tocha. Em projeto preliminar prospectou-se a utilização de duas peças para agir como conexão entre o tubo de cobre e a mangueira pneumática, a qual fará caminho para passagem do condúite e do metal de alimentação. No entanto, o projeto foi alterado optando-se pela utilização de apenas uma peça, e posteriormente ser elaborada uma adaptação para o tubo de 10°, no lado oposto das demais, conforme ilustrado na Figura 4. Esta adaptação possibilita o tubo ser apenas encaixado, além disso, possibilita removê-lo e utilizá-lo no suporte que altera os ângulos e vice-versa.

A Figura 4 ilustra, em modelo CAD, o bocal na sua versão final, demonstrando a faixa de variação dos ângulos de inserção de arame e a adaptação realizada para o ângulo de inserção de 10° em relação ao eletrodo de tungstênio.

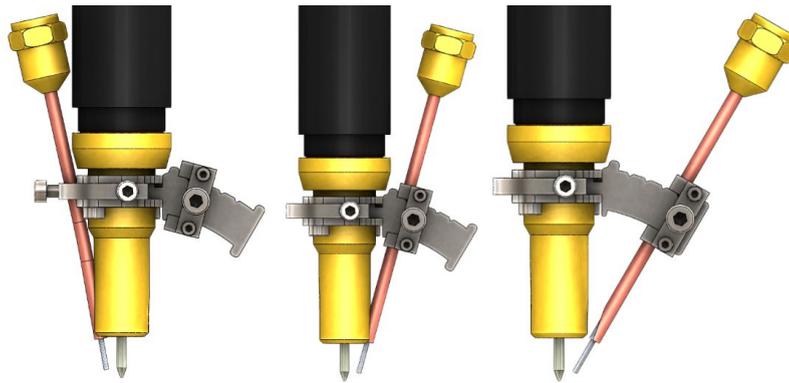


Figura 4 - Modelo atual do projeto do bocal em CAD ilustrando a faixa variável de ângulos.

#### 4. Materiais e Métodos

Para avaliação dos limites operacionais, considerando os ângulos possíveis da tocha determinadas pelo projeto do Bocal TIG-AT, montou-se uma bancada para os testes de soldagem. A tocha foi fixada em um dispositivo manipulador automático, SPS/Tartilope V4 [8]. Foram realizados depósitos sobre chapa de aço carbono-manganês com espessura de 9,53 mm com avanço de 15 cm/min em trajetória linear. Uma fonte de soldagem multiprocessos IMC/DIGIPLUS A7 [9] foi utilizada nos testes.

O arame de soldagem ER70S-6 com diâmetro de 1,0 mm foi utilizado como material de adição. Utilizou-se argônio (Ar) comercialmente puro a uma vazão de 15 l/min. como gás de processo. Foi utilizado o eletrodo de tungstênio (W) dopados com 2% de lantânio (La), com diâmetro de 2,4 mm e com ângulo de afiação variado, conforme o ângulo de inserção do arame. A distância entre o eletrodo e a peça (DEP) foi de 4 mm e a distância entre o eletrodo e o arame (DEA) foi de 1,5 mm.

Para realização dos testes foi mantida a corrente de soldagem em 200 A e iniciou-se os procedimentos de soldagem com uma taxa de alimentação de 1,0 m/min, e a cada 7 segundos a taxa era acrescida em 0,5 m/min. O comportamento típico e esperado dos parâmetros elétricos e de velocidade de arame, desta metodologia, é ilustrado na Figura 5. O ângulo foi variado entre 10 e 30° com um incremento de 5°.

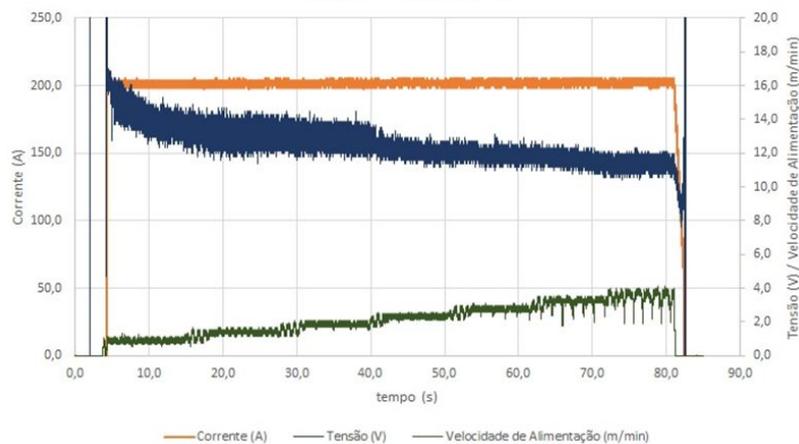


Figura 5 – Comportamento dos parâmetros elétricos com a variação da velocidade de alimentação.

Os testes foram monitorados via sistema de aquisição de dados IMC/SAP-V4 [10], o qual permitiu avaliar o comportamento da tensão e da alimentação de arame. Nos gráficos de tensão é possível visualizar tanto a frequência de transferência (quando em transferência intermitente), quanto o tipo de transferência (intermitente, ponte ou instável), foram realizados 3 testes para cada condição de angulação.

Com intuito de avaliar os aspectos geométricos dos cordões de solda também foram realizados depósitos com velocidade de alimentação constante, em 2,0 m/min para os ângulos de 15, 20 e 25°, dos quais foram avaliadas suas seções transversais via ensaios metalográficos.

## 5. Resultados e Discussão

A montagem final do bocal TIG-AT é ilustrada na Figura 6, demonstrando a variação do ângulo de alimentação entre 15 e 30°.

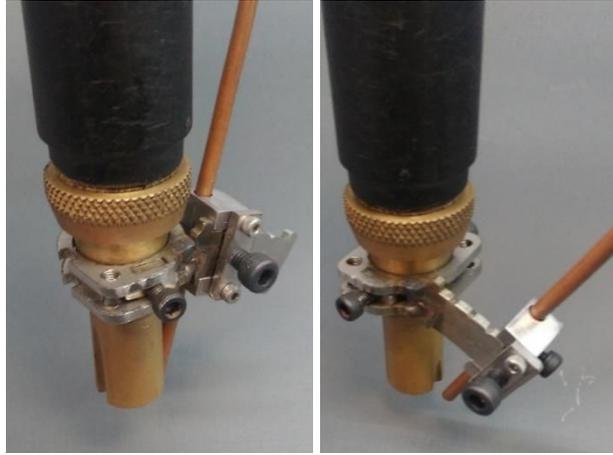


Figura 6 – Imagens da montagem atual do bocal para estudo do ângulo de alimentação.

Durante os testes realizados com os ângulos de 10 e 30° foi possível observar a ocorrência de uma severa instabilidade e ineficiência na proteção gasosa. O cordão de solda obtido com estas condições é ilustrado na Figura 7. Acredita-se que este fato ocorreu devido a inconsistências no projeto do bocal, relacionadas à vazão do gás e posicionamento correto entre o arame e o eletrodo (variável DEA), pois, nesta condição, o eletrodo apresentava um comprimento acentuado para fora do eletrodo, cerca de 20 mm. Desta maneira, os resultados gerados a partir destes ângulos (10 e 30°) foram descartados, pois, não apresentavam cordões com repetibilidade para a correta caracterização proposta da transferência metálica.



Figura 7 – Aspecto típico do cordão de solda obtido com a utilização dos ângulos de inserção de 10 e 30° no bocal TIG-AT.

Antes de iniciar cada teste foram realizadas fotografias para demonstrar e medir o ângulo efetivo de alimentação de arame empregado, estas imagens estão dispostas na Figura 8. Exemplos dos cordões obtidos para cada condição podem ser observados na Figura 9.

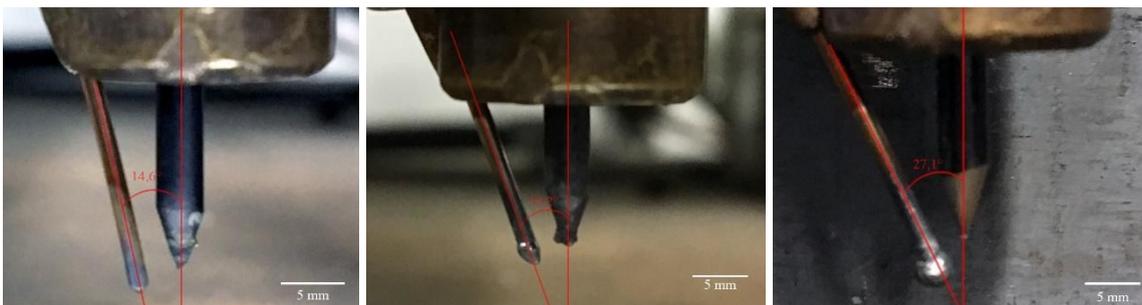


Figura 8 – Angulação efetiva entre arame e eletrodo para variação de angulação. a) 15° efetivo 14,6°; b) 20° efetivo 19,2°; c) 25° efetivo 27,1°.

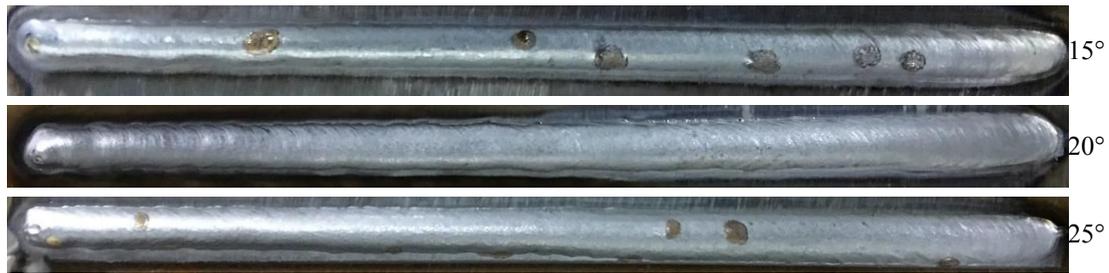


Figura 9 – Aspecto superficial dos cordões obtidos pela variação da angulação de alimentação e da velocidade de arame.

A Figura 10 demonstra como o comportamento da tensão foi monitorado em função da velocidade de alimentação, no caso apresentado, a angulação era de  $20^\circ$  e a velocidade de alimentação foi aumentada. As curvas de tensão, quando em transferência intermitente, acompanham o destacamento de gotas e oscilam com a mesma taxa de transferência. Esta ocorrência se deve ao fato das gotas tocarem momentaneamente na poça de fusão, o que consequentemente faz com que a tensão também caia devido ao curto-circuito gerado entre ambas. Pode-se notar que a taxa de formação de gotas muda conforme a velocidade é aumentada até que, quando em transferência em ponte a tensão permanece constante. Para a condição de instabilidade as curvas de velocidade de alimentação sofrem bruscas variações causadas pela topada do arame ainda não fundido com a peça metálica.

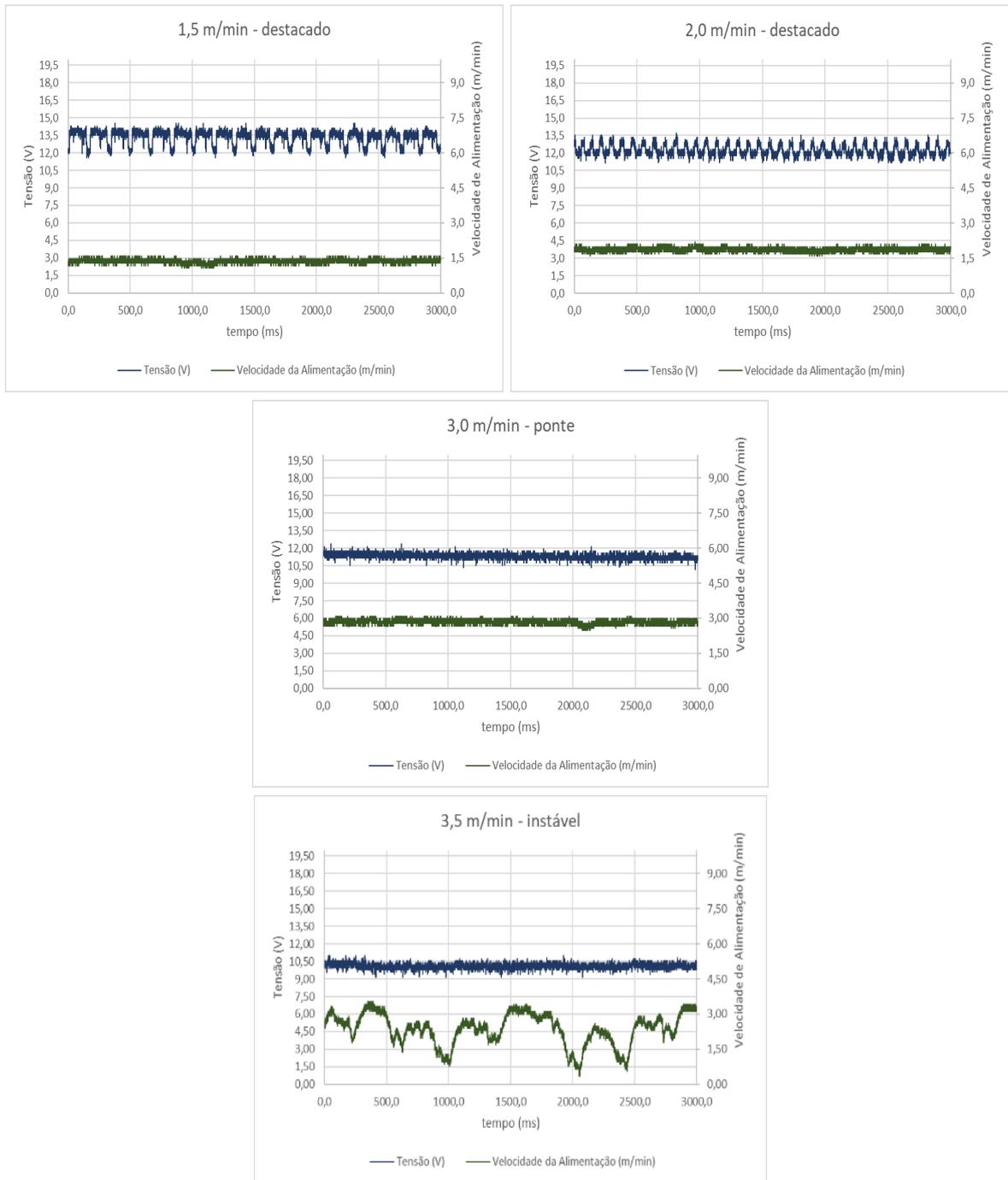


Figura 10 – Oscilogramas de tensão e corrente para verificação da alteração do tipo de transferência metálica com o ângulo de  $20^\circ$

Nestes casos (Figura 10) é possível notar que a frequência de destacamento para uma velocidade de arame de 1,5 m/min se situa na ordem de 7 Hz. E para 2 m/min de velocidade de arame, a frequência de destacamento aumenta para 12 Hz, aproximadamente. Estes dados foram avaliados em 3 testes para cada um dos ângulos de alimentação avaliados ( $15^\circ$ ,  $20^\circ$  e  $25^\circ$ ) e os resultados da média dos valores foram plotados nos gráficos apresentados na Figura 11.

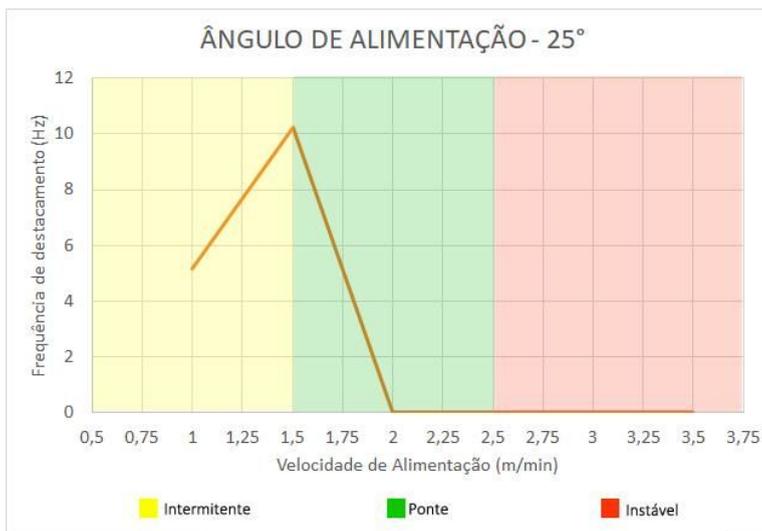
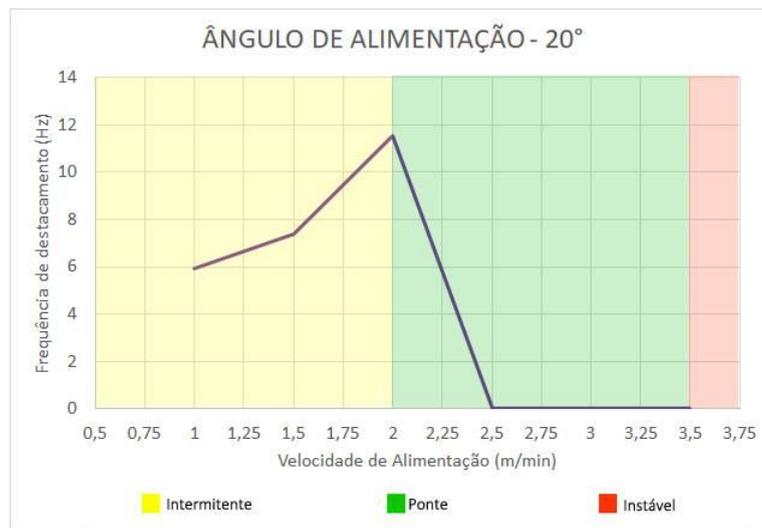
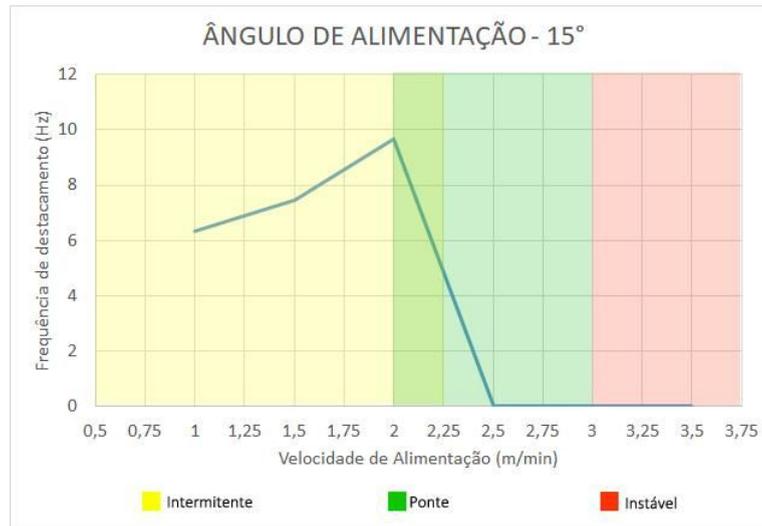


Figura 11 – Faixas operacionais obtidas com a utilização da tocha TIG-AT

Observando a Figura 11 é possível avaliar nos gráficos o tamanho das áreas relacionando cada tipo de transferência. Como o objetivo é obter a transferência metálica em ponte esta região (em verde nos gráficos) é maior para o caso no qual o ângulo de 20° foi selecionado para promover a alimentação de arame. Ainda podemos verificar que o caso de 25° foi obtida a região de maior instabilidade (em vermelho nos gráficos).

Ainda com a intenção de verificar influência dos ângulos na geometria dos cordões, foi selecionada a velocidade constante de 2,5 m/min de alimentação, por ser um parâmetro de melhor desempenho para as 3 condições, e foram realizados depósitos sobre chapa. A Figura 12 apresenta a seção transversal destes cordões preparadas metalograficamente, nestes cordões foram avaliadas as dimensões quanto a área, penetração, reforço e largura, os dados são apresentados na Tabela 1.



Figura 12 – Macrografias dos cordões de solda obtidos com a utilização do bocal TIG-AT. a) 15° b) 20° e c) 25°

Tabela 1 - Dimensões dos cordões de solda realizados com o bocal TIG-AT.

Ângulo (°)	Região	Área (mm <sup>2</sup> )	Penetração (mm)	Reforço (mm)	Largura (mm)
25	base	9,0	1,8		
	reforço	11,9		2,0	
	total	20,9			8,3
20	base	11,5	2,0		
	reforço	13,2		2,2	
	total	24,6			8,3
15	base	8,4	1,6		
	reforço	13,0		2,3	
	total	21,4			8,1

Conforme os dados da Tabela 1, é possível verificar que para uma corrente de 200 A e velocidade de alimentação não foram obtidas diferenças significativas entre os cordões, no entanto existe uma tendência de que o ângulo de 20° apresente uma maior penetração além de uma maior taxa de fusão de material, se observada a área total dos reforços.

## 6. Conclusões

Neste estudo foi apresentado o desenvolvimento de um bocal TIG especial e, de maneira complementar, um estudo dos limites operacionais de alimentação de arame em relação à variação dos ângulos de inserção. Embora o projeto da tocha tenha apresentado algumas limitações quanto à proteção gasosa ao se utilizar os ângulos mais extremos possíveis, de 10° e 30°, conclui-se que o bocal TIG-AT possui, de maneira satisfatória, a capacidade necessária para ser utilizado em procedimentos de soldagem TIG, com os demais ângulos ensaiados.

Em relação aos ângulos de inserção de arame testados, não fica evidente que o ângulo de 20°, utilizado em equipamentos de fabricantes internacionais, apresentou diferenças significativas dos cordões, nas condições testadas. Além disso, o aspecto geométrico dos cordões de solda não foi superior, a níveis de taxa de fusão significativa, em relação às demais condições testadas. Para isso, os autores sugerem um estudo mais aprofundado da influência do ângulo, visto que, neste estudo o principal resultado foi obtido no desenvolvimento e teste operacional da tocha e bocal TIG-AT.

Contudo, é possível afirmar que a utilização de um ângulo de inserção de arame reduzido entre o eletrodo e o arame, contribui com a otimização das dimensões das tochas de soldagem, possibilitando assim, maior liberdade ao manipulador robótico para realizar procedimentos de soldagem em regiões críticas. Este fator, se mostra como

uma vantagem potencial em relação aos processos TIG com direcionadores convencionais de arame, principalmente pelo aspecto construtivo e estrutural dos componentes.

## 7. Agradecimentos

Agradecemos ao LABSOLDA, por disponibilizar a infraestrutura necessária, à PETROBRAS pelo incentivo à pesquisa nacional, bem como, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, por oportunizar o crescimento pessoal e acadêmico.

## 8. Referências Bibliográficas

- [1] G. S. Opperbecke T, “TOPTIG: robotic TIG welding with integrated wire feeder,” *Welding International*, vol. 7, nº 23, 2009.
- [2] M. WILSON, “TIP TIG: new technology for welding,” *Industrial Robot: An International Journal*, vol. 34, pp. 462-466, 2007.
- [3] T. T. U. D. S. Final, “TIP TIG USA,” TIP TIG, 2015. [Online]. Available: <http://www.tiptigusa.com/wp-content/uploads/2015/04/Robo-TiPTiG-Data-Sheet-Final.pdf>. [Acesso em 25 05 2018].
- [4] J. R. L. V. V. FORTAIN, “Innovative Process Improves Welding of Sheet Metal Parts,” *Welding Journal*, vol. 87, nº 1, pp. 38-44, 2008.
- [5] C. GODINHO, Soldagem TIG Orbital – Avaliação Experimental do Processo de Soldagem TIG Automatizado Alimentado com Reduzidos Ângulos de Inserção de Arame em Relação ao Eletrodo., UFSC, Ed., Florianópolis: Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - POSMEC, 2017, p. 132.
- [6] M. A. OLIVEIRA, Estudo da Soldagem Plasma com Alimentação Automática de Arame para Aplicação em Revestimentos Metálicos, UFSC, Ed., Florianópolis: Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica - POSMEC, 2001, p. 80.
- [7] H. DIRENE FH, Estudo do processo TIG com alimentação automática de topo visando aplicações de alta produtividade, UFSC, Ed., Florianópolis: Trabalho de Conclusão de Curso - CTC - EMC - Eng. de Materiais, 2011.
- [8] SPS, “Tartilope V4,” SPS Sistemas e Processos de Soldagem, 22 09 2017. [Online]. Available: [http://www.labsolda.ufsc.br/projetos/projetos\\_viabilizados/tartilope\\_v4.php](http://www.labsolda.ufsc.br/projetos/projetos_viabilizados/tartilope_v4.php). [Acesso em 05 29 2018].
- [9] IMC-Soldagem, “DIGIPlus A7 - Manual,” [Online]. Available: <http://www.imc-soldagem.com.br/pt-br/manuais>. [Acesso em 15 09 2017].
- [10] IMC-SOLDAGEM, “SAP - V4,” 01 10 2017. [Online]. Available: [http://www.imc-soldagem.com.br/media/com\\_eshop/attachments/manual\\_SAP%20V4\\_4aEd.pdf](http://www.imc-soldagem.com.br/media/com_eshop/attachments/manual_SAP%20V4_4aEd.pdf). [Acesso em 10 06 2018].