

# APLICAÇÃO DA TÉCNICA DA DUPLA CAMADA NA SOLDAGEM DE DUTOS EM OPERAÇÃO<sup>1</sup>

Michel Marino Kuchler<sup>2</sup>  
Ivan Guerra Machado<sup>3</sup>  
Giovani Dalpiaz<sup>4</sup>  
Ricardo Reppold Marinho<sup>5</sup>

## Resumo

O principal limitante da soldagem de dutos em operação é o elevado risco de trinca induzida pelo hidrogênio - TIH - devido às altas taxas de resfriamento envolvidas. Este trabalho tem por objetivo principal o estudo da técnica da dupla camada aplicada à soldagem de dutos em operação. Utilizou-se do estudo de Higuchi como ferramenta para a seleção das energias de soldagem. Foram realizados três tipos de soldagem. A primeira, para tornar possível a aplicação do estudo de Higuchi, constituiu-se na deposição de cordões simples nos tubos (*Bead on Pipe*), com passagem de água no tubo durante a soldagem. A segunda categoria de deposição foi a soldagem de dupla calha tal como é realizado nas atividades de reparo de dutos em operação. Numa terceira etapa, realizou-se a deposição cruzada de conjuntos de 3 passes com sobreposição de 50%. Todos os cordões de solda foram analisados por análise química, metalografia e medição de dureza. Com base nos resultados obtidos, a aplicação do método de Higuchi se mostrou eficiente para a seleção das melhores relações de energia de soldagem na aplicação da técnica da dupla camada. Estudos complementares ainda deverão ser realizados para a otimização das energias de soldagem utilizadas.

**Palavras-chave:** Soldagem de dutos em operação; Passe de revenimento.

## TEMPER BEAD TECHNIQUE APPLICATION ONTO IN-SERVICE WELDING PIPELINES

### Abstract

The greatest limitation of pipelines in-service welding is the risk of hydrogen assisted cracking due largely to the action of the accelerated cooling rate imposed to the weld. The foremost objective of this work was to study the effect of the temper bead technique applied to in service welding. The Higuchi methodology was then selected to determine de energy relations for the weld bead deposition sequence. Three types of welding had been made. The first one, in order to become possible the application of the study of Higuchi, consisted of several welding beads deposited onto existing pipes, with tap water flowing through the pipe during the welding. The second category of welding deposition was the conventional split sleeve welding like those used for pipeline repair. In the third stage of this work, a set of crossed welding deposition was used with 50% overlapping. All the welding beads were evaluated by chemical analysis, metallography and hardness. The temper bead technique has shown promising results. Complementary studies still have to be carried out in order to achieve the best welding performance.

**Key-words:** In-service welding; Temper bead technique.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> PETROBRAS/ABAST/REMAN/IE, michelmarino@petrobras.com.br, Eng. M.Sc.

<sup>3</sup> UFRGS/PPGEM/LS & TC, welder@ufrgs.br, Prof. Dr.

<sup>4</sup> PETROBRAS/CENPES/PDP/TMEC, giovani.dalpiaz@petrobras.com.br, Eng. Dr.

<sup>5</sup> PETROBRAS/CENPES/PDP/TMEC, reppold@petrobras.com.br, Eng. M.Sc.

## 1 INTRODUÇÃO

É em geral interessante que as técnicas de reparo de dutos possam ser realizadas sem a interrupção do escoamento dos produtos, caso contrario os custos dos reparos pode por vezes tornar-se inviável economicamente. Sob este ponto de vista, diversas técnicas foram desenvolvidas ao longo dos anos. A técnica empregada com maior frequência é a intervenção realizada por soldagem, devido a sua versatilidade, confiabilidade, e relativo baixo custo.

Ao se executar soldagens em dutos em operação, deve-se atentar a dois fatores: o risco de perfuração do duto pelo arco durante a soldagem e, o risco da ocorrência de trincas induzidas pelo hidrogênio. Quanto ao primeiro, procura-se determinar uma faixa segura para os parâmetros de soldagem através de simulações prévias das condições de resfriamento na junta, considerando-se o tipo de fluido, suas variáveis de escoamento e propriedades físicas. Já no segundo caso, procura-se eliminar um ou mais dos três requisitos mandatórios para a ocorrência do fenômeno, ou seja, os níveis de tensões residuais trativas na junta soldada, nível de hidrogênio difusível e, microestrutura suscetível. Como o controle de tensão residual na soldagem cujas taxas de resfriamento são elevadas é um tanto difícil, o problema é contornado trabalhando-se com processos de baixo hidrogênio e controlando-se as variáveis de soldagem, onde é possível reduzir os níveis de hidrogênio e evitar a formação de microestruturas susceptíveis, controlando o ciclo térmico.<sup>(1)</sup>

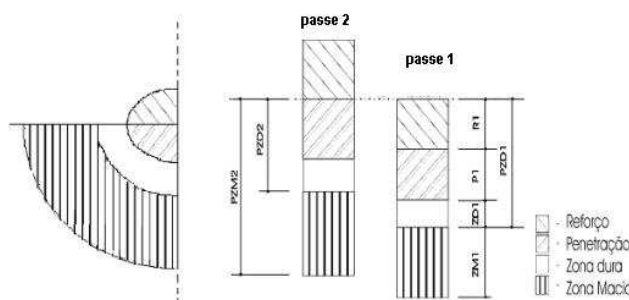
Uma das alternativas aos tratamentos térmicos pós soldagem para o controle das microestruturas na soldagem convencional é a aplicação da técnica da dupla camada, cujo princípio básico é por meio da interferência do calor gerado nos passes posteriores de solda, controlar as transformações microestruturais indesejadas dos passes anteriores. Das variantes dessa técnica, estudos conduzidos com a metodologia conhecida por método da deposição controlada mostrou-se eficaz e de simples aplicação na soldagem convencional, bastando para isso a escolha de parâmetros de soldagem adequados através de estudos prévios das características dos cordões de solda, o pioneiro desse tipo de estudo foi Higuchi.<sup>(2)</sup>

Este trabalho foca no estudo da técnica da dupla camada ou também denominada passe de revenimento por deposição controlada, aplicado à soldagem de dutos em operação, utilizando-se do estudo de Higuchi como ferramenta para a seleção das energias de soldagem entre os passes, tal como este foi aplicado na soldagem convencional por alguns pesquisadores.<sup>(3)</sup>

A técnica da dupla camada surgiu devido aos casos especiais em que a fragilização para a fluência e trincas por reaquecimento podem ser um problema em potencial durante a soldagem de reparo. A técnica consiste em um controle restrito na razão de energias de soldagem entre um passe e outro utilizando o processo SMAW – Shielded Metal Arc Welding.<sup>(4)</sup> Usualmente, recomenda-se utilizar razões de energia 1,3 a 1,8 vezes maiores que o primeiro passe, cujo intuito é produzir o refino de grão e o revenimento da ZAC – Zona Afetada pelo Calor - do primeiro passe. Estas razões de energia devem ser selecionadas e estudadas para cada material.<sup>(5)</sup>

Em 1980, Higuchi *et al.*,<sup>(2)</sup> publicaram um estudo acerca da metodologia da meia camada. Neste trabalho, é questionado se realmente a remoção da meia camada é um valor apropriado para se obter as melhores propriedades mecânicas da solda. A metodologia utilizada por Higuchi consistiu na deposição de diversos cordões simples variando-se os parâmetros de soldagem como: corrente, velocidade,

diâmetro de eletrodo e posição de soldagem. Através de medidas dos perfis de microdureza dos diversos cordões e medidas diretas do reforço e penetração, Higuchi diagramou a geometria de cada cordão para posterior análise. A vantagem da metodologia empregada por Higuchi é o acesso fácil e rápido às extensões das diversas regiões dos cordões, no caso da combinação entre passes esta permite a seleção da combinação que resulte na melhora das propriedades da junta com maior eficiência. A Figura 1 e os critérios quantificados nas equações 1 e 2 ilustram como o teste de Higuchi é realizado.



**Figura 1.** Representação esquemática dos parâmetros de refino pela da técnica da dupla camada.

$$(i) PZM2 > PZD1; \quad (1)$$

$$(ii) PZD2 < R1 + P1; \quad (2)$$

Onde:

PZM2: profundidade da zona macia da segunda camada;

PZD1, PZD2: profundidade da zona dura da 1ª e 2ª camada respectivamente;

R1: altura do reforço da primeira camada;

P1: profundidade de penetração da primeira camada.

O atendimento do critério (i) (Eq. 1), garante que o calor que alcança uma profundidade definida por PZM2 seja suficiente para promover o revenimento da zona dura da primeira camada, enquanto que o atendimento do critério (ii) (Eq. 2) garante que a zona dura da primeira camada não será retemperada, onde a zona fundida da primeira camada é quem será austenitizada.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

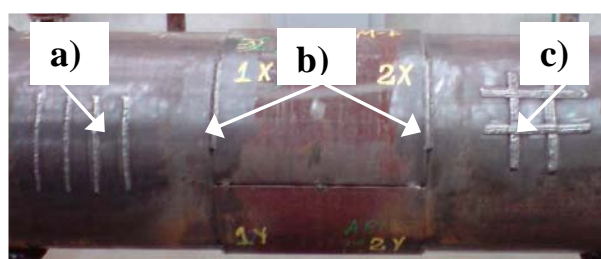
Como material base foram utilizados dois tubos API 5L Gr B, com diâmetro interno de 16" (406,4 mm) e espessura de 0,250" (6,35 mm). A composição química dos tubos está mostrada na Tabela 1.

**Tabela 1** – composição química dos tubos - % em massa

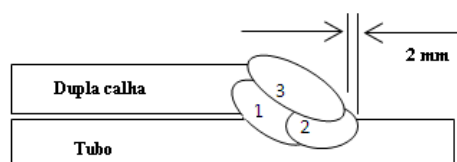
<b>Material A</b>									
C	0,122	Mn	0,865	Si	0,089	P	0,024	CE <sub>IIW</sub>	0,27
S	< 0,005	Cr	0,025	Ni	0,019	Mo	0,001	CE <sub>pcn</sub>	<b>0,17</b>
Al	0,017	Cu	0,008	Ti	0,004	V	0,002		
<b>Material B</b>									
C	0,156	Mn	0,995	Si	0,127	P	0,022	CE <sub>IIW</sub>	0,33
S	0,009	Cr	0,030	Ni	0,012	Mo	0,001	CE <sub>pcn</sub>	<b>0,21</b>
Al	0,059	Cu	0,010	Ti	0,004	V	0,002		



Neste estudo foram realizados três tipos de soldagem, em todos os casos manual. A primeira, para tornar possível a aplicação do estudo de Higuchi, constituiu-se na deposição de cordões simples nos tubos (Bead on Pipe) em quatro níveis de energia, distanciados de 50 mm entre um cordão e outro (Figura -a). A segunda categoria de deposição consistiu na soldagem circunferencial da dupla calha ao tubo (Figura -b) tal como é realizado nas atividades de reparo de dutos. Salienta-se que em todos os cordões de solda realizados neste trabalho foi mantido fluxo interno de água para garantir uma maior taxa de resfriamento do que qualquer hidrocarboneto.<sup>(1)</sup> Foram realizadas soldas com diversas combinações de energia para posterior validação dos critérios de Higuchi, sendo que nos passes 1 e 2, utilizou-se valores iguais de energia. A configuração dos passes é mostrada na Figura 3. Na terceira etapa, para análise complementar, realizou-se a deposição cruzada de conjuntos de 3 passes com sobreposição de 50% (Figura -c), combinando os valores de maior e menor energia. Optou-se por variar a energia de soldagem mudando-se apenas a corrente de soldagem, mantendo-se portanto, a velocidade de soldagem fixa. Os valores de corrente foram selecionados de forma que estivessem dentro dos limites recomendados pelo fabricante dos eletrodos (Böhler E7018 - 3,2 mm). A posição de soldagem de todos os cordões avaliados neste trabalho foi a vertical ascendente. Na Tabela 2, são apresentados os parâmetros de soldagem médios usados neste trabalho. A fonte usada nesse estudo foi a XMT 350 CC/CV, marca Miller.



**Figura 2** - Sequência de experimentos; a) Cordões simples; b) soldagem da dupla calha; c) sobreposição de cordões



**Figura 3** – Sequência de soldagem da dupla calha.

**Tabela 2**– Parâmetros de soldagem

Configuração	V (volts) <sup>1</sup>	I (A)	Vel (mm/s)	E (kJ/mm)	Vazão de água (m3/h)	Temperatura da água (°C)
E1	21	80	2	0,8	8	28
E2	22	100	2	1,1	8	28
E3	23	120	2,3	1,2	8	28
E4	24	130	2,3	1,3	8	28

Para a identificação das diferentes regiões das seções das soldas, necessárias para o dimensionamento e caracterizações de dureza, amostras foram submetidas à preparação metalográfica. As seções foram retiradas a 25 mm do início e 25 mm do fim do cordão para os cordões *bead on pipe*, conforme ilustrado na Figura 4 e para soldagens da dupla calha na seção mediana dos cordões, cujo comprimento foi determinado pela deposição de um eletrodo completo. Para análise da sobreposição de passes, as seções foram feitas conforme o Corte A-A indicado na Figura 5.

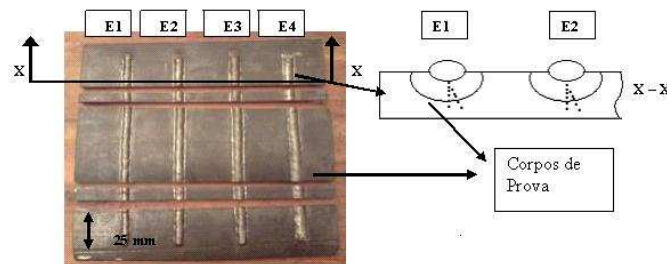


Figura 4 – Esquema de corte dos cordões simples para caracterização de dureza.

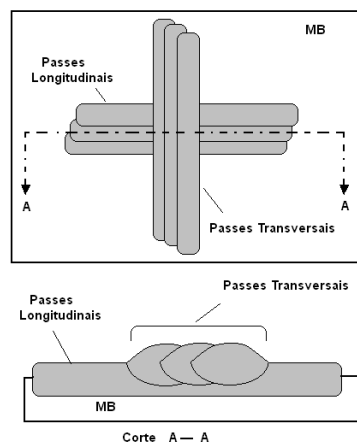


Figura 5 – Esquema de corte para análise da sobreposição de passes.

Amostras foram submetidas ao lixamento e polimento, com posterior ataque em nital 2% por cerca de 25 s a 30 s. Medições do reforço e penetração da solda foram realizadas com auxílio de um estereoscópio. A identificação e delimitação das diferentes regiões da ZAC foi realizada mediante aos perfis de microdureza e análise de imagens. Em cada corpo de prova foram levantados dois perfis de microdureza, sendo que como resultado da medida foi tomado a média entre os dois valores. Para as medições de dureza, utilizou-se um microdurômetro Shimadzu HMV-2. As indentações foram distanciadas de 0,2 mm entre uma e outra, sendo a primeira medida realizada exatamente em cima da linha de fusão. A carga utilizada foi de 0,1 kgf (0,980N). Para caracterização de dureza nos passes de solda sobrepostos, foram feitas medições em nuvens de pontos ao longo da ZAC. A Figura 5 ilustra o corte feito nesse grupo de cordões.



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 Estudo de Higuchi

A

Figura 6-a) e

Figura 6-b), apresentam graficamente os resultados das medidas de dureza da seção transversal dos cordões simples depositados no tubo A. A

Figura 6-c) e

Figura 6-d), ilustram graficamente as diferentes regiões da ZAC delimitadas a partir das medidas de dureza mostrados no gráfico da

Figura 6-a) e

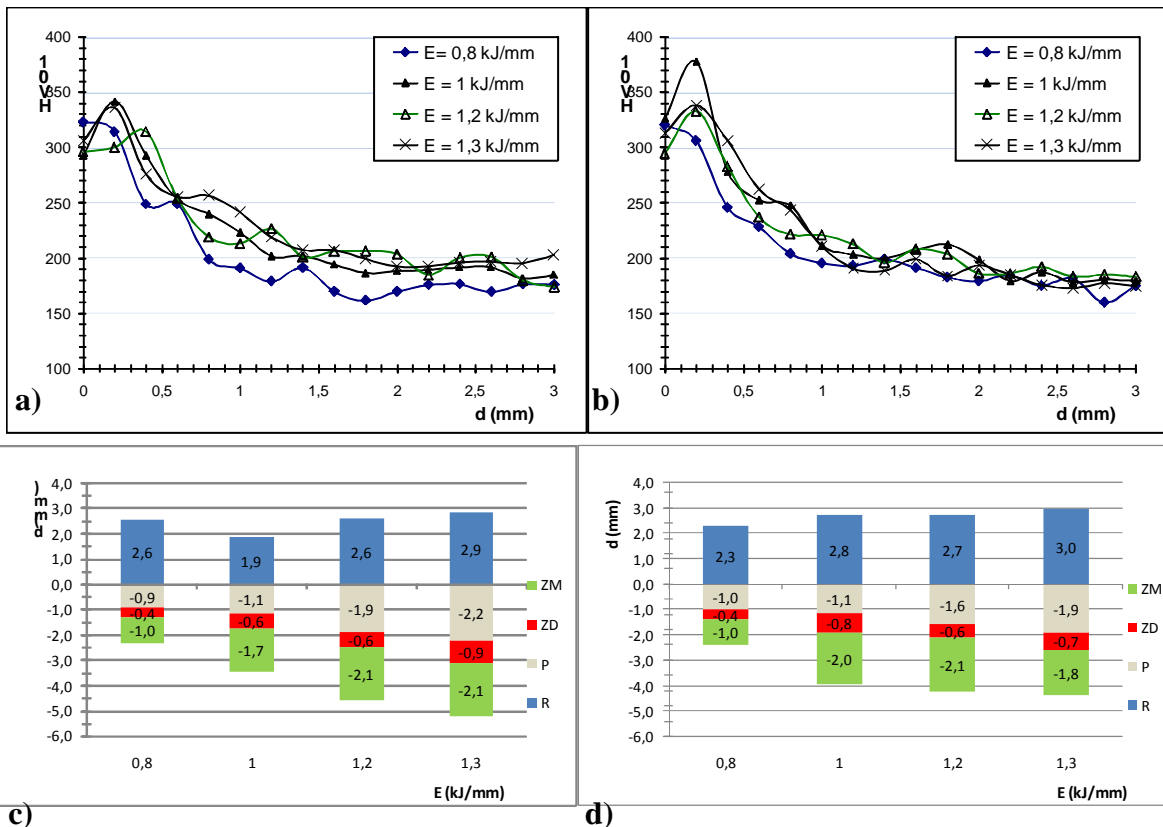
Figura 6-b) respectivamente.

Neste estudo, foi tomado como limitantes das diferentes zonas da ZAC os seguintes valores de dureza:

Zona Dura – Valores > 250 HV<sub>0,1</sub>

Zona Macia – Valores entre 250 HV<sub>0,1</sub> e 190 HV<sub>0,1</sub>

O Valor de 350 HV<sub>0,1</sub> geralmente é utilizado como limite inferior da Zona Dura. Porém como neste estudo trabalhou-se com materiais de baixo CE, utilizou-se o valor de 250 HV<sub>0,1</sub>, haja visto que em equipamentos que trabalham na presença de H<sub>2</sub>S esse é o valor limite comumente usado.



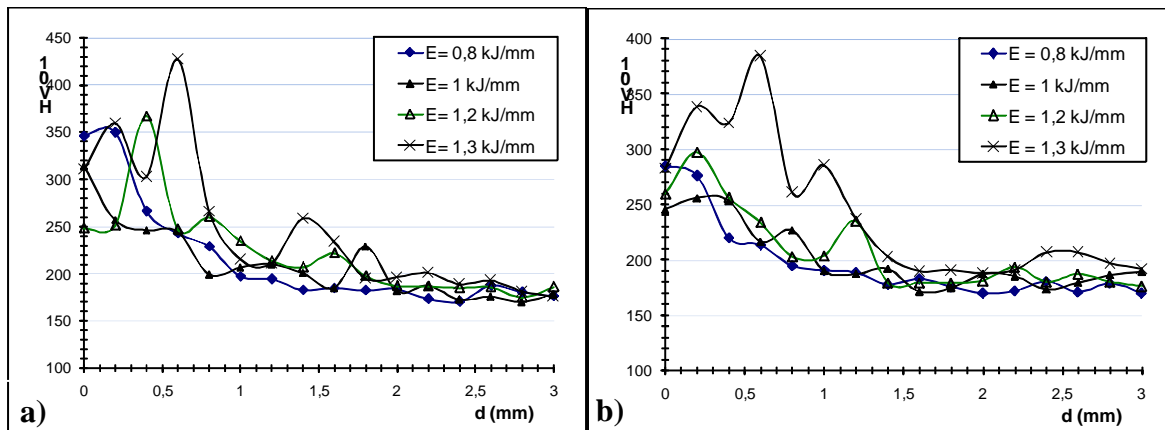
**Figura 6** – Perfis de dureza em todos os níveis de energia no tubo A; a) Início do cordão; b) Final do cordão; c) e d), diferentes regiões da ZAC do início e final do cordão respectivamente.

A partir da

Figura 6-a e

Figura 6-b, é possível observar que não houve diferenças significativas nos valores de dureza medidas em função da distância da linha de fusão para os diferentes níveis de energia de soldagem utilizados. Salienta-se que todos os cordões de solda foram feitos manualmente, sendo assim, existe uma certa dispersão de resultados em função do soldador.

A Figura 7-a) e Figura 7-b), apresentam os resultados para o tubo B.



**Figura 7** - Perfis de dureza em todos os níveis de energia no tubo B; a) Início do cordão; b) Final do cordão.

Diferente do observado no caso do tubo A, o tubo B apresentou diferenças significativas nos valores de dureza em relação aos diferentes níveis de energia de soldagem. Isto pode ser visto na Figura 7 –a) e Figura 7-b), os gráficos sugerem que nos dois maiores níveis de energia de soldagem, além de resultarem nos maiores valores de dureza, apresentam um segundo pico de dureza próximo a distância de 1,5 mm da linha de fusão no início do cordão e 1 mm no perfil obtido da secção do final do cordão. Com exceção ao pico de dureza no maior nível de energia do tubo B, não houve quase nenhuma diferença nos perfis de microdureza do tubo A e do tubo B. Isto já era esperado visto que os tubos possuem uma diferença pequena no percentual de carbono na sua composição (tubos são de mesmo grau), pois sabe-se que o que determina a máxima dureza na martensita é o percentual de carbono. A refrigeração da superfície interna do tubo pela água causa uma redução no tempo 800-500, o que deve fazer aumentar o valor de dureza na ZAC, quando comparado com a soldagem convencional. Porém, como foi observado para o tubo B uma dureza superior para maior energia de soldagem, acredita-se que seja devido a alta extração de calor pela água. Provavelmente, à medida que a energia de soldagem cresce, a partir de um certo nível de energia de soldagem a austenitização passe a ser mais efetiva o que favoreceria a formação de microestruturas mais duras no resfriamento. Além disso, uma maior temperatura de pico promove um maior aumento dos grãos austeníticos que favorece a temperabilidade.

A etapa mais importante do estudo de Higuchi aplicado à técnica do passe de revenimento por deposição controlada consiste em cruzar informações das geometrias dos cordões de modo a satisfazer plenamente todos os requisitos das

Eq. 1 e Eq. 2. Para facilitar esta etapa, trabalha-se com as equações reordenadas como mostrado nas Eq. 3 e Eq. 4.

$$(i) \text{ PZM2-PZD1} > 0 \quad (3)$$

$$(ii) (R1+P1) - \text{PZD2} > 0 \quad (4)$$

Um diagrama pode ser montado com os resultados de todas as combinações plotadas em séries classificadas pelas energias de soldagem do primeiro passe como função da energia do segundo passe. As combinações cujos resultados sejam maiores que zero, satisfazem os requisitos das equações, ou seja, nestas combinações pode se esperar que haja um eficiente revenimento das zonas duras do passe anterior. Com a correta seleção das sequências de deposição e das energias de soldagem, espera-se atender adequadamente os requisitos de revenimento dos passes anteriores durante a maior parte do tempo na execução das soldagens. Trabalhou-se com os perfis médios de dureza entre os valores medidos no início e final do cordão.

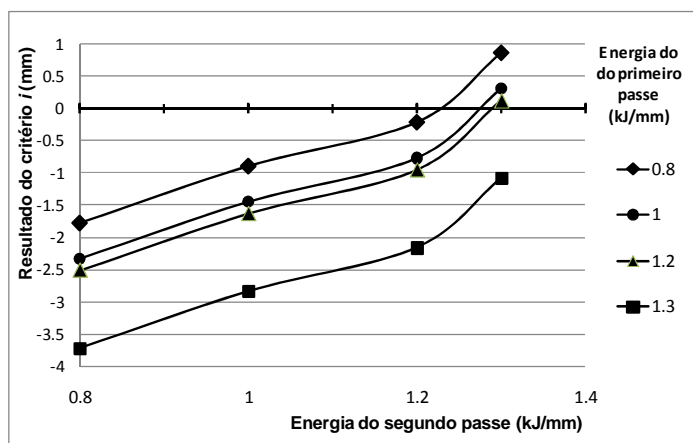
A Tabela 3 contém os resultados das combinações de energias de soldagens segundo o critério de Higuchi (Eq. 3 e Eq. 4) com os valores obtidos neste trabalho, nesta tabela estão destacados os valores cujos critérios resultaram positivo.

**Tabela 3** – Resultados das combinações de energias de soldagem

E passe 1 (kJ/mm)	Tubo A				Tubo B			
	Critério i) PZM2-PZD1>0 (mm)				Critério i) PZM2-PZD1>0 (mm)			
0,8	-1,55	-0,52	0,21	0,71	-1,77	-0,89	-0,21	0,865
1	-1,89	-0,86	-0,13	0,37	-2,33	-1,45	-0,77	0,305
1,2	-2,73	-1,7	-0,97	-0,47	-2,515	-1,635	-0,955	0,12
1,3	-3,545	-2,515	-1,785	-1,285	-3,715	-2,835	-2,155	-1,08
	Critério ii) (R1 + P1 - PZD2 >0) (mm)				Critério ii) (R1 + P1 - PZD2 >0) (mm)			
0,8	2,05	1,57	1,09	0,54	2,47	1,74	1,41	0,735
1	2,09	1,61	1,13	0,58	3,08	2,35	2,02	1,345
1,2	3,055	2,575	2,095	1,545	3,115	2,385	2,055	1,38
1,3	3,645	3,165	2,685	2,135	3,665	2,935	2,605	1,93
	0,8	1	1,2	1,3	0,8	1	1,2	1,3
	E passe 2 (kJ/mm)				E passe 2 (kJ/mm)			

A partir da Tabela 3 é possível concluir que a seleção da melhor configuração de energia está limitada ao critério *i*, pois no critério *ii* todas as combinações resultam em valores positivos. O critério *ii*, apenas certifica-se que a zona dura do segundo passe não se sobreponha à zona dura do primeiro passe, nos casos estudados, as proporções dos reforços do cordão de solda em relação às outras dimensões garantem que isso não aconteça. Para auxiliar nas tomadas de decisões com a seqüência e relações ótimas de energia de soldagem dos passes, como mencionado anteriormente, pode-se visualizar graficamente as combinações. A Figura 8 apresenta o diagrama de decisão segundo o critério *i* de Higuchi para o tubo A.





**Figura 8** – Diagrama de decisão de acordo com o critério *i* de Higuchi para o tubo A.

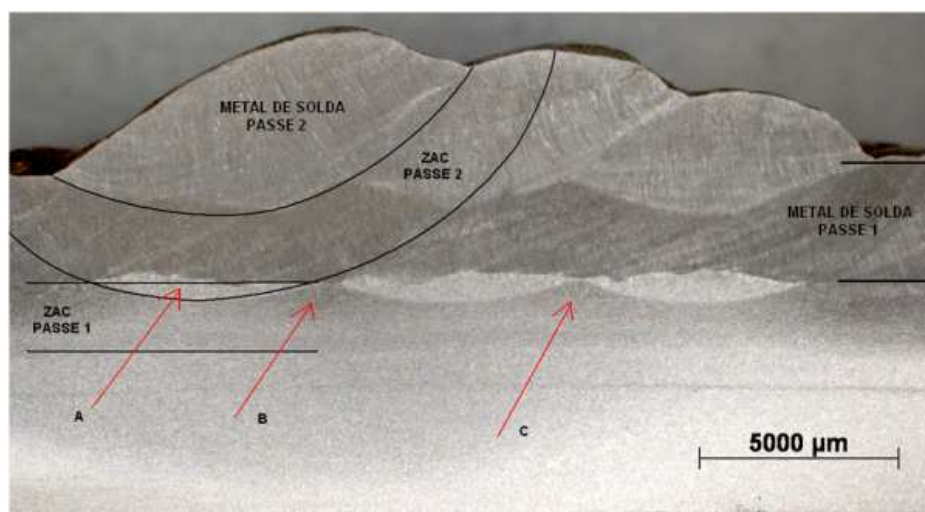
Pelo diagrama da Figura 8, pode-se concluir que apenas três condições satisfazem os requisitos exigidos para que haja um efetivo revenimento das zonas duras dos passes anteriores, são elas:

- primeiro passe com energia de soldagem de 0,8 kJ/mm e segundo com 1,3 kJ/mm;
- primeiro passe com energia de soldagem de 1 kJ/mm e segundo com 1,3 kJ/mm; e
- primeiro passe com energia de soldagem de 1,2 kJ/mm e segundo com 1,3 kJ/mm.

A relação de sempre a maior energia de soldagem para o segundo passe, fica fácil de ser entendida olhando-se para a equação 1, critério *i* de Higuchi. Pois para que a relação seja satisfeita, o alcance da zona macia da ZAC do segundo passe dever ser suficiente para transpor o reforço e penetração do primeiro passe, em outras palavras, este alcance é maior quanto maior a energia de soldagem empregada. Pode ser visto pelo gráfico da Figura 88 que quando as relações inversas de energia são empregadas, estas resultam em um afastamento negativo maior em relação ao eixo central, condição mínima para aceitação do critério. Para o tubo B, como era de se esperar, os resultados são muito semelhantes aos apresentados pelo tubo A, a relação ótima entre as energias de soldagem se deu mantendo-se a mínima energia no primeiro passe e máxima energia no passe seguinte. Vale ressaltar que nem sempre as relações de energias de soldagem seguem esta tendência. Isto depende das variáveis de soldagem empregadas, como por exemplo, a velocidade, corrente e posição de soldagem, além do metal base.

### 3.2 Sobreposição de Cordões de Solda

Para essa etapa do trabalho foram aplicadas as relações de mínimas e máximas energias para o primeiro e segundo passe respectivamente, melhor combinação obtida no teste de Higuchi. Foram realizadas, nesta etapa, sobreposições de conjuntos de passes de solda cruzando-os transversalmente. A Figura 9, apresenta a vista em corte da sobreposição transversal dos conjuntos dos passes com energia de 0,8 kJ/m e 1,3 kJ/m para o primeiro e segundo conjunto respectivamente.



**Figura 9** – Vista em corte de passes de solda sobrepostos, metal base tubo B. Vista transversal (segundo passe) com energia de soldagem de 1,3 kJ/mm. Vista longitudinal (primeiro passe) com energia de soldagem de 0,8 kJ/mm.

Na Figura 9, o ponto indicado pela seta “A”, representa claramente as sobreposições da ZAC do segundo passe na região mais crítica da ZAC do primeiro passe, ou seja, regiões próximas a linha de fusão onde ocorrem as maiores durezas. Neste ponto pode ser visivelmente comprovado o atendimento do critério “i” do estudo de Higuchi (Eq. 1). Já os pontos destacados por “B” e “C”, o mesmo critério não foi atendido. Como já era esperado, conforme visto por meio do diagrama de decisão, o atendimento ao critério “i” de Higuchi se deu muito próximo ao limite, o que aumenta as chances do surgimento de regiões não revenidas.

Medidas de dureza realizadas nas regiões indicadas na Figura 9 por “A”, “B” e “C” comprovam o que foi colocado com relação ao atendimento do critério de Higuchi, embora com uma pequena diferença nos valores de dureza nos diversos pontos. No entanto vale lembrar que os valores de dureza obtidos com energias de soldagem de aproximadamente 0,8 kJ/mm já são naturalmente baixos. Na Tabela 4, constam os resultados das medidas de dureza realizadas nos mencionados pontos, pode-se observar no valor médio de dureza que o ponto “A”, o valor é um pouco menor que nos outros pontos, reforçando a tese de que neste ponto houve efetivamente mudanças benéficas na microestrutura quanto às propriedades de dureza. Foram obtidos valores de dureza mais elevados no metal de solda para essa condição de soldagem de alta taxa de resfriamento.

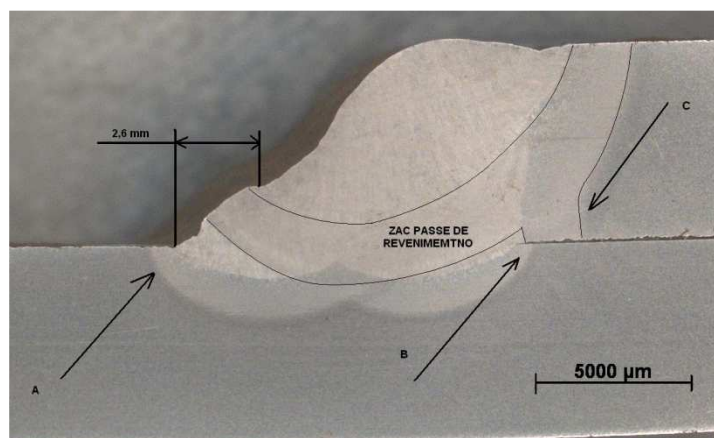
**Tabela 4** – Resultado das medidas de dureza nos pontos indicados na Figura 9 em cordões de soldas sobrepostos no tubo B

Local	Valor de dureza (HV0,1)							Valor médio
A	217	201	210	209	226	204	196	209
B	232	260	227	196	241	237	254	235
C	245	274	239	234	221	268	277	251
MS 1	271	309	278	330	304	338	334	309
MS 2	310	328	305	328	310	323	304	325

### 3.3. Junta Soldada - Dupla Calha

A junta entre dupla calha e tubo, também foram executadas seguindo as relações entre mínima e máxima energia de soldagem para o primeiro e segundo passe. Como visto anteriormente no estudo de sobreposição de passes de solda,

mesmo com a relação mais favorável de energia de soldagem, não foi possível alcançar plenamente o objetivo desejado, que é revenir toda a região crítica da ZAC do passe anterior. A Figura 2 mostra a macrografia da seção transversal da junta tubo/dupla calha já com a soldagem executada conforme os critérios de energia selecionados.



**Figura 2** – Seção transversal da junta tubo - dupla calha, tubo B. Relações de energia de soldagem entre os passes 0,8/0,8/1,3 (kJ/m)

Notar na Figura 2 as regiões indicadas por “A” e “B”, são duas regiões críticas quanto à dureza que não sofreram influência significativa do último passe, que além de preencher o restante da junta tinha a função de revenir os passes anteriores. Embora a distância entre a margem do cordão da primeira camada em relação a margem do segundo passe tenha sido maior que 2 mm (2,6 mm como indicado na figura 11), observa-se que nem mesmo com 2 mm não se teria a região “A” como uma região completamente revenida.

#### 4 CONCLUSÕES

A aplicação do método de Higuchi se mostrou eficiente para a seleção das melhores configurações de energia de soldagem na aplicação da técnica da dupla camada aplicada a soldagem em operação. Com base nos resultados experimentais obtidos, foi observado, em alguns casos, um aumento nos valores de dureza com o aumento da energia de soldagem. Para geometrias mais complexas como a dupla calha foram observados pontos onde o segundo passe não alterou a ZAC do primeiro, o que indica que a aplicação da dupla camada deve ser aplicada com atenção quando no reparo de dutos em operação. Isso é principalmente observado quando são obtidas margens muito estreitas segundo os critérios do estudo de Higuchi.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Petrobras, por fomentar este trabalho, disponibilizando o tempo e os recursos necessários. Um agradecimento especial à Transpetro, por disponibilizar as instalações físicas necessárias à realização dos trabalhos de soldagem.

#### REFERÊNCIAS



- 1 BRUCE, W.A. Procedure Qualification for Welding Onto In-Service Pipelines, API Pipeline Conference, Dallas, American Petroleum Institute, Washington D.C., April 1991
- 2 HIGUCHI, M., SAKAMOTO,H., TANIOKA, S.,A. Study on Weld Repair Through Half Bead Method. IHI Engineering Review. V.13, april/1980
- 3 SILVA, C.C. *et all*. Evaluation of AISI 4140 Steel Repair Without Post-Weld Heat Treatment. Journal of Materials Engineering and Performance. Springer New York, Volume 18, Number 3 / April, 2009. Pg 324-331
- 4 LUNDIN. C – Controlled deposition welding. Conf. “Repair Welding and serviceability”, San Diego, Ca., USA., Jan. 2001, PVRC, NY, USA
- 5 WTIA – Temper Bead Welding. Technical Note -TGN-PE-02 - March 2006