

## DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SOLDAGEM ORBITAL DE TUBOS CONCEPÇÃO DO EQUIPAMENTO

Tiago Vieira da Cunha<sup>1</sup> (UFSC), Jair Carlos Dutra<sup>1</sup> (UFSC)

<sup>1</sup>EMC/LABSOLDA, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil  
tvc@labsolda.ufsc.br, jdutra@labsolda.ufsc.br

A soldagem de união de tubos, tanto na montagem quanto na manutenção de plantas petroquímicas, ainda se constitui numa complexa atividade no Brasil devido à escassez de equipamentos e procedimentos específicos destinados a suprir esta demanda. O presente trabalho apresenta a concepção de um sistema de soldagem TIG orbital, em desenvolvimento no LABSOLDA. Este sistema é destinado à automatização da soldagem de tubos, de modo a permitir soldas de qualidade aliada à produtividade. O mesmo será composto por um cabeçote orbital de câmara fechada, uma fonte de soldagem e uma unidade de controle responsável por gerenciar o funcionamento de todo o sistema. O cabeçote de soldagem TIG orbital, responsável pelo deslocamento angular do eletrodo de tungstênio ao longo do perímetro do tubo, foi concebido como um dispositivo capaz de garantir o correto alinhamento dos tubos a serem unidos, além de se constituir num ambiente a ser preenchido com gás inerte, afim de proteger o eletrodo de tungstênio e a poça de fusão da contaminação com o oxigênio do ar. A fonte de soldagem a ser utilizada, consiste numa fonte com tecnologia inversora, apresentando reduzidas dimensões e massa, conferindo ao sistema a portabilidade necessária para as aplicações em campo. A unidade de controle baseia-se num sistema microcontrolado, onde um software dedicado é responsável por gerar os sinais de referência de corrente de soldagem e velocidade de deslocamento do eletrodo, além da interface com o usuário. Assim, quando concluído, o cabeçote orbital será capaz de soldar tubos com diâmetros de 6 a 77 mm e espessura de 0,5 a 4 mm. Estes valores foram estipulados devido as maiores aplicações na indústria de extração e refino de petróleo, tanto na montagem de equipamentos, quanto de linhas de transporte em plantas industriais.

*Soldagem TIG Orbital, Automação da Soldagem, Soldagem de Tubos.*

### 1. INTRODUÇÃO

Em soldagem, uma forma comumente utilizada para promover a união de tubos, consiste no rotacionamento do mesmo, enquanto que a tocha de soldagem, ou o eletrodo, permanece fixo. Esta configuração permite elevadas velocidades de soldagem aliada a soldas de boa qualidade, principalmente devido ao fato dos efeitos da gravidade atuarem de forma favorável ao processo. Entretanto, nem sempre ou quase na totalidade dos casos, o tubo a ser soldado não permite ser rotacionado. Desta forma, utilizam-se sistemas, denominados de sistema de soldagem orbital, que rotacionam a tocha de soldagem ou o eletrodo em torno do tubo a ser soldado.

Em plantas petroquímicas, as tubulações são severamente agredidas em virtude do alto índice de corrosão do combustível em fluxo. No Brasil, isto é agravado devido à característica quimicamente agressiva do óleo extraído. Desta forma, se fazem necessárias constantes paradas para reparos, reduzindo a capacidade de refino e a produtividade. Tendo isto em vista, a produção e manutenção de plantas petroquímicas encontram-se inseridas numa lacuna existente no Brasil, que consiste na falta de equipamentos com tecnologia nacional e/ou dificuldade de aquisição de equipamentos e serviços importados.

Diante das dificuldades encontradas no setor petroquímico quanto à produção e processamento de óleos pesados, no que tange à tecnologia de tubos, torna-se objetivo deste trabalho o desenvolvimento de um sistema de soldagem orbital, visando sua aplicação na montagem e recuperação de tubos em plantas petroquímicas. O emprego de um dispositivo como este, reflete um ganho considerável de tempo hábil e qualidade no reparo ou na montagem, por incidir na automatização destas aplicações, além de criar subsídios científicos e tecnológicos para trabalhos futuros em vista de novas necessidades.

### 2. REVISÃO DA LITERATURA

A soldagem orbital foi desenvolvida na década de 60, por engenheiros da indústria aeroespacial como uma alternativa a soldagem de união de tubos hidráulicos dos aviões. Todavia, este sistema passou a ser empregado de fato pela indústria somente em meados dos anos 80, com o advento de sistemas de soldagem dedicados. Estes sistemas são compostos basicamente por três partes principais – fonte de soldagem, unidade de controle e cabeçote orbital [1].

Em virtude dos requisitos de portabilidade, o sistema de soldagem orbital requer o uso de uma fonte de soldagem compacta e portátil, cuja seqüência de soldagem é definida pela unidade de controle [2]. Para atender

às características físicas do processo TIG, a fonte de soldagem deve ser do tipo fonte de corrente, podendo operar no modo corrente contínua constante, corrente contínua pulsada ou corrente alternada.

Sistemas de soldagem orbital modernos possuem o seu controle baseado em sistemas computadorizados que permitem o armazenamento dos parâmetros de soldagem em sua memória, simplificando o desenvolvimento de novos procedimentos de soldagem [3]. A unidade de controle é responsável por controlar o valor das variáveis de soldagem, como corrente e velocidade de deslocamento do eletrodo, de acordo com a posição de eletrodo em relação ao tubo. Desta forma, a habilidade de um soldador certificado é produzida por um sistema, que garante a repetitividade das soldas com um pequeno número de erros ou defeitos [4]. Normalmente, a unidade de controle encontra-se embutida na fonte de soldagem, constituindo-se num único bloco do sistema.

O cabeçote orbital constitui-se no principal componente do sistema. Existem três tipos de cabeçotes orbitais, os cabeçotes de câmara fechada, os de câmara aberta e os cabeçotes orbitais de superfície [5]. O mais comum é o cabeçote do tipo câmara fechada. Neste, cria-se um ambiente formado por um sistema que pressiona o tubo ao redor da área a ser soldada. Este ambiente, onde ocorre a soldagem, é totalmente preenchido com gás inerte de modo a proteger a poça de fusão e o eletrodo, além de que o gás que flui pela junta formada entre os tubos, atua de forma a evitar a entrada de oxigênio, atenuando os riscos de imperfeições na solda. Este tipo de cabeçote orbital é utilizado em tubos com diâmetro externo de 1,6 mm a 162 mm e espessura de parede de até 3,9 mm [6].

Os cabeçotes de câmara aberta são indicados para os casos onde a espessura da parede do tubo é superior a 3,5 mm e se faz necessária a adição de material. Nesta modalidade a tocha de soldagem, assim como o material de adição, é posicionada a 45° em relação à junta a ser soldada. Neste tipo de cabeçote a distância entre o eletrodo e a peça pode ser controlada por um AVC (automatic voltage control), permitindo assim a consistência do cordão de solda em tubos que apresentam excentricidade.

Já os cabeçotes orbitais de superfície são empregados na produção e reparos de trocadores de calor. Por apresentar um número considerável de tubos a serem soldados, esta tarefa se mostra extremamente repetitiva e fatigante para o soldador. Com o emprego deste tipo de equipamento, elimina-se o fator fadiga do soldador, que passa a assumir uma posição de supervisor do processo.

### 3. CONCEPÇÃO DO EQUIPAMENTO

#### 3.1 Cabeçote Orbital

Este desenvolvimento contempla um sistema de soldagem orbital equipado com um cabeçote do tipo câmara fechada. Este cabeçote deve ser capaz de garantir o correto posicionamento entre os tubos durante a soldagem, promover o deslocamento do eletrodo de tungstênio em torno dos tubos a serem soldados, e criar um ambiente a ser preenchido por gás inerte, de forma a proteger o eletrodo de tungstênio e a poça de fusão contra a contaminação por oxigênio proveniente do ar.

Na soldagem orbital, o correto posicionamento e alinhamento entre os tubos a serem soldados, incide diretamente na qualidade final da solda. Desta forma, para atender a esta exigência, o cabeçote de soldagem orbital é provido de um conjunto posicionador (Figura 1).

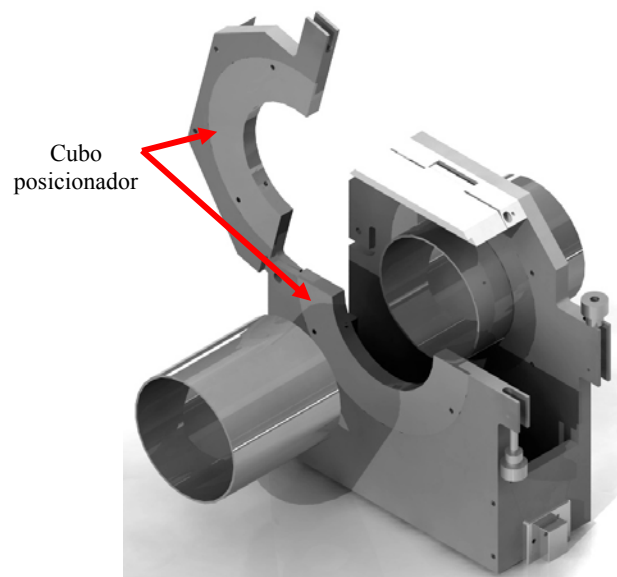


Figura 1 –Conjunto posicionador

Este dispositivo é articulado e incorpora um subsistema denominado de cubo posicionador, podendo ser substituído de acordo com o diâmetro externo dos tubos a serem utilizados. Devido às tolerâncias no diâmetro dos tubos, o cubo posicionador é equipado com um sistema do tipo pistão-mola, sendo estes distribuídos ao longo de quatro quadrantes com a finalidade de manter rígido o posicionamento dos tubos.

O conjunto cinemático, responsável pelo deslocamento do eletrodo (Figura 2), é composto por um conjunto de engrenagens que permite a continuidade do movimento da engrenagem que transporta o eletrodo de tungstênio (engrenagem 1).

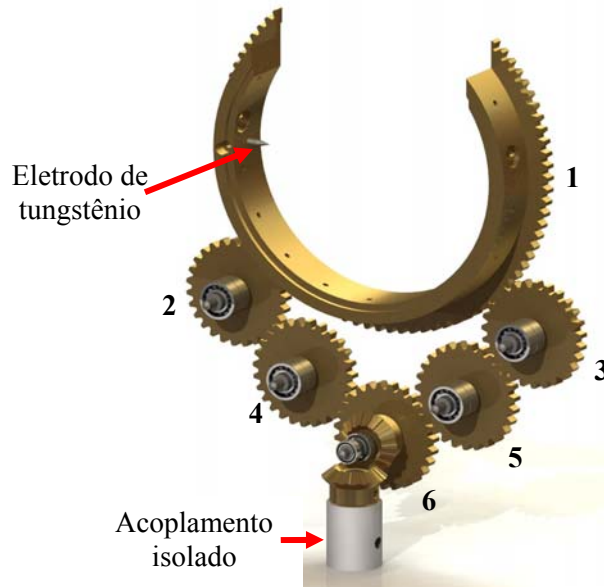


Figura 2 – Conjunto cinemático

Devido o fato da engrenagem 1 apresentar um corte para a passagem dos tubos, a disposição das engrenagens (2 a 6) é concebida de forma a garantir, durante a soldagem, no mínimo um ponto de apoio para a engrenagem 1, conforme mostra a Figura 3.

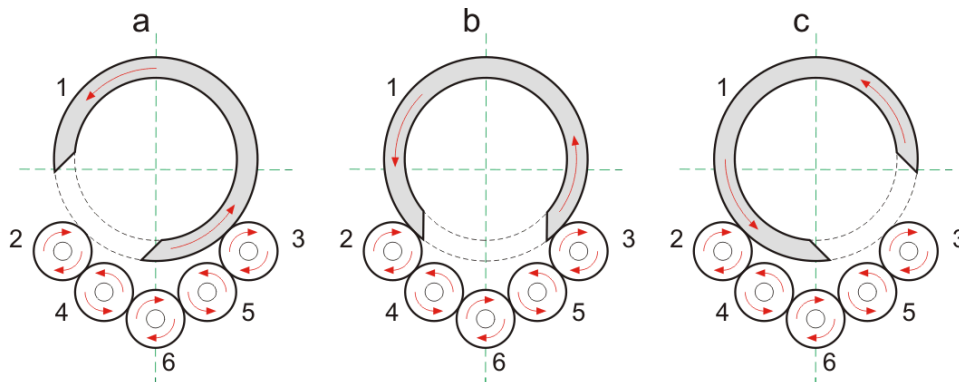


Figura 3 – Cinemática do sistema rotativo

O acionamento do conjunto cinemático é feito por um servo motor DC acoplado a um redutor planetário. A ligação elétrica entre o pólo negativo da fonte de soldagem e o eletrodo de tungstênio é feita através da engrenagem 1. Desta forma, as engrenagens 2 a 6 ficam sujeitas ao mesmo potencial do eletrodo, sendo necessário um isolamento elétrico entre o conjunto cinemático e o eixo do motor. Para tanto se faz necessário o uso de um acoplamento isolado, como mostra a Figura 2.

O conjunto cinemático é montado no corpo principal do cabeçote orbital e este acoplado ao conjunto posicionador por meio de grampos de engate rápido (Figura 4), tornando o acoplamento simples e rápido.

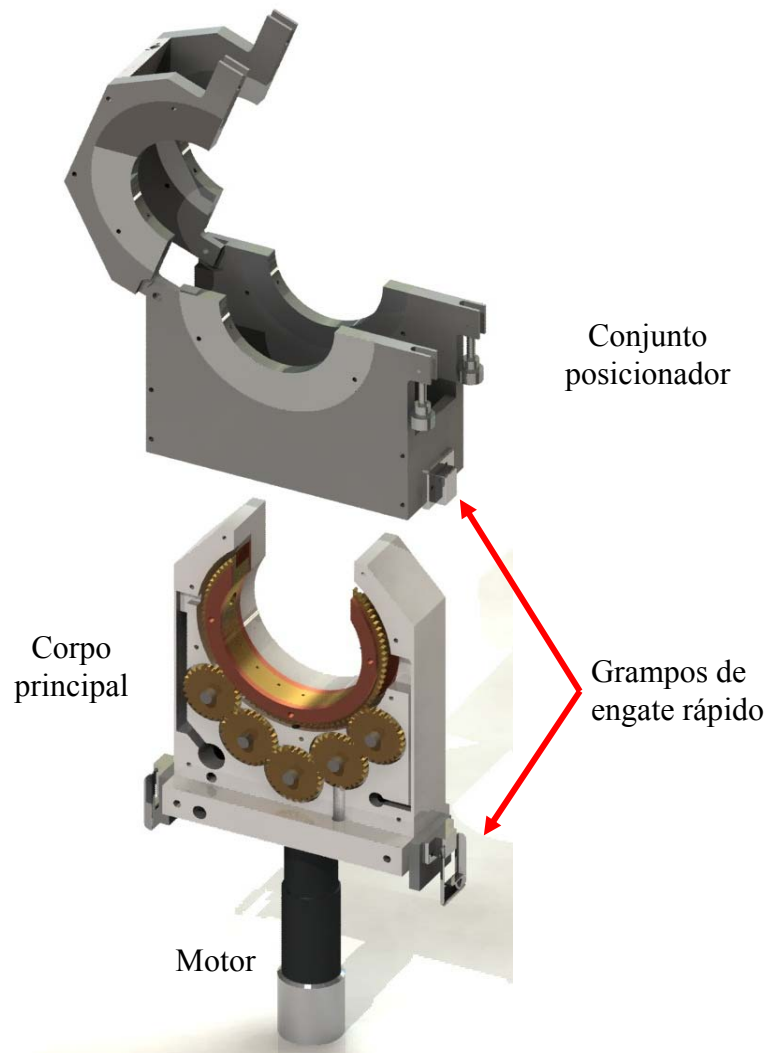


Figura 4 – Corpo principal do cabeçote orbital montado e acoplamento do conjunto posicionador

### 3.2 Fonte de soldagem

A fonte de soldagem utilizada neste sistema emprega tecnologia inversora, nome devido à estrutura eletrônica de potência utilizada neste tipo de equipamento, que permite a conversão de energia em elevados valores de frequência, reduzindo a massa e o volume dos elementos passivos que a compõe, tornando à mesma compacta e portátil, atendendo aos requisitos de portabilidade do sistema.

No sistema de soldagem orbital o deslocamento do eletrodo de tungstênio deve ocorrer de forma sincronizada com a corrente, este sincronismo se faz necessário em virtude de nesta soldagem termos todas as posições possíveis de soldagem (plana, vertical descendente, sobre cabeça e vertical ascendente). Assim, teoricamente para cada posição de soldagem é necessária uma corrente de soldagem e uma velocidade de deslocamento do eletrodo diferente, para conseguir isto, a unidade de controle deve comandar o deslocamento do eletrodo e o valor da corrente simultaneamente. De modo a permitir o controle da corrente, a fonte de soldagem é equipada com uma interface analógica para a entrada do sinal de referência de corrente e outros sinais de comando como disparo da solda, controle de abertura do gás e sinal que indica arco aberto. A mesma deve possuir capacidade de fornecimento de corrente da ordem de 150A, além de um sistema de ignição do arco.

### 3.3 Processo de Soldagem

O processo de soldagem utilizado neste sistema orbital é o processo TIG (tungsten Inert Gas). No processo TIG o arco voltaico é estabelecido entre um eletrodo não consumível de tungstênio, e a peça a ser soldada. A abertura do arco neste processo é comumente realizada por meio do toque do eletrodo de tungstênio a peça de trabalho. No entanto, no caso da soldagem orbital, isto exigiria a mecanização desta operação, desta forma, a

abertura é realizada por um sistema de ignição do arco, que elimina a necessidade do toque entre o eletrodo e a peça. Este sistema de ignição imprime uma elevada variação de alta tensão que ioniza o gás existente entre o eletrodo e a peça. Depois de estabelecido o arco, a fonte de soldagem desliga circuito eletrônico de ignição e fornece a corrente de soldagem para o arco. No processo TIG utiliza-se como gás de proteção o argônio, entretanto, misturas contendo percentuais de hélio também são utilizadas.

Na tentativa de obter melhores resultados quanto à qualidade da solda realizada, utiliza-se o processo TIG com corrente contínua pulsada (Figura 5). Na corrente pulsada o valor da corrente varia entre dois níveis de corrente, denominadas corrente de base e de pulso. Esta mudança na amplitude da corrente implica em benefícios como o efeito térmico sobre a poça fundida, causado pelo baixo valor da corrente de base, fazendo com que ocorra o resfriamento da poça, evitando o escorrimento. O elevado nível da corrente de pulso também auxilia na penetração e a ação pulsante ajuda na expulsão de gases da poça de fusão, além de proporcionar maiores velocidades de soldagem e estabilidade do arco.

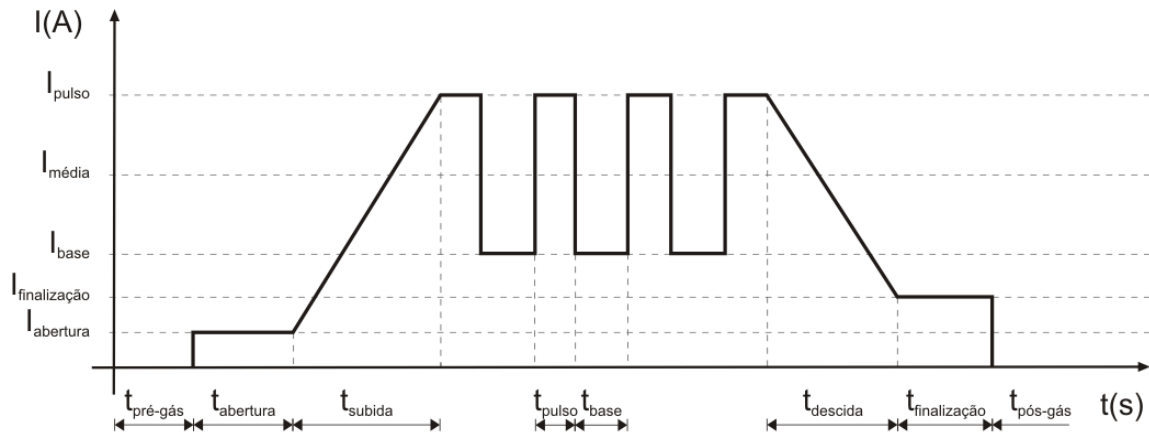


Figura 5 – Forma de onda da corrente no processo TIG Pulsado

### 3.4 Unidade de Controle

A unidade de controle (Figura 6) é composta por uma placa de controle, placa de isolamento, servo driver, teclado de comando remoto e as fontes necessárias para alimentar o sistema.

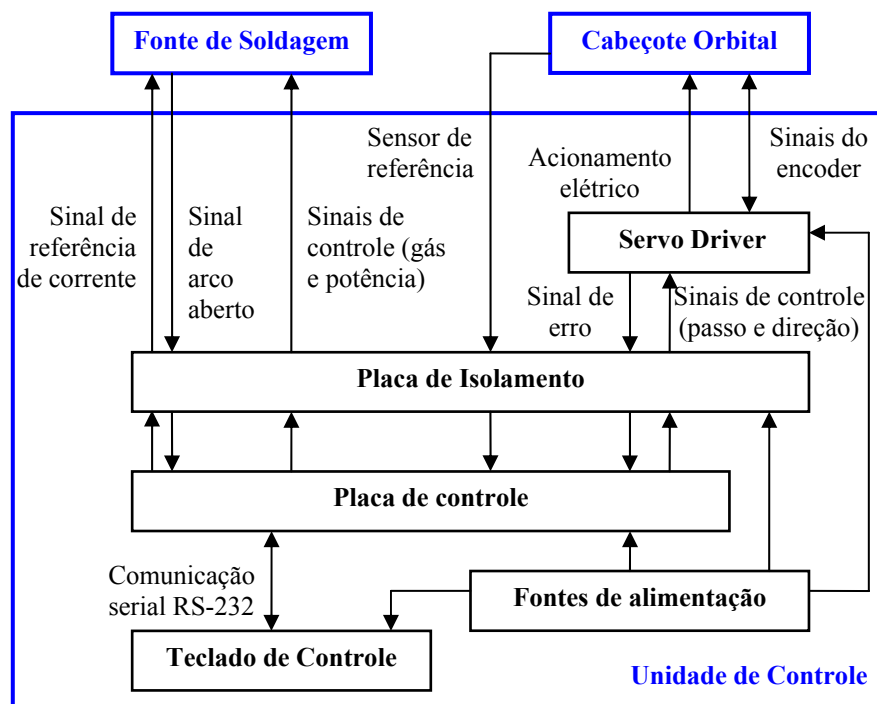


Figura 6 – Diagrama esquemático do sistema de soldagem orbital. Detalhamento da unidade de controle

A placa de controle, baseada num sistema microcontrolado, é responsável pelo controle do cabeçote orbital e da fonte de soldagem, além da interface com o usuário. Esta também é responsável por gerar as formas de onda do processo, sendo necessária uma saída de sinais analógicos para o sinal de referência de corrente da fonte de soldagem.

No teclado de comando remoto é feita a seleção de todas as variáveis do processo, além do armazenamento e recuperação de programas de soldagem. A comunicação entre o teclado de comando remoto e a placa de controle é feita através de um canal serial.

O acionamento do servo motor, encontrado no cabeçote orbital, é realizado por intermédio de um servo driver, este dispositivo realiza o acionamento de motores DC a partir de sinais de controle para motor de passo. Para conseguir isso, os sinais do encoder são conectados diretamente ao servo driver e este se encarrega de fechar a malha de controle de posição do motor. Desta forma, a implementação do software de controle torna-se mais simples e exige menos capacidade de processamento do sistema. Caso ocorra algum problema no posicionamento, o servo driver envia para a placa de controle um sinal de erro indicando tal anormalidade.

Em virtude deste sistema orbital utilizar o processo TIG com abertura de arco por meio de um sistema de ignição que emite elevados níveis de ruídos eletromagnéticos extremamente nocivos para os circuitos eletrônicos digitais, se faz necessário a utilização de uma placa de isolamento de todos os sinais, tanto de entrada como de saída, da placa de controle.

### 3.5 Software de Controle

Na soldagem orbital têm-se todas as possíveis posições de soldagem, desta forma para manter a qualidade do cordão de solda, é necessário alterar os parâmetros de soldagem de acordo com a posição relativa do eletrodo ao tubo [6]. No entanto, teoricamente, existem infinitas posições para o eletrodo, desta forma, como medida prática divide-se o tubo em seções (Figura 7) para reduzir a complexidade de ajuste das variáveis do processo de soldagem.

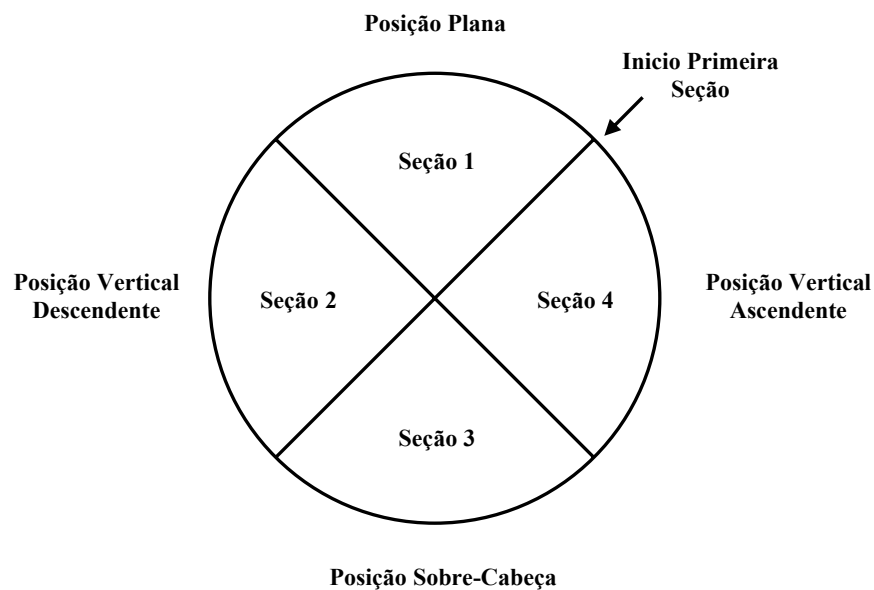


Figura 7 – Divisão do tubo em 4 seções e suas respectivas posições de soldagem

Assim ao ser iniciado o processo, o software de controle deve posicionar o eletrodo no início da primeira seção, para somente depois dar início a abertura do arco. Uma vez estabelecido o arco entre o eletrodo e a peça, o eletrodo é deslocado até a posição final da primeira seção, com a velocidade e a corrente de soldagem regulada pelo usuário. Chegando na posição final da primeira seção, os valores de velocidade e corrente de soldagem são mudados, automaticamente pelo software de controle, para os valores correspondentes ao da seção seguinte, sendo a seção incrementada. Este processo se repete até que o eletrodo atinja a posição final da última seção. Ao atingir a posição final da última seção, o eletrodo deve ser deslocado por um valor definido pelo usuário para fazer a sobre posição, garantindo assim a correta união do tubo. Depois de realizada a sobre posição, o arco é extinto e a engrenagem 1 do cabeçote orbital deve ser posicionada de forma a permitir a retirada do tubo. A Figura 8 mostra o fluxograma de controle do processo de soldagem do cabeçote orbital.

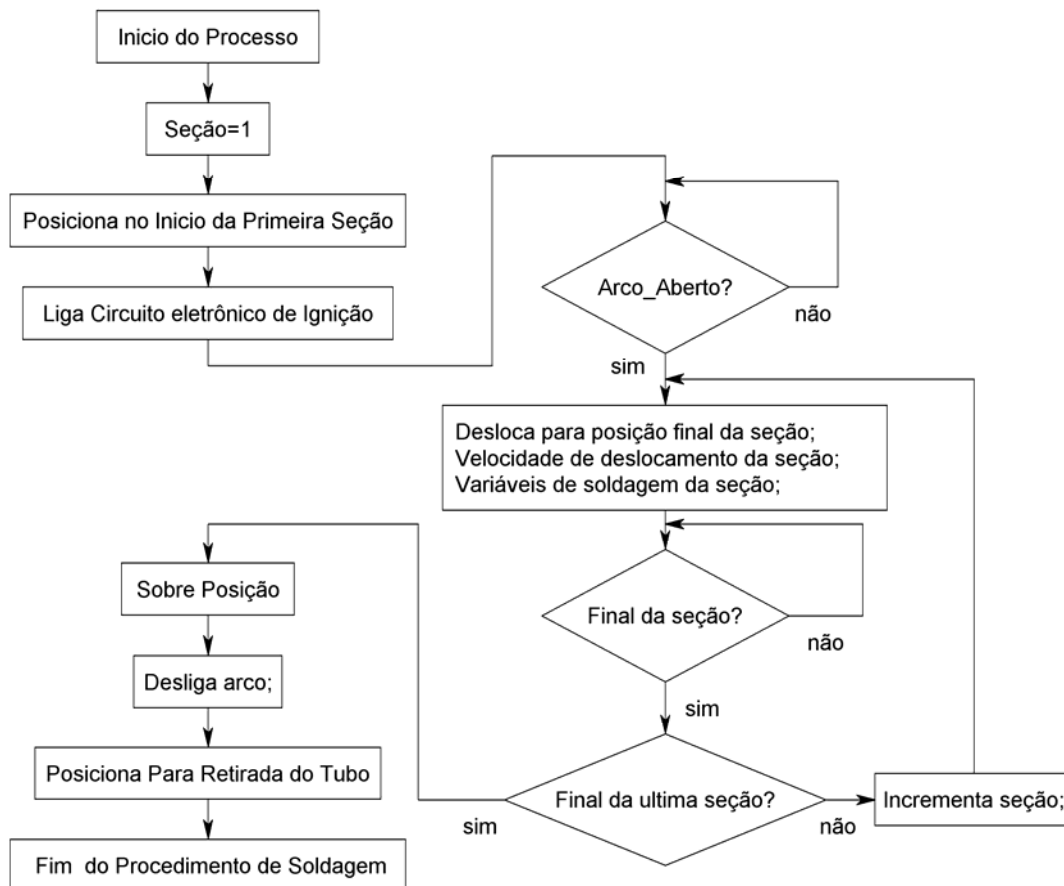


Figura 8 – Fluxograma do processo de soldagem

O software de controle recebe do teclado de comando remoto o valor das variáveis de cada quadrante do processo, e as armazena para durante a soldagem gerar as formas de onda mostrada na Figura 5, para cada seção, através de um sinal analógico de entrada pertencente à fonte de soldagem.

Um dos parâmetros do processo de soldagem é o diâmetro do tubo, pois a velocidade regulada pelo operador no teclado de controle remoto, refere-se à velocidade linear na superfície do mesmo, desta forma o software automaticamente calcula qual deve ser a velocidade angular correspondente à velocidade regulada pelo operador para determinado diâmetro.

Além de gerenciar o processo de soldagem, o software de controle deve ser provido de funcionalidades como:

Função posicionar eletrodo – Esta função se faz necessária para permitir a realização da troca do eletrodo de tungstênio acoplado à engrenagem 1;

Função posicionar home – Esta função posiciona o corte da engrenagem 1 de tal forma a permitir a troca dos tubos a serem soldados;

Função testar gás – Esta função habilita o gás sem que haja a necessidade de abertura de arco, é útil para o ajuste da vazão do mesmo;

Função salvar – Esta função permite salvar programas de soldagem para aplicações futuras;

Função carregar – Esta função permite recuperar programas de soldagem previamente armazenados na memória;

Função padrão – Esta função retorna os valores para os valores padrão do equipamento;

Função número de quadrantes – Esta função permite selecionar o número de seções a ser dividido o tubo entre 4 ou 1.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho apresenta a concepção de desenvolvimento de um sistema de soldagem orbital, que uma vez concluído, será capaz de soldar tubos com diâmetros de 6 a 77 mm e espessura de 0,5 a 4 mm. Estes valores foram estipulados devido as maiores aplicações na indústria de extração e refino de petróleo, tanto na montagem quanto na manutenção de linhas de transporte em plantas industriais.

Ao final do desenvolvimento espera-se obter a unidade de controle embutida na fonte de soldagem, constituindo um único bloco, assim, diminui-se o número de conexões, além de contribuir para a portabilidade do sistema. A concepção adotada para o desenvolvimento do cabeçote orbital incide diretamente na redução do tempo necessário para o alinhamento entre os tubos, uma vez que o cabeçote é equipado com um dispositivo específico para esta função.

O uso de um equipamento de soldagem orbital é crucial na obtenção de excelentes resultados, no entanto, os procedimentos de preparação para a soldagem, como o corte e a limpeza dos tubos, são extremamente determinantes no sucesso da operação.

## 5. CONCLUSÃO

A crescente demanda de execução de soldas de tubos com alta qualidade e produtividade indica a necessidade de utilização de um sistema de soldagem orbital. O uso de equipamentos como este, eleva drasticamente a produtividade em relação à soldagem manual. Uma vez especificado um programa de soldagem adequado, o sistema será capaz de repetir a solda centenas de vezes, diminuindo os erros aleatórios, inconsistências e defeitos, por se tratar de uma solda realizada num único passe, sem interrupções, tornando a qualificação do processo mais simples.

Apesar de apresentar todas estas vantagens e de ser uma tecnologia já consagrada no exterior, o país ainda não detém a tecnologia de fabricação de dispositivos desta natureza. Assim os estudos sobre esta tecnologia são fundamentais para promover pesquisas relacionadas à soldagem orbital, além de criar subsídios científicos e tecnológicos para novos desenvolvimentos frente a novas necessidades.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao LABSOLDA e ao MECPETRO – Programa de Recursos Humanos em Engenharia Mecânica e Química para Petróleo e Gás.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] MANNION, B. The fundamentals of orbital welding. **Welding Design and Fabrication**. USA, v. 72, pp. 22-24, 26-27. Feb. 1999.
- [2] GARCIA, J. A. O.; DIAS, N. S.; PEREIRA, W. D. B.; LIMA, G. L.; NOGUEIRA, N. F.; PARANHOS, R. P. R. Desenvolvimento da tecnologia de soldagem do titânio pelo processo TIG orbital no segmento aeroespacial brasileiro – Parte 1: Montagem experimental. **Soldagem & Inspeção**. São Paulo, v. 12, pp. 46-54. Jan/Mar 2007.
- [3] Emmerson, J. G. Recent developments in orbital-welding equipment. **Welding Design and Fabrication**. USA, v. 70, pp. 32-36. Apr. 1997.
- [4] BROERING, C. E. **Desenvolvimento de Sistemas para a Automação da Soldagem e do Corte Térmico**. Fev. 2005. 96p. Dissertação de mestrado. Dept. de Eng. Mecânica, UFSC, Florianópolis, 2005.
- [5] PURNELL, S. Orbital welding developments. **Welding and Cutting**. Vol. 56, pp. 150-152. Mar. 2004.
- [6] MANNION, B.; HEINZMAN, J. Setting up and determining parameters for orbital tube welding. **The Fabricator**. USA, v. 29. May. 1999.

## DEVELOPMENT OF AN ORBITAL PIPES WELDING SYSTEM EQUIPMENT DESIGN

The welding union of pipes in assembly operations as well as maintenance at petrochemical plants still remains as a complex activity in Brazil due to scarcity of equipment and specific procedures destined to supply this demand. The present work describes an orbital TIG welding system development at LABSOLDA. This system is destined to the automatization of the welding of pipes, in order to allow welds of allied quality to the productivity. The equipment is composed by a closed chamber orbital headstock, a welding power source and a control unit for managing the functioning of the system. The orbital headstock, which conducts the tungsten electrode throughout the perimeter of the pipe is capable to guarantee the correct alignment of the pipes to be joined. Beyond this, the chamber creates an environment to be filled with inert in order to protect the tungsten electrode and the weld puddle from air contamination. Once the welding source uses the inverting technology, the equipment has reduced mass dimensions, conferring necessary system portability for field applications. The control unit is based on a microcontrolled technology, having a dedicated software responsible for generating the signals of welding current and electrode speed references, beyond the interface with the user. Thus, when concluded, the orbital headstock will be capable to weld pipes with diameters of 6 the 77 mm and thickness of



0,5 to 4 mm. These values had been stipulated having in mind applications in the extraction and refining of oil industry.

*orbital TIG welding, welding automation, pipes welding*

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste artigo.