

# ELIMINAÇÃO DA ETAPA DE PREAQUECIMENTO PARA SOLDAGEM DO AÇO UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO DE QUILHA RETRÁTIL

Conceição, Fábio<sup>1</sup>

## Resumo

O objetivo deste artigo é apresentar, de forma simples e objetiva, a escolha dos parâmetros de soldagem que eliminaram a etapa de preaquecimento do aço ASTM A 131 AH 32, utilizado na fabricação da quilha retrátil do veleiro KAT, da Família Schurmann, construída no SENAI Itajaí SC. Sendo a quilha uma das partes mais importantes do veleiro, visto que a navegação é praticamente impossível sem ela, fez-se necessário esta análise através de cálculos específicos, utilizados em conjunto com tabelas, tendo em vista que a falha na análise de preaquecimento pode trazer consequências catastróficas. Dada a dimensão dos esforços que a quilha iria suportar, fez-se necessária a correta escolha dos parâmetros de regulação no processo de soldagem, buscando evitar, assim, a formação de trincas por hidrogênio. Foi utilizada uma pesquisa aplicada, que, ao final, demonstrou não ser necessário a etapa de preaquecimento, mesmo com um carbono equivalente de 0,56%, devido à entrada de energia de 0,92 KJ/mm, avanço da soldagem de 5 mm/s e um consumível com hidrogênio difusível menor que 5 ml/100 g.

\*\*\*

1 Especialista, e-mail:  
fcinspetor@gmail.  
com

\*\*\*

Palavras-chave: Quilha Retrátil. Preaquecimento. Trinca por Hidrogênio.

# 1 INTRODUÇÃO

São muitos os aços utilizados neste tipo de construção. Na fabricação do casco, como em diversas partes estruturais, pode-se citar o aço ASTM A 131 em diversos graus: A, B, C, D, E, para aplicação estrutural e graus AH32, DH32, AH36, DH36, EH32 e EH36, para qualidade estrutural de alta resistência, sendo os graus AH DH e EH os mais indicados para embarcações de grande porte, onde a redução de peso é fundamental (GERDAU, 2015).

UM GRANDE PROBLEMA A SER ANALISADO ANTES DA SOLDAGEM É A POSSIBILIDADE DE FORMAÇÃO DE TRINCAS POR HIDROGÊNIO (TRINCAS A FRIO), FORMADAS PELA DIFUSÃO DO HIDROGÊNIO NO MOMENTO DA FUSÃO DE ALGUNS AÇOS, PRINCIPALMENTE QUANDO O VALOR DO CARBONO EQUIVALENTE ESTÁ ACIMA DE 0,40% (BARRA, 2013).

Devido às dimensões da quilha, os esforços que irá sofrer e sua importância, tornou-se necessária a análise da soldagem, se necessitaria da etapa de preaquecimento ou se a escolha adequada dos parâmetros de regulagem dispensaria essa etapa, o que traria mais velocidade e economia na fabricação da quilha.

Durante a etapa de soldagem, o hidrogênio é absorvido pela poça de fusão, difundindo-se no aço de forma rápida, atingindo a zona fundida e, principalmente, a termicamente afetada, sendo a última fragilizada pela sua presença. Como o

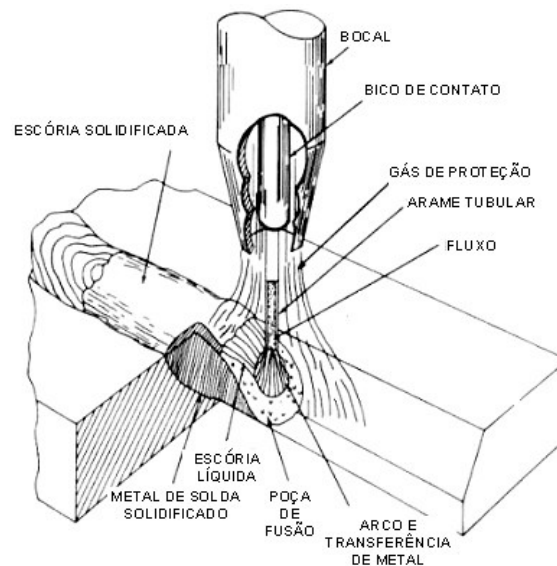
processo de soldagem produz tensões, residuais e externas, pode ocorrer a formação de fissuras (MODENESI, 2006).

Soldagem “[...] é um processo de fabricação, do grupo dos processos de união, que visa o revestimento, a manutenção e/ou a união de materiais, em escala atômica, com ou sem o emprego de pressão e/ou com ou sem a aplicação de calor.” (BARRA, 2015).

O processo de soldagem adotado para a fabricação da quilha foi o FCAW (*Flux Cored Arc Welding*).

O processo Arame Tubular (FCAW – Flux-Cored Arc Welding) é um processo de soldagem, por fusão, caracterizado pela abertura e manutenção do arco elétrico entre o metal de base (poça de fusão quando em regime) e o metal de adição (arame contínuo, no formato tubular, preenchido com uma apropriada combinação de elementos químicos “fluxo”). O processo alia determinadas características do processo MIG/MAG (continuidade na alimentação do arame) e do processo Eletrodo Revestido (possibilidade de manipulação da composição do fluxo). Em relação a proteção gasosa da região do arco, o processo pode ser classificado como autoprottegido (parte do fluxo terá a função de formação da coluna gasosa) ou com proteção gasosa (uso de proteção externa de gás, suprida com pressão e vazão adequadas). Assim como nos demais processos de soldagem ao arco elétrico, a proteção gasosa é justificada na necessidade de, ao mesmo tempo, viabilizar a proteção da gota metálica e da poça de fusão contra a atmosfera vizinha ao arco voltaico e, além disso, auxiliar na formação e manutenção do arco elétrico. (BARRA, 2015).

Figura 1: Processo de soldagem FCAW



Fonte: Fontes (2004)

A escolha do processo FCAW justifica-se pela alta taxa de deposição e alto rendimento, possibilitando parâmetros de soldagem elevados, além da possibilidade de utilizar consumíveis com baixo teor de hidrogênio difusível (FONTES, 2004).

Para este artigo, foi realizada uma pesquisa aplicada, desenvolvida durante a construção da quilha retrátil do Veleiro KAT - Família Schurmann, tendo como objetivo demonstrar o procedimento adotado para análise da necessidade da etapa de preaquecimento.

Optou-se por esse tipo de pesquisa pela oportunidade que a construção da quilha proporcionou, permitindo a elaboração deste artigo, visto que é pequena a literatura referente à construção de quilhas retráteis. Os dados foram coletados durante as etapas de construção, aplicando-se as normas BS EN 1011-2:2001 e N-133, para análise da necessidade de preaquecimento, além de pesquisa bibliográfica, para maior compreensão do problema.

## 2 TRINCAS POR HIDROGÊNIO

As trincas a frio, ou trincas por hidrogênio, são descontinuidades provocadas pelo aprisionamento do hidrogênio no momento da soldagem, uma vez que a solda, quando no estado líquido, dissolve uma quantidade considerável de hidrogênio, ficando saturada pelo mesmo.

Quando esta solda esfria, o hidrogênio tende a escapar, mas o metal solidificado oferece resistência, vindo a ocasionar as trincas (PETROBRAS, 1983; MODENESI, 2004). Este fenômeno pode ocorrer por horas após a soldagem, sendo aconselhada uma inspeção por ensaios após 48 horas (WAINER et al., 2004).

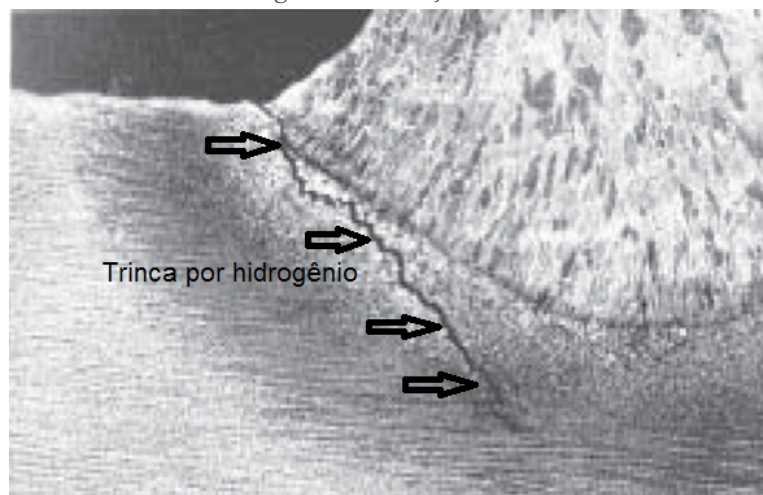
Segundo Woodtli (1999), um equipamento pode sofrer trincas por hidrogênio durante a sua etapa de utilização ou fabricação, através de processos metalúrgicos, como soldagem ou outros processos que utilizem altas temperaturas, onde a solubilidade do hidrogênio no metal é muito alta.

Os fatores que propiciam a formação de trincas a frio, segundo Petrobras (1983), são: microestrutura frágil, tensões residuais elevadas, hidrogênio aprisionado no metal fundido, temperaturas entre 100°C e 200°C.

No momento da soldagem, as principais fontes de hidrogênio são os revestimentos de eletrodos revestidos, fluxo interno dos arames tubulares, fluxo para soldagem por arco submerso, vapor d'água, que pode contaminar os gases de proteção no processo MIG/MAG ou TIG, metal base e consumíveis contaminados por tinta, sujeira, graxa, resíduos de líquidos desengraxantes, ferrugem, umidade do ar e hidrogênio proveniente da fabricação do aço (PETROBRAS, 1983; WAINER et al., 2004).

A figura 2 apresenta uma solda contendo uma trinca por hidrogênio:

Figura 2: Fissuração a frio



Fonte: Adaptado de Infosolda (2003)

## 2.1 Prevenção das Trincas por Hidrogênio

### 2.1.1 Presença do Hidrogênio

Durante o processo de soldagem, a atmosfera protetora do arco elétrico deve ter o menor teor possível de hidrogênio.

PARA ISSO, SÃO UTILIZADOS CONSUMÍVEIS COM BAIXO TEOR DE HIDROGÊNIO, QUE REQUEREM MEDIDAS CRITERIOSAS DE MANUSEIO, ARMAZENAGEM E SECAGEM, PRINCIPALMENTE QUANDO A UMIDADE RELATIVA DO AMBIENTE FOR ALTA (PETROBRAS, 1983).

No caso da soldagem por arco submerso, a secagem dos fluxos, embora menos necessária devido à grande entrada de energia proporcionada pelo arco elétrico, faz-se obrigatória no fluxo tipo básico (PETROBRAS, 1983).

### 2.1.2 Tensões Residuais

Durante a soldagem, as juntas sofrem tensionamento, elevando a concentração de hidrogênio nas extremidades dos entalhes, fazendo-se necessário o menor grau de restrição possível, principalmente se for levada em consideração a deformação plástica, através de movimentos discordantes (PETROBRAS, 1983).

### 2.1.3 Baixa Temperatura

Uma vez feita a análise da necessidade de preaquecimento, algumas medidas podem ser tomadas baseadas nos resultados obtidos, a

fim de manter a temperatura da solda em um nível que permita o escape do hidrogênio, como o uso do preaquecimento, pós-aquecimento ou controle da temperatura interpasse (PETROBRAS, 1983).

### 2.1.4 Microestrutura Susceptível

Tanto o preaquecimento, quanto o aumento da energia de soldagem são medidas que contribuem para a redução das trincas por hidrogênio, assim como a escolha correta dos consumíveis. O uso de dispositivos de fixação provisórias de montagem, os quais utilizam soldas provisórias, são considerados frequentemente como causadores de trincas (PETROBRAS, 1983).

## 3 CARBONO EQUIVALENTE E TEMPERATURA DE PRAQUECIMENTO

O uso do cálculo de Carbono Equivalente foi utilizado, a fim de fornecer informação valiosa para determinação da temperatura de preaquecimento.

Segundo Barra (2015), um aço com carbono equivalente menor que 0,40% não é suscetível à fissuração por hidrogênio, porém, quando ultrapassa este valor, exigirá técnicas especiais para sua soldagem, como a escolha de consumíveis com baixo teor de hidrogênio difusível e a possível necessidade de preaquecimento.

Existem várias fórmulas para seu cálculo, porém para o aço mencionado neste artigo utilizou-se o cálculo sugerido pelo IIW (*International Institute of Welding*), adotado pela norma BS EN 1011-2:2001, como também pela N-133, da Petrobras.

O cálculo é apresentado na Equação 1:

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \quad (1),$$

## 4 ENERGIA TÉRMICA DO ARCO – *HEAT INPUT*

Conforme o aumento da entrega térmica, a velocidade de arrefecimento de soldagem diminui. Sendo assim, quanto maior a energia térmica no arco elétrico, menor será a temperatura de preaquecimento (FUNDERBURK, 1999).

O efeito da entrada de calor na taxa de resfriamento é semelhante à da temperatura de preaquecimento. Tanto a entrada de calor ou o aumento da temperatura de preaquecimento, a taxa de refrigeração diminui para uma determinada espessura do metal de base. Estas duas variáveis interagem com outros, tais como espessura do material, calor específico, densidade e condutividade térmica, para influenciar a velocidade de arrefecimento. (FUNDERBURK, 1999, p. 2,3)

A energia térmica do arco é conhecida como *heat input* (energia de entrada), sendo obtida conforme a Equação 2:

$$E \left( \frac{Kj}{mm} \right) = \frac{\eta * V * A}{mm/s} * 10^{-3} \quad (2)$$

Onde:

$\eta$  = rendimento térmico do processo;

V = tensão do arco em volts;

A = intensidade do arco em amperes;

mm/s = avanço da soldagem em milímetros por segundo.

## 5 PREAQUECIMENTO

Em geral, os metais conduzem bem o calor. Como este calor é rapidamente dissipado, o seu resfriamento também ocorre de forma rápida, o que pode ocasionar regiões com microestruturas frágeis, fazendo-se necessário o uso do preaquecimento, com o objetivo de reduzir a taxa de resfriamento do metal, que pode variar de 50°C a 540°C, sendo comumente aplicado entre 150°C e 200°C (FONTES, 2005).

Para determinação da necessidade da etapa de preaquecimento, foram utilizados os valores e *heat input*, carbono equivalente e uso das normas BS EN 1011-2:2001 e N-133.

Entretanto, quando não é necessária a etapa de preaquecimento, a norma N-133 da Petrobras sugere uma temperatura mínima para a soldagem:

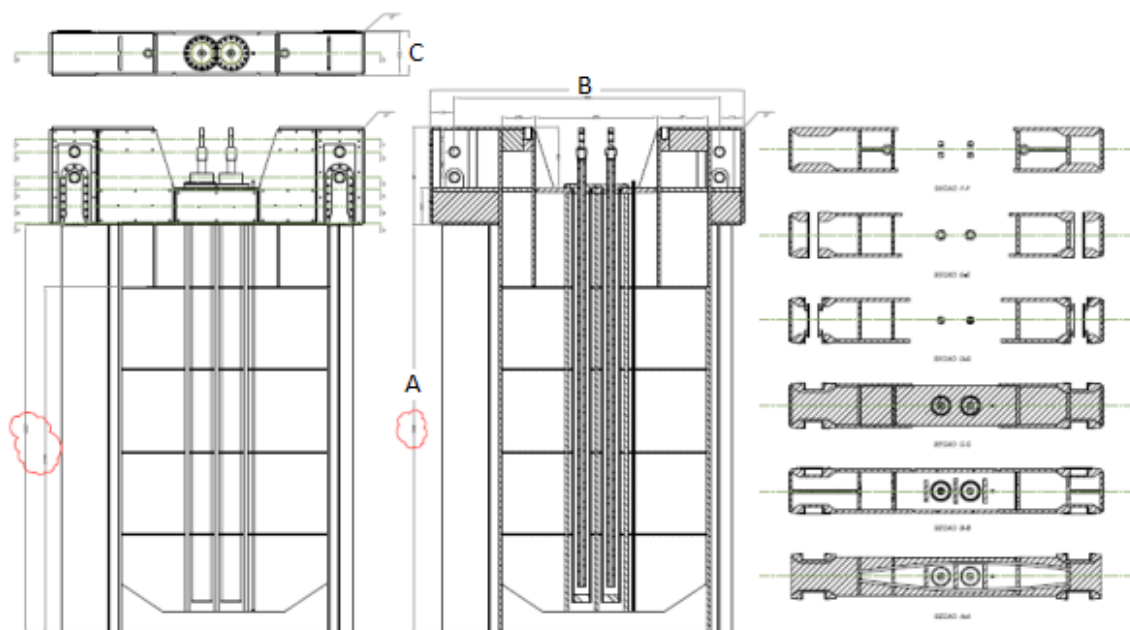
A soldagem não deve ser executada quando a superfície da peça, numa faixa de 150 mm, centrada na junta a ser soldada, estiver úmida ou abaixo da temperatura de preaquecimento estabelecida para o material conforme condições específicas na Seção 5. Caso o preaquecimento não seja requerido, a temperatura da superfície a ser soldada não pode ser inferior a 10°C, neste caso, a superfície deve ser reaquecida a 50°C ou conforme determinação contida na Seção 5. (PETROBRAS, 2013, p. 28).

## 6 QUILHA RETRÁTIL

A construção da quilha utilizou tecnologia do SENAI – Itajaí – SC, contando com a participação de quatro professores especialistas diretos e outros tantos indiretos, atuando em

áreas como: soldagem, caldeiraria, usinagem e inspeção. A Figura 3 apresenta um fragmento do projeto:

Figura 3: Fragmento do projeto da quilha



Fonte: Adaptado de Schurmann (2013)

A. Altura – 3557,00 mm;

Peso aproximado (sem o bulbo) – 3800 Kg;

B. Largura (medida da cabeça) – 2198,00 mm;

Peso aproximado (com o bulbo) – 17800 Kg.

C. Espessura (medida da cabeça) – 320,00 mm;

## 7 AÇO UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO DA QUILHA

Na construção da quilha retrátil do Veleiro KAT, foi utilizado o aço ASTM A 131 grau AH32. Trata-se de um aço estrutural de alta resistência, muito utilizado na área naval.

Sua composição química típica é apresentada na Tabela 1:

Tabela 1: Composição química do aço ASTM A 131, grau AH32

COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO AÇO ASTM-A 131							
Especif.	Faixa de Espessura (mm)	C (Max.)	Mn (Max.)	Si (Max.)	P (Max.)	S ax.)	Outros
AH32	6,0 ≥ e ≥ 51,0	0,18	0,90 a 1,60	0,10 a 0,50	0,04	0,04	
							Ni ≤ 0,40 Cr ≤ 0,25
							Mo ≤ 0,08
							Cu ≤ 0,35

Fonte: Adaptado de Gerdau (2015)

A espessura predominante foi 3/4" (19,05 mm). Por se tratar de aço contendo alguns elementos de liga, com um valor de carbono equivalente de aproximadamente 0,57% e com uma espessura considerável, foi necessário calcular a temperatura de preaquecimento. A imagem da Figura 4 ilustra a quilha finalizada.

Figura 4: Quilha pronta



Fonte: Do Autor (2014)



# 8 APLICAÇÃO DOS CÁLCULOS E TABELAS

Dados para aplicação das fórmulas:

Espessura da junta – 19,05 mm;

Processo de Soldagem – FCAW;

Parâmetro de regulagem (Tensão) – 24 V;

Parâmetro de regulagem (intensidade) – 240 A;

Velocidade da soldagem – Aprox. 5 mm/s;

Consumível – AWS E71T-5C (M), diâmetro 1,2 mm.

Gás de proteção – 100% CO<sub>2</sub>.

## 8.1 Carbono Equivalente do Aço ASTM A 131 AH32

Conforme os dados da tabela 1 e substituindo na equação 1 os percentuais de elementos químicos que constituem o material, tem-se:

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15}$$

$$C_{eq} = 0,18 + \frac{1,60}{6} + \frac{0,25 + 0,08 + 0,00}{5} + \frac{0,40 + 0,35}{15}$$

$$C_{eq} \cong 0,57$$

(1),

Obs.: Para a resolução do cálculo, foram utilizadas duas casas decimais.

## 8.2 Energia Térmica - Heat Input

Fazendo uso da equação 2 e considerando que o rendimento térmico do processo FCAW é 0,80, de acordo com Quites (2002), obtém-se a energia térmica associada ao processo de soldagem.

$$E \left( \frac{Kj}{mm} \right) = \frac{\eta * V * A}{mm/s} * 10^{-3}$$

$$E \left( \frac{Kj}{mm} \right) = \frac{0,80 * 24 * 240}{5} * 10^{-3}$$

$$E \cong 0,92 Kj/mm$$

(2),

## 8.3 Determinação da Temperatura de Preaquecimento

Para a determinação da temperatura de preaquecimento, foram utilizados critérios estabelecidos por norma. Segundo Fontes (2004), o nível de hidrogênio difusível com o uso do seu consumível AWS E71T-5C (M) é menor que 5 ml/100 g. Para a escolha da escala de hidrogênio, foi utilizada a Tabela 2.

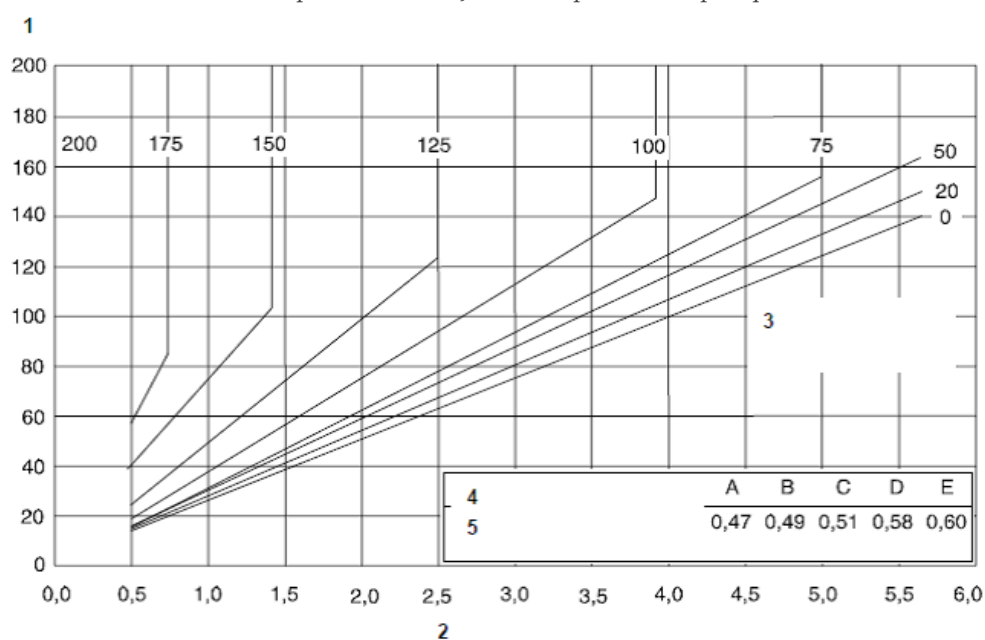
Tabela 2: Escala de hidrogênio difusível

Diffusible hydrogen content ml/100 of deposited metal	Hydrogen scale
> 15	A
10 ≤ 15	B
5 ≤ 10	C
3 ≤ 5	D
≤ 3	E

Fonte: BS EN 1011-2:2001 (2003)

Para determinação da temperatura de preaquecimento, foi utilizada a Tabela 3.

Tabela 3: Tabela para determinação da temperatura de preaquecimento



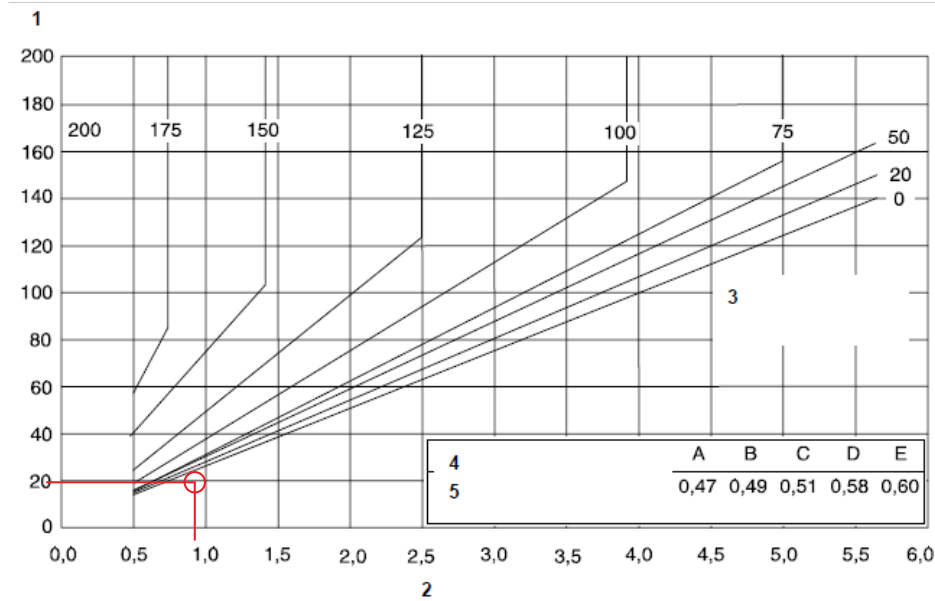
Fonte: BS EN 1011-2:2001 (2003)

Onde:

- 1 – Espessura da junta em mm;
- 2 – *Heat Input*, em KJ/mm;
- 3 – Temperatura mínima de preaquecimento, em °C;
- 4 – Escala de hidrogênio difusível;
- 5 – Carbono equivalente (não exceder o valor).

Com base nos valores fornecidos, encontramos, na tabela 4, a seguinte posição, identificada por um círculo.

Tabela 4: Tabela para determinação da temperatura de preaquecimento



Fonte: Adaptado de BS EN 1011-2:2001 (2003)

## 9 CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi apresentado o procedimento para a avaliação da necessidade da etapa de preaquecimento para soldagem do aço ASTM A 131 GRAU AH32, utilizado na construção da quilha retrátil do veleiro KAT – Família Schurmann.

De acordo com o resultado obtido, não é necessário preaquecimento. Este resultado foi alcançado devido ao valor do *heat input*, que foi de 0,92 KJ/mm, suficiente para aquecer a região soldada ao ponto de eliminar a necessidade da etapa de preaquecimento que, aliado à escolha correta do consumível e o avanço da soldagem, permitiram uma um valor de hidrogênio difusível inferior a 5 ml/100 g.

A determinação do uso ou não do preaquecimento dos aços é um fator muito importante, que deve ser avaliado com muita cautela, ainda

mais quando estes aços são aplicados a esforços extremos. Ignorar esta verificação pode comprometer todo o projeto, e, no caso da quilha em questão, que pesa 17.800 Kg, pode ser fatal.

De acordo com procedimento adotado, verificou-se que vários fatores devem ser levados em consideração, como parâmetros de soldagem, composição química do material de base e de adição e espessura do material.

Mesmo não sendo necessário o uso de preaquecimento, deve-se levar em consideração a temperatura mínima de 10°C, pois abaixo desta temperatura a chapa poderá apresentar umidade suficiente para proporcionar alguma descontinuidade na solda (PETROBRAS N-133, 2013).



# ELIMINATION OF PREHEATING STAGE FOR WELDING STEEL ASTM A 131 DEGREE AH32, USED IN CONSTRUCTION OF RETRACTABLE

## ABSTRACT

*The aim of this paper is to present, in a simple and objective way, the choice of welding parameters that eliminated the steel preheating step ASTM A 131 AH 32, used in the manufacture of retractable keel of the Schurmann family's KAT sailboat, built at SENAI Itajaí/SC. The keel is one of the most important parts of the sailboat, since the navigation is impossible without it, therefore, it became necessary the analysis through specific calculations, used in conjunction with tables, considering that the failure in the preheating analysis can cause catastrophic consequences. Given the extent of the efforts that the keel would support, it was necessary to choose, correctly, the parameters of control in the welding process, seeking to avoid the formation of cracks by hydrogen. An applied research was used and, at the end, demonstrated no need to preheating step, even with a carbon equivalent of 0.56% due to the power input of 0.92 KJ/mm, welding advancement of 5 mm/s and a consumable diffusible hydrogen with less than 5 ml/100 g.*

*Keywords: Retractable Keel.  
Preheating. Crack by hydrogen.*

## REFERÊNCIAS

AWS, **D 1.1 Código de Soldagem Estrutural – Aço**. 22. ed., American Welding Society, 2010.

AWS, **Jefferson's Welding Encyclopedia**. 18. ed., Robert L. O'Brien, 1997.

AWS, **Welding Handbook**. Vol. 1, 8. ed., American Welding Society, 1987.

BARRAS, Sérgio R. **Soldabilidade e Carbono Equivalente** (Ceq). Site da Soldagem, 2013. Disponível em: <<http://zip.net/bqtnyR>>. Acesso em: 21 out. 2015.

BSI, **BS EN 1011-2:2001 Welding: Recommendations for Welding of Metallic Materials. Part 2: Arc Welding of Ferritic Steels**. BSI, 2004.

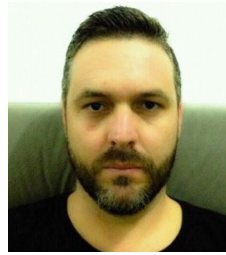
FONTES, Cleber. **Arames Tubulares**. São Paulo: ESAB, 2004.

\_\_\_\_\_. **Metalurgia da Soldagem**. São Paulo: ESAB, 2005.

FUNDERBURK, S. R. **Key Concepts in Welding Engineering**. Welding Innovation Vol. XVI, N° 1. 1999.

GERDAU, Comercial. **Aços Planos e suas Aplicações**. Disponível em: <<http://zip.net/bwtl8w>>. Acesso em: 21 out. 2015.

## SOBRE O AUTOR



### Fabio Conceição

Graduado em Gestão da Produção Industrial pela FATEC Internacional – Grupo Uninter (2011), pós-graduado em Engenharia de Produção pelo Grupo Uninter (2015), pós-graduando MBA em Administração e Qualidade – Grupo Uninter. Inspetor de Líquidos Penetrantes N2 ASNT – American Society for Nondestructive Testing (2014). Pesquisador da Metalurgia e Engenharia da Soldagem desde 1999, mesmo tempo em que atua na área. Atualmente é Especialista de Ensino pelo SENAI Itajaí SC, onde atuou como caldeireiro, soldador e inspetor de líquidos penetrantes na construção da quilha retrátil do veleiro KAT, da Família Schurmann.



MODENESI, P. J. **Soldabilidade dos Aços Transformáveis**. Belo Horizonte: UFMG, 2004.

PETROBRAS. **Norma n° 1737**: inspeção de soldagem - qualificação de pessoal. Módulo 06: metalurgia da soldagem. FBTS, 1983.

Petróleo Brasileiro SA. - PETROBRAS. **Norma N-133**: Soldagem. REV. L, PETROBRAS, 2014.

QUITES, A. M. **Introdução a soldagem a arco voltaico**. Florianópolis: Soldasoft, 2002.

THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY. **The Procedure Handbook of Arc Welding**. 12. ed. The Lincoln Electric Company, 1973, seção 12.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELO, V. O. **Soldagem, processos e metalurgia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.

WOODTLI, J.; KIESELBACH, R. **Damage due to hydrogen embrittlement and stress corrosion cracking**. Engineering Failure Analysis 7, 2000.

Data de recebimento: 04/08/2015

Data de aprovação: 29/07/2016