

## SISTEMA MECÂNICO MODULAR PARA ACOPLAMENTO DE TUBOS A SEREM UNIDOS POR SOLDAGEM E SUSTENTAÇÃO DA POÇA METÁLICA

Hellinton Direne Filho, hellinton@labsolda.ufsc.br<sup>1</sup>

João Facco de Andrade, joao.facco@labsolda.ufsc.br<sup>1</sup>

Régis Henrique Gonçalves e Silva, regis.silva@labsolda.ufsc.br<sup>1</sup>

Gean Gustavo Brum, geanguto@hotmail.com<sup>1</sup>

Fernando Ruviano, fernandoruviano@gmail.com<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LABSOLDA – Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica - Bloco B, CTC, Campus Universitário, Trindade - Florianópolis – SC, CEP: 88040-900 - Caixa postal: 476.

**Resumo:** A expansão da rede dutoviária nacional atrelada ao desenvolvimento do setor industrial e extrativista, está sujeita a disponibilidade de recursos de capital e, principalmente, recursos humanos especializados. Neste sentido, o processo de soldagem empregado na união das várias seções que compõem os dutos, tende a ser o gargalo na produção destas estruturas. Tal fato é função da complexidade intrínseca destes processos somados a dependência de mão de obra qualificada, a qual, já a algum tempo, encontra-se em escassez no mercado nacional. Deste modo, esforços no sentido de automatizar os processos de soldagem tem grande potencial de contribuição com o desenvolvimento de nossa indústria. Para tanto, são necessárias pesquisas e desenvolvimentos em diversos flancos, tanto com foco nos processos propriamente ditos, quanto nos equipamentos responsáveis por sua execução e operações associadas. Um dos equipamentos necessários para a soldagem de dutos são as chamadas acopladeiras, as quais tem a função de posicionar corretamente as extremidades a serem soldadas. Tais equipamentos tem papel ainda mais importante quando se tem a pretensão de automatizar o processo de soldagem, já que o posicionamento obtido pode determinar a viabilidade/qualidade do procedimento a ser executado. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um protótipo de acopladeira interna, o qual foi concebido visando inicialmente a operação em ensaios de soldagem em laboratório. Ao final obteve-se um sistema versátil (aplicável a vários diâmetros de tubos) robusto e de baixo custo. O sistema desenvolvido, com base nos testes e aplicações realizadas até então, atendeu os requisitos de projeto. O conhecimento gerado no processo de projeto vem sendo aproveitado para o desenvolvimento de sistemas com mecanismos análogos.

**Palavras-chave:** soldagem, automatização, dutos, acopladeiras, backing.

### 1. INTRODUÇÃO

A construção de dutos, fortemente empregados para o transporte de produtos e subprodutos do setor de petróleo e gás, envolve o processo de soldagem na etapa de união das várias seções necessárias para a sua composição. Este processo tem fundamental importância na integridade resultante da estrutura, o que, conseqüentemente, faz necessário diferenciados recursos, tanto humanos quanto de infraestrutura, para a adequada realização dos procedimentos de soldagem. No sentido de aprimorar o processo de união das seções dos dutos, a automatização da soldagem traz a prerrogativa de aumento de produtividade e qualidade, o que também corrobora no sentido de sobrepujar a crescente escassez de mão de obra qualificada que aflige o setor industrial brasileiro. Tal automatização, no entanto, requer certos conhecimentos e equipamentos praticamente inexistentes no contexto tecnológico nacional.

Em face desta problemática, o LABSOLDA – Instituto de Soldagem e Mecatrônica da UFSC, integra em seu portfólio de linhas de pesquisa e desenvolvimento, uma linha com projetos direcionados à elaboração de processos, procedimentos e equipamentos para a soldagem automatizada de dutos. Deste modo, além da intensa geração e consubstanciação de conhecimento, já foram desenvolvidos em termos de equipamentos, três manipuladores robóticos para soldagem orbital. Estes sistemas vêm sendo empregados nas pesquisas e desenvolvimentos dos diferentes procedimentos necessários para a união de dutos (passe de raiz, enchimento e acabamento), considerando principalmente os processos de soldagem MIG/MAG (*Metal Inert Gas/Metal Active Gas*) (Direne Filho, et al., 2013 e Sartori, 2015) e TIG (*Tungsten Inert Gas*) alimentado (Pigozzo, 2015 e Paes, 2016).

Independentemente do modo de aplicação do processo de soldagem, seja manual, seja automatizado, são necessários ainda equipamentos e dispositivos auxiliares para, por exemplo, o adequado posicionamento das seções de tubo a serem unidas. Tal família de equipamentos, comumente referidos como acopladeiras (*line-up clamps*), são essenciais para o adequado posicionamento das extremidades dos tubos, que por se tratarem de peças grandes (medindo em geral 12 metros de comprimento e pesando algumas toneladas) são de difícil manipulação. As características do posicionamento obtido têm grande influência na qualidade e até mesmo na viabilidade do procedimento de soldagem

automatizado, visto que afeta parâmetros como o espaçamento (*gap*) e desnível (*hi-lo*) assim como a variação destes ao longo da junta.

Quando se têm a pretensão de automatizar o processo de soldagem, a preparação da junta tem ainda mais importância. Isso se dá pois, diferentemente do processo manual (ou semiautomático) no qual o soldador pode realizar compensações e ajustes de forma relativamente mais livre e intuitiva, em um sistema automatizado, tais ajustes e correções tendem a ser mais limitados.

Apesar da busca por meios de aprimoramento do nível de automatização dos processos de soldagem que possam superar as citadas limitações, como técnicas de correção via sensoriamento laser (Viviani, et al., 2014 e Kinderman, et al., 2015) e via monitoramento do arco elétrico (Mendonça, 2013 e Costa Filho, 2003), verifica-se igualmente importante o desenvolvimento de procedimentos mais robustos. Tal característica diz respeito a parâmetros e condições que, por si só, possibilitem a estabilidade do procedimento numa maior faixa de operação, absorvendo assim eventuais irregularidades e variações presentes na junta. Para tanto, técnicas complementares podem ser utilizadas, tais como o uso de cobre juntas (*backings*), que são posicionados no lado de trás da junta possibilitando o suporte da poça de fusão no momento do passe de raiz.

Alguns modelos de acopladeira, especialmente aquelas de operação interna, disponibilizam o recurso de cobre junta integrado. Com isso, paralelamente ao posicionamento dos tubos, um sistema complementar se expande formando um anel pressionado contra a superfície interna da extremidade dos tubos. Nestes casos é usualmente empregado um cobre junta metálico, composto por sapatas de cobre com capacidade de uso consecutivo em várias operações, diferentemente de cobre juntas cerâmicos os quais são, em geral, consumíveis. Em aplicações de soldagem orbital automatizadas, uma cinta/trilho é fixada na região adjacente à junta possibilitando que o manipulador robótico conduza a tocha de soldagem durante o procedimento. Nestes casos, é necessário que o acoplamento seja feito por um dispositivo de operação interna, de modo que não ocorra a obstrução da trajetória do manipulador e da tocha.

Diante do contexto e das considerações apresentadas, verifica-se que as acopladeiras são equipamentos cujo desempenho e funcionalidades podem ter influência direta na viabilidade, qualidade e robustez dos procedimentos de soldagem de dutos, em especial, aos de aplicação automatizada. Esta constatação, aliada à escassez de tecnologias nacionais mais especializadas, motivou a equipe do LABSOLDA a dar início ao desenvolvimento de um sistema próprio, a exemplo dos manipuladores robóticos e demais sistemas de soldagem e periféricos já consolidados. Desta forma, considerando inicialmente o âmbito de aplicação em laboratório, foi desenvolvido o primeiro protótipo de uma acopladeira interna munida de sistema cobre junta integrado, conforme apresentado na seção subsequente.

## 2. DESENVOLVIMENTO

Apesar da utilização de uma metodologia para o suporte ao desenvolvimento do projeto do sistema, coloca-se como enfoque principal deste trabalho a apresentação das geometrias, tecnologias, processos e soluções efetivamente incorporadas ao primeiro protótipo. Com isso, pode-se ilustrar a associação de soluções criativas ao uso racionalizado de recursos para a obtenção de um sistema funcional, versátil e de baixo custo. Tais características tendem a ser muito interessantes no contexto de engenharia de produtos.

Mesmo não entrando a fundo na metodologia, é importante uma breve descrição do âmbito de aplicação do sistema desenvolvido, o que foi determinante na definição dos requisitos. Na sequência, são apresentadas as características do sistema desenvolvido, juntamente aos estudos e análises que fundamentaram a sua elaboração.

### 2.1. Âmbito de Aplicação e Requisitos

Encontra-se disponível no LABSOLDA uma boa infraestrutura de apoio aos ensaios e desenvolvimentos voltados à soldagem orbital automatizada. Por questões econômicas e logísticas evidentes, os ensaios são realizados sobre seções de tubos de pequeno comprimento (em torno de 150 mm), propiciando a composição de múltiplos corpos de prova a partir de um único tubo, além de possibilitar que a bancada de ensaios ocupe um menor espaço. O bom aproveitamento da matéria prima é algo fundamental, não só pela dificuldade de acesso a elas, mas também visando reduzir a geração de sucata. No que diz respeito ao acesso aos tubos, busca-se, quando possível, parceiros que possam ceder trechos de tubos, os quais tendem a ser difíceis de adquirir em dimensões (comprimento) e quantidades pequenas. Tal prática acarreta na existência de certa variedade de diâmetros e espessuras de tubos disponíveis para experiências no laboratório. A definição de qual tubo será utilizado para determinado desenvolvimento fica a critério da similaridade com o tubo da aplicação que está sendo prospectada.

Em função da variedade e quantidade dos tubos disponíveis no LABSOLDA, assim como na análise dos diâmetros mais empregados no contexto nacional, foi definida a faixa de 406,4 mm a 609,6 mm (16 a 24 polegadas) de diâmetro (externo) como aquela a ser atendida. A possibilidade de utilização da acopladeira depende, não somente do diâmetro externo, como também da espessura da parede do tubo a ser soldado, podendo ser de 6,35 mm a 38,9 mm em tubulações de 609,6 mm de diâmetro, por exemplo.

Considerando o potencial incremento de robustez ao processo, como discutido na introdução do presente trabalho, a disponibilidade de um sistema de cobre junta integrado também foi colocada como requisito elementar para o projeto.

Tal sistema, no entanto, deve ser um opcional, já que certas aplicações e normas proíbem a utilização de cobre juntas feitos de cobre. Isso se dá em função do risco de formação de uma inclusão metálica de cobre na junta, que pode trazer riscos à integridade da mesma.

E como último requisito atrelado diretamente ao âmbito de aplicação, foi definido que o porte do sistema resultante deve ser compatível, dentro do possível, com a utilização em laboratório. Entende-se como “porte” de um sistema a associação entre as suas dimensões gerais e massa, sendo o primeiro aspecto importante para a fácil incorporação do sistema às bancadas existentes, e o segundo interessante para favorecer o manuseio e transporte.

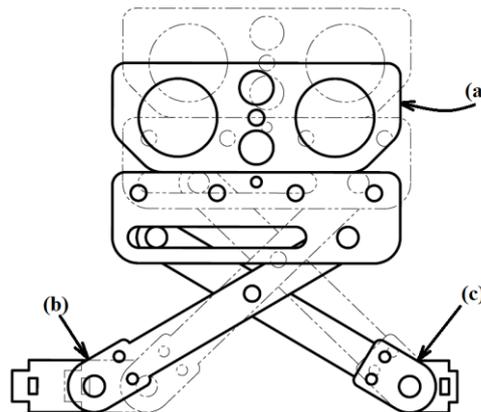
## 2.2. Sistema Desenvolvido

Considerando o âmbito de aplicação industrial de sistemas de acoplamento de dutos, verifica-se uma maior quantidade e severidade, por assim dizer, dos requisitos e funcionalidades necessárias ao seu adequado desempenho. A opção pela elaboração de um sistema restrito a operação em laboratório, além de suprir a demanda interna quanto a um sistema simplificado, possibilita o confronto parcial com as funcionalidades e, conseqüentemente, tecnologias necessárias para sua operação. Com isso, é possível um passo intermediário rumo ao desenvolvimento de um sistema mais complexo e de maior responsabilidade.

Neste sentido, uma técnica de projeto que se faz interessante consiste na utilização de conceitos associados a modularidade. O projeto de sistemas por meio de módulos relativamente independentes potencializa e possibilita diversos benefícios, sendo o mais relevante, no caso do desenvolvimento em questão, o benefício atrelado a mudanças futuras no projeto. Tais mudanças são facilitadas uma vez que são realizadas pela simples substituição ou adição de módulos, os quais permitem novas características operacionais de acordo com as necessidades vinculadas às diferentes fases do ciclo de vida do produto (Pereira, 2004).

Desta forma, os módulos julgados necessários para o atendimento dos requisitos da fase atual (aplicação em laboratório) seriam apenas dois, o módulo do sistema de acoplamento e o do sistema cobre junta. Feitas estas definições, e mais uma vez aproveitando-se de benefícios da modularidade, o desenvolvimento específico de cada módulo foi incumbido a membros diferentes da equipe de projeto mecânico do LABSOLDA. Tal divisão de tarefas permite desenvolvimentos paralelos, favorecendo assim a redução do tempo de projeto (Maribondo, 2000), desde que mantida uma boa comunicação e integração entre a equipe. Essa responsabilidade recai ao coordenador do grupo, figura necessária para a coordenação e controle do desenvolvimento como um todo.

O módulo de acoplamento, que consiste neste caso no módulo fundamental ou módulo base, é aquele sobre o qual deverão ser montados os módulos complementares. Para o desempenho de sua função elementar (acoplamento) foi selecionada a alternativa de solução composta por dois conjuntos de oito mecanismos pantográficos (“tesouras”) dispostos radialmente e acionados por meio da ação centralizada de um fuso trapezoidal. Tal concepção foi escolhida em função da facilidade de fabricação (sendo considerado o corte a laser) e capacidade de expansão do mecanismo, podendo atender assim à larga faixa de diâmetros de tubos a serem acoplados. Esse mecanismo é mostrado em detalhe na Fig. Figura 1.



**Figura 1 - Mecanismo pantográfico empregado para o acoplamento, sendo (a) o espaçador, (b) o pivô móvel e (c) o pivô fixo.**

Apesar da capacidade de expansão citada, optou-se, em função da geometria construtiva do sistema como um todo, por limitar o curso de operação do mecanismo e utilizar um espaçador para possibilitar a operação em tubos maiores. A opção por esse mecanismo também se mostrou interessante em função da ocorrência de um pequeno deslocamento da sapata de contato no sentido longitudinal, o que tende a pressionar uma seção do tubo contra a outra (quando disposto na orientação adequada). Esse mecanismo pode tanto aumentar quanto diminuir a força aplicada pelo fuso, dependendo da posição de suas barras, o que, conseqüentemente, afeta a magnitude da componente radial correspondente a força de expansão.

No que diz respeito a opção pelo emprego de um fuso trapezoidal, foi a alternativa de melhor potencial de atendimento ao quesito controle (em relação ao emprego de pistões pneumáticos ou hidráulicos) quando associada ao acionamento manual via volante. Outro aspecto interessante referente ao emprego deste fuso, consiste na condição de auto retenção ou auto travamento, a qual assegura que, após aplicada a força/deslocamento no sistema, este permaneça estacionário. É evidente que a opção por um fuso acarreta numa certa limitação em relação a força de acoplamento, no entanto, considerando o âmbito de aplicação onde se trabalha com pequenas seções de tubos, pode ser satisfatória.

Para tanto, foi necessário o dimensionamento referente ao sistema de acionamento, considerando inicialmente a solicitação atrelada apenas à sustentação/elevação da seção de tubo a ser acoplada. Em termos de força de acionamento disponível, sendo esta aplicada manualmente via volante, ou seja, gerando um certo torque, foi necessário avaliar qual magnitude poderia ser alcançada utilizando o volante selecionado. Com este fim, foi proposto e realizado um ensaio relativamente simples, acoplado o citado volante no eixo de saída de um torquímeter (Fig.Figura 2), de modo que pôde ser avaliado o torque de entrada de passível aplicação no sistema.



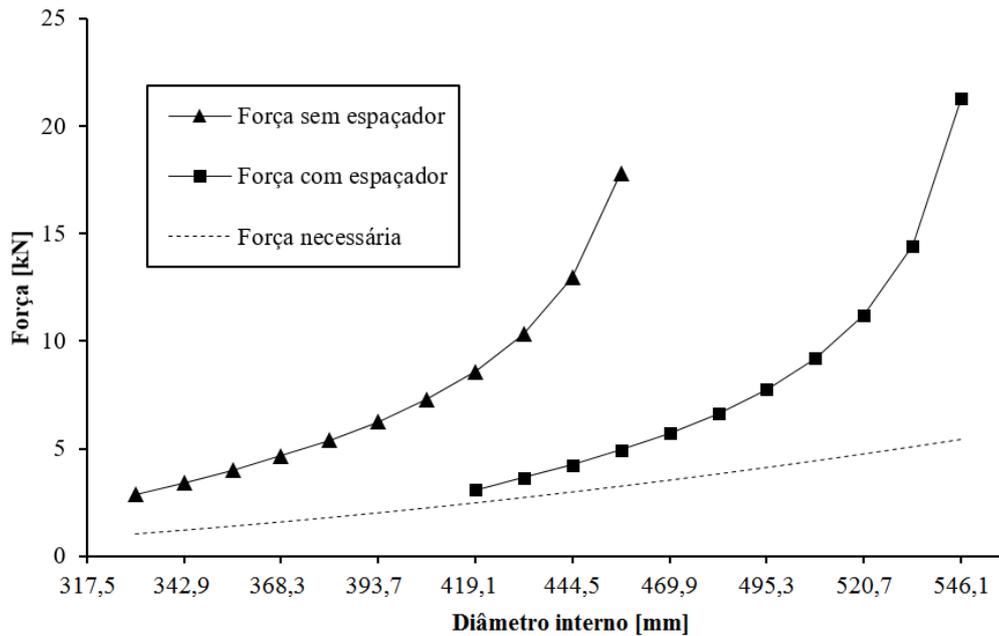
**Figura 2 - Torquímeter e volante utilizados no teste.**

Neste teste foi possível verificar que um torque de 10 Nm pode ser confortavelmente aplicado por uma pessoa de porte médio, podendo chegar a valores em torno de 15 Nm, mas já com um leve desconforto. De posse destas informações juntamente aos outros fatores pertinentes, foi selecionado um fuso de 30 mm de diâmetro e passo 5 mm, acoplado ao volante por um conjunto de engrenagens com uma redução de três vezes. Tal definição permite a análise da força de acionamento do mecanismo, a qual, rearranjando os termos, pode ser calculada segundo Juvinal et al (2013) pela Eq. (1) a seguir:

$$F = \frac{2T}{d_m} \left( \frac{\pi d_m \cos \alpha - Lf}{f\pi d_m + L \cos \alpha} \right) \quad (1)$$

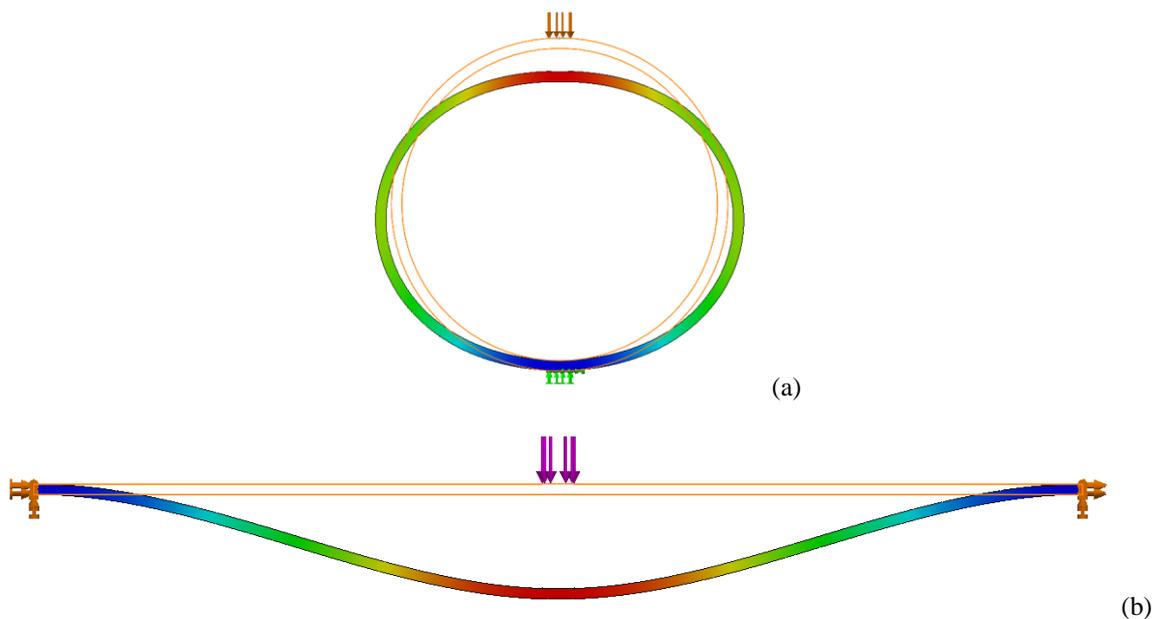
onde:  $F$  é a força de saída na porca;  $T$  o torque de entrada no fuso;  $d_m$  o diâmetro médio da rosca;  $\alpha$  ângulo da rosca ( $15^\circ$ );  $L$  o avanço (ou passo no caso de roscas com apenas uma entrada); e  $f$  o coeficiente de atrito entre o fuso e a porca (função do material). A associação desta força com a disposição geométrica do mecanismo, a qual se dá em função do diâmetro interno do tubo, permite por sua vez, o cálculo da força de acoplamento.

O gráfico da Figura 3 apresenta os valores para comparação da força de acoplamento possibilitada pelo sistema (acionado por um torque de 10 Nm) e a força necessária para o acoplamento de uma seção de 500 mm (tamanho aproximadamente três vezes maior que o geralmente empregado) de comprimento de tubos de vários diâmetros. No cálculo da força necessária para o acoplamento, para efeito de estimativa, foi considerada uma espessura de 12,7 mm para o menor diâmetro e 38,1 mm para o maior, tendo os diâmetros intermediários um valor interpolado. Para diâmetros internos de cerca de 419,1 mm até 457,2 mm (16,5 polegadas até 18 polegadas), o sistema pode operar com ou sem os espaçadores.



**Figura 3 - Comparação entre a força de acoplamento aplicável com o sistema e a força requerida para o acoplamento.**

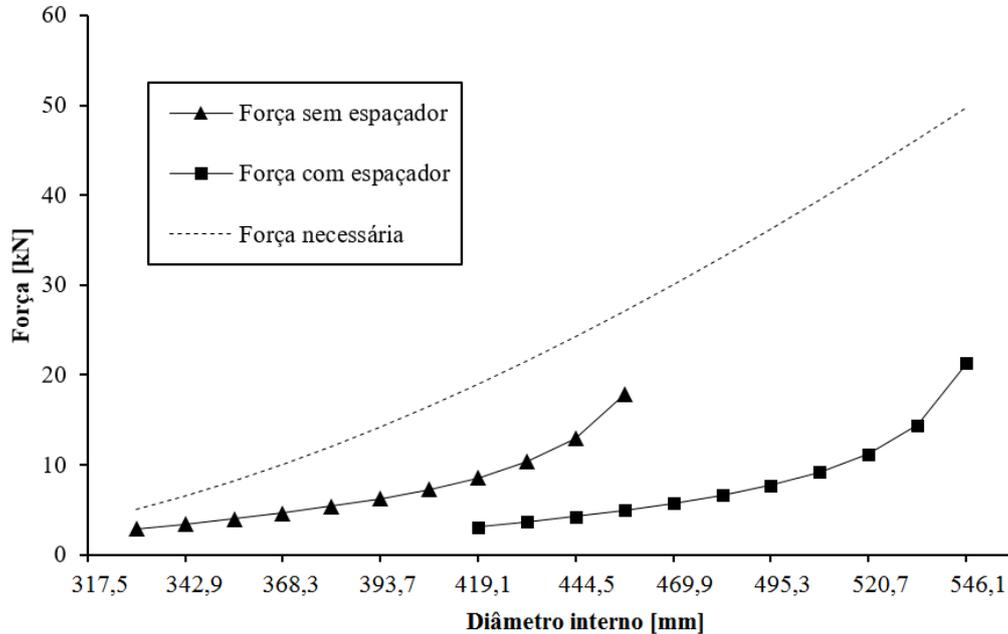
A análise do gráfico da Fig. Figura 3 permite verificar que é possível, em muitos casos, a aplicação de uma força consideravelmente maior que a necessária para o simples acoplamento dos tubos. Tal constatação levou a equipe a avaliar se o sistema poderia talvez ter força o suficiente para desovalizar tubos, os quais, em função do processo de fabricação, armazenagem e transporte, podem apresentar tal característica. Esta análise, revela a influência do número de apoios no sistema, sendo que um número maior de sapatas favorece que o contato principal se dê na região de menor diâmetro, o que por sua vez propicia um maior vetor de força no sentido de correção da ovalização do tubo. Numa primeira abordagem para o equacionamento da força necessária para a desovalização, verificou-se que a obtenção de uma solução analítica para vigas curvas (tal qual pode ser encarado a seção do tubo) é relativamente complexa. Partiu-se então para simulação numérica associada a modelagem analítica, considerando o comportamento do tubo análogo ao de uma viga biengastada “enrolada”, como ilustrado na Fig. Figura 4.



**Figura 4 - Simulações numéricas (resultados ampliados): em (a) flexão em tubo, em (b) flexão em viga.**

É evidente que a modelagem, por si só, é bastante inadequada, já que a rigidez dos elementos e o momento fletor gerado pela aplicação de uma carga centralizada são muito diferentes em cada caso. No entanto, foi verificada uma boa

correlação entre os resultados numéricos e analíticos dos diâmetros e espessuras consideradas, indicando a possibilidade de emprego de um fator de correção médio. Este fator indica que a força necessária para um mesmo deslocamento máximo (flecha central) de um tubo é 10,4 vezes maior que para uma viga reta biengastada. Desta forma, a título de comparação, foram plotados os valores de força necessária para a correção de uma ovalização de 0,25% (diâmetro maior menos o menor dividido pelo médio) dos tubos considerados, para uma seção de comprimento igual a 100 mm.

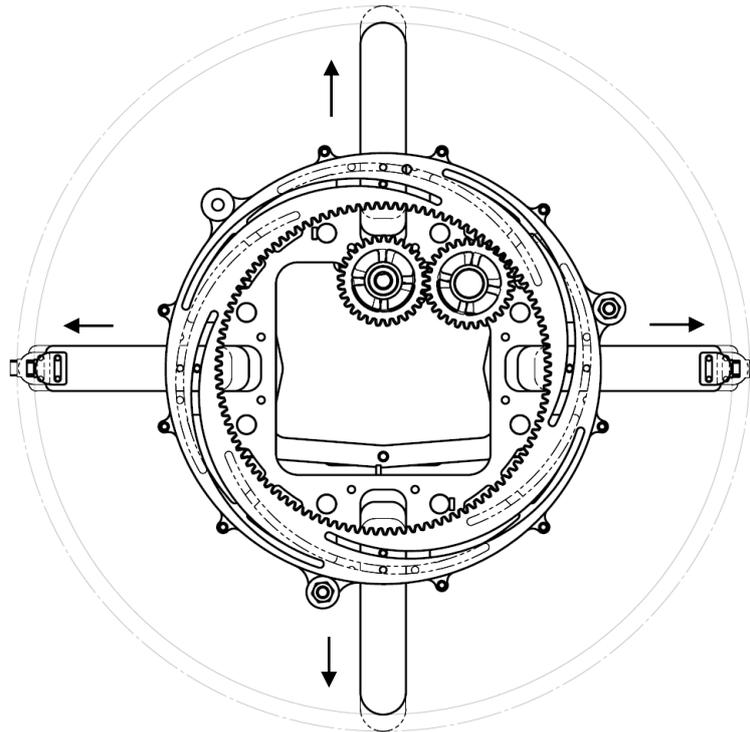


**Figura 5 - Comparação entre a força de acoplamento aplicável com o sistema e a força requerida para a desovalização.**

Com isso, verifica-se (Fig. Figura 5) que a força necessária para a correção de uma pequena ovalização (0,25%), em um pequeno trecho (100 mm), com a melhor condição de aplicação de força possível, é muito superior à aplicável por meio do sistema desenvolvido. Desta forma, foi mantida a configuração do módulo desenvolvido para o acoplamento, com a opção de futuramente, caso seja julgado pertinente, desenvolver um módulo aprimorado que tenha a capacidade para correção da ovalização da extremidade dos tubos.

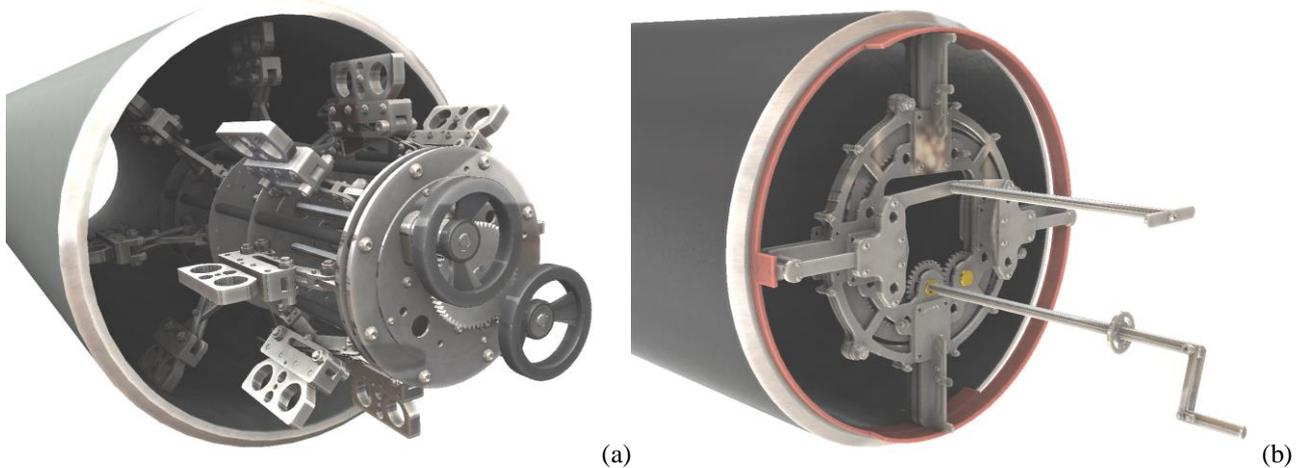
Quanto ao módulo do sistema cobre junta, foi dada ênfase à questão do custo, já que o cobre é uma matéria prima relativamente cara e sua usinagem pode não ser trivial. Com isso, foi selecionada a alternativa de solução na qual são empregadas duas barras chatas de cobre eletrolítico (calandradas com diâmetro um pouco inferior ao do tubo), as quais são expandidas e deformadas (no regime elástico) junto a parede interna dos tubos. Tal sistema, apesar de relativamente simples e de baixo custo, permite a atuação do cobre junta em uma metade da junta de cada vez, o que foi considerado aceitável visto que muitos dos procedimentos de soldagem orbital são realizados 180° por vez.

O sistema de expansão (Fig. Figura 6) conta com quatro hastes, sendo uma para fixação/expansão central de cada barra de cobre e duas compartilhadas pelas barras para expansão de suas extremidades. O disco central, que é acoplado à manivela de acionamento via conjunto de engrenagens, possui rasgos em espiral nos quais ficam alojados os pinos/seguidores. Assim, a rotação do disco promove o deslocamento radial das hastes. Além da manivela para expansão, foi necessária uma haste para deslocamento longitudinal do conjunto, o que é necessário para o ajuste e permuta da barra de cobre a ser alinhada com a junta, operação que deve ser feita com o sistema contraído.



**Figura 6 - Mecanismo de expansão do sistema de cobre junta.**

A simplicidade obtida em relação aos componentes de cobre, além de possibilitar um baixo custo de fabricação, favorece também uma eventual necessidade de refrigeração do cobre junta. Isso devido a existência de apenas duas peças em sua composição, de modo que um pequeno tubo poderia ser brasado junto a lateral das barras (preferivelmente antes da calandragem), por onde poderia circular algum fluido para seu arrefecimento. Tal opção não se verifica nos sistemas compostos por múltiplas peças. De qualquer forma, a opção por barras refrigeradas foi deixada como uma alternativa para complementações futuras. Na Fig.Figura 7 são apresentados os dois módulos desenvolvidos isoladamente para melhor visualização.



**Figura 7 - Renderizações dos módulos de acoplamento (a) e cobre junta (b).**

Como verificado nas imagens da Fig.Figura 7, existe uma grande predominância de peças fabricadas via corte laser. Este processo, no contexto de desenvolvimento de protótipos, tende a ser extremamente versátil e relativamente barato (quando comparado a usinagem por exemplo). Em muitos casos, quando uma peça não pode ser decomposta em peças de geometria plana (como aquelas de possível fabricação via corte CNC (Controle Numérico Computadorizado)), ela pode ser híbrida, isto é, formada de peças usinadas mais simples e peças planas. Tais práticas dependem da cultura da organização e, logicamente, da disponibilidade e acessibilidade à recursos de fabricação.

### 3. TESTES E VALIDAÇÃO

Desde a fabricação e montagem do sistema de acoplamento, este já foi utilizado em dois desenvolvimentos, sendo um deles com o processo TIG e outro com o processo MIG/MAG. Como em ambos os casos a utilização do cobre junta não foi necessária, este módulo ainda não pode ser testado com soldagem. Foi realizado, no entanto, um teste de movimentação sobre uma seção de tubo, onde verificou-se que o sistema foi expandido como esperado e a barra de cobre acompanhou a curvatura interna do tubo. Quanto ao módulo de acoplamento, foi possível verificar seu desempenho em duas condições de extremos, sendo uma delas com um tubo de menor diâmetro e espessura, e outra com grande diâmetro e espessura, conforme a Fig.Figura 8.



**Figura 8 - Sistema sendo aplicado no acoplamento de seções de tubos de 560 mm (22") de diâmetro e 38,1 mm (1.1/2") de espessura.**

Nesta aplicação, em função do grande peso do tubo (cerca de 150 kg), foi utilizada uma talha para o suporte da seção livre durante o seu posicionamento e acoplamento. Para avaliação da robustez do equipamento em operação, antes da liberação do tubo pela talha, foram realizadas aferições das condições geométricas obtidas em várias posições da junta. Após a liberação da talha foram refeitas as medições para determinar se ocorreu alguma movimentação e qual foi sua ordem de grandeza. Averiguando-se com um paquímetro ao longo de 12 horas de ensaios não se identificou variações maiores que 0,5 mm.

Apesar do êxito obtido, foram verificadas oportunidades de melhoria, como: proteção dos fusos e guias para melhor manutenção da lubrificação e proteção contra respingos (já que em seções curtas o sistema não fica totalmente inserido no tubo); implementação de alça para transporte; sistema opcional para acionamento dos fusos via chave/torquímetro; reforço de algumas geometrias e alívio de peso em outras.

### 4. CONCLUSÕES

O sistema desenvolvido, com base nos testes e aplicações realizadas até então, atendeu os requisitos de projeto. Foi obtido um sistema versátil (aplicável a vários diâmetros) robusto e de baixo custo.

A faixa de operação foi definida para tubulações de diâmetros entre 406,4 mm a 609,6 mm (16 a 24 polegadas). O porte do equipamento destina-o para o uso em ambiente de laboratório, que, além de suprir a demanda interna quanto a um sistema simplificado, possibilita o confronto parcial com as funcionalidades e, conseqüentemente, tecnologias necessárias para sua operação. Com isso, é possível um passo intermediário rumo ao desenvolvimento de um sistema mais complexo e de maior responsabilidade.

O módulo de acoplamento utilizando dois conjuntos de oito mecanismos pantográficos dispostos radialmente e acionados por meio da ação centralizada de um fuso trapezoidal, foi selecionado pelo seu menor custo de fabricação e capacidade expansiva para atender as medidas do requisito de utilização. Para o controle da precisão de abertura foi utilizado um fuso trapezoidal que possibilita o acionamento manual, além de proporcionar um auto travamento ao

sistema. Para tanto foi utilizado um fuso de 30 mm e passo de 5 mm, acoplado ao volante por um conjunto de engrenagens com uma redução de três vezes promovendo o conforto necessário ao usuário para girar o volante e promover o acoplamento, com ou sem a utilização de sapatas, entretanto, nesta configuração não é possível que o usuário proceda com a desovalização da tubulação.

O dispositivo foi testado em ensaio de esforço de 12 horas de trabalho, apresentando uma variação máxima no posicionamento de 0,5 mm entre as primeiras e as últimas horas do ensaio.

O módulo para o sistema cobre junta, pela sua simplicidade, além de possibilitar um baixo custo de fabricação, favorece também uma eventual necessidade de refrigeração do cobre junta.

O conceito de modularidade empregado agilizou o processo de desenvolvimento do sistema, bem como, deverá permitir a futura adição de módulos complementares que se mostrarem necessários para diferentes aplicações. Adicionando funcionalidades como: sistema de deslocamento para movimentação em tubos de grande comprimento; sistema de monitoramento da raiz; sistema adicional de proteção gasosa (purga); além de sistemas de acionamento alternativos, pneumáticos, elétricos ou hidráulicos.

O conhecimento gerado no processo de projeto já vem sendo aproveitado para o desenvolvimento de sistemas com mecanismos análogos, como por exemplo, o sistema para soldagem interna de tubulações em desenvolvimento pela equipe do Labsolda, o qual, apesar de requerer que o acoplamento dos tubos seja feito externamente, necessita de sistema de fixação interna para sua devida operação.

## 5. AGRADECIMENTOS

Cabe o agradecimento primeiramente à FINEP pelo aporte de recursos financeiros para o projeto dentro do qual o desenvolvimento descrito foi realizado. Neste sentido, fica também o agradecimento à ANP/PRH-09 e ao CNPq que, por meio de bolsas de iniciação científica, subsidiaram a atuação de parte dos autores neste projeto.

## 6. REFERÊNCIAS

### Bibliografia

- Costa Filho, A. R. *Desenvolvimento de um Sistema de Seguimento de Junta que Utiliza o Próprio Arco como Sensor*. . Vol. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.
- Direne Filho, H., R. H. G. Silva, e J. C. Dutra. “Comparação do Processo MIG/MAG em Transferência por Curto-Circuito com Controle de Corrente (CCC) com o Processo STT na Soldagem de Passes de Raiz em Dutos.” *Conjuntura & Informação*, 2013: 06-13.
- Juvinall, R. C., e K. M. Marshek. *Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas*. Vol. 4ª. Rio de Janeiro: ABDR, 2013.
- Kinderman, R. M., R. H. G. Silva, e J. C. Dutra. “Desenvolvimento e Validação de Algoritmos para Emprego de Sensores na Soldagem Robótica Orbital do Passe de Raiz de Tubulações.” *Soldagem & Inspeção*, 2015.
- Maribondo, J. F. *Desenvolvimento de uma Metodologia de Projeto de Sistemas Modulares, Aplicada a Unidades de Processamento de Resíduos Sólidos Domiciliares*. Vol. Tese de Doutorado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
- Mendonça, F. K. *Evolução da Técnica de Seguimento de Junta via Sensoriamento do Arco para Operações de Soldagem em Posições Forçadas*. Vol. Dissertação de Mestrado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.
- Paes, L. E. S. *Soldagem TIG Orbital - Técnica de Alimentação Dinâmica da Arame Visando Aumento na Produtividade*. Florianópolis: Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2016.
- Pereira, M. *Metodologia de Projeto para Sistemas Mecânicos de Precisão Reconfiguráveis*. Vol. Tese de Doutorado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.
- Pigozzo, I. O. *Soldagem TIG Orbital: Otimização de Equipamentos e Prospecções Tecnológicas para Procedimentos de Passe de Raiz*. Florianópolis, SC: Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2015.
- Sartori, F. et al. “Avaliação de Raiz na Soldagem Orbital Mecanizada de Tubos Utilizando Diferentes Versões do Processo MIG/MAG com Curto Circuito Controlado.” *Congresso Nacional de Soldagem*, 2015, XLI ed.
- Viviani, A. B., J. C. DUTRA, N. G. BONACORSO, e R. H. G. SILVA. “Desenvolvimento de sistema para medição do volume de chanfros para soldagem utilizando tecnologia de medição a laser.” *Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*, 2014, VIII ed.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## MODULAR MECHANIC SYSTEM FOR PIPE COUPLING AND METAL PUDDLE SUPORT DURING WELDING PROCESS

Hellinton Direne Filho, [hellinton@labsolda.ufsc.br](mailto:hellinton@labsolda.ufsc.br)<sup>1</sup>  
João Facco de Andrade, [joao.facco@labsolda.ufsc.br](mailto:joao.facco@labsolda.ufsc.br)<sup>1</sup>  
Régis Henrique Gonçalves e Silva, [regis.silva@labsolda.ufsc.br](mailto:regis.silva@labsolda.ufsc.br)<sup>1</sup>  
Gean Gustavo Brum, [geanguto@hotmail.com](mailto:geanguto@hotmail.com)<sup>1</sup>  
Fernando Ruviano, [fernandoruviano@gmail.com](mailto:fernandoruviano@gmail.com)<sup>1</sup>

<sup>1</sup>LABSOLDA – Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica - Bloco B, CTC, Campus Universitário, Trindade - Florianópolis – SC, CEP: 88040-900 - Caixa postal: 476

**Abstract:** *The expansion of the national pipelines associated to the development of the industrial and extractive sector is subject to the availability of capital resources and mainly, specialized human resources. In this subject, the welding process, which is used to join sections of tubs that make up the ducts, tends to be the bottleneck in the production of these structures. This is due to the intrinsic complexity of these processes, allied to the dependence of skilled workforce, which for some time has been in scarcity in the national market. Thus, efforts to automate welding processes have great potential to contribute to the development of our industry. To reach this goal research and development on several fronts are necessary, focusing both on the processes themselves and on the equipment responsible for their execution and associated operations. One of the necessary equipment for the welding of ducts are the so-called line-up clamps, which have the function of correctly positioning the pipe ends to be welded. Such equipment has an even more important role when it is intended to automate the welding process, since the positioning obtained can determine the feasibility / quality of the procedure to be performed. In this context, the present work has the objective of present the development of an internal line-up clamp prototype, which was initially designed to operate in laboratory welding tests. In the end, a robust, low-cost and versatile system was obtained. The developed system met the design requirements based on the tests and applications performed. The knowledge acquired in the design process has been used for the development of devices with similar mechanisms.*

**Key words:** *welding, automation, pipelines, line-up clamps, backing.*