

## Estudo dos defeitos no processamento de soldagem por eletrodo revestido – um estudo de caso

Adevaldo de Souza Cruz<sup>1</sup>

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM

### Resumo

Com a necessidade de se obter uma maior qualidade e redução de custos no processo de fabricação de transportes fluviais, este estudo propõe a investigação dos defeitos ocorridos rotineiramente no processo de soldagem com eletrodo revestido, nas oficinas de pequeno porte na cidade de Manaus. O estudo utilizou três diferentes tipos de eletrodos, com três intensidades de correntes (baixa, média e alta) e simulou os procedimentos atualmente utilizados nestas oficinas, observando o processo de produção das soldas e os defeitos que ocorrem nas especificações metalúrgicas. Para tal, utilizou-se chapa naval de aço A-36 como metal de base e eletrodo revestido (Rutílico, Básico e Celulósico). A caracterização mecânica foi obtida através do ensaio de tração. Neste ensaio as amostras soldadas mostraram comportamento de fraturas localizadas que expressam especificações frágeis sem evidências da zona plástica, desta forma comprova-se a afirmativa de que a descontinuidade microestrutural gerado pela densidade das discordâncias produzem encruamento e limitações do escoamento, visível nas curvas de tração deformação resultante do ensaio realizado. As análises metalográficas das microestruturas nas juntas soldadas identificam o sentido do fluxo de calor, da esquerda para a direita, foram apreciadas as características disposta, combinadas de três imagens, correspondente a Metal depositado, constante de ferrita em veios de matriz ferrítica acicular e carbonetos. A região de granulação grosseira, junto à interface da Zona de Fusão, consta de ferrita acicular primária nos contornos de grãos e poligonal intergranular ou austeníticos e bainita susceptíveis a fratura. Na região da zona termicamente afetada (ZTA) observa-se a presença de ferrita alotriomofica nos contornos de grãos austeníticos e bainita. No metal de base observam-se perlita esferiodizada e carbonetos ferríticos características de chapas laminadas a quente. Por fim, como estudo futuro propõe-se a elaboração de uma manual de procedimentos a ser utilizado nestas oficinas de modo a sanar parte dos defeitos ocorridos nos procedimentos de soldagem com eletrodo revestido.

**Palavras-chave:** Soldagem; Eletrodos Revestidos; Propriedades mecânicas.

### Abstract

With the need to ensure high quality and cost reduction in the manufacturing of river transport process, this study proposes the investigation of defects occurring routinely in the welding process with coated electrodes, in small workshops in the city of Manaus. The study utilized three different types of electrodes, with three current intensities (low, medium and high) and simulated procedures currently used in these workshops, observing the process of producing the welds and defects that occur in metallurgical specifications. To this end, we used a steel ship plate A-36 as the base metal and coated electrode (rutile, Basic and Cellulose). This characterization was obtained by the tensile test. In this test the welded samples showed behavior of localized fractures that express fragile specifications without evidence of plastic zone in this way proves to claim that the microstructural discontinuity generated by the density of dislocations produce hardening and limitations of flow, visible in deformation draw curves resulting from the test performed. The metallographic analyzes of the microstructures in the welded joints identify the direction of heat flow from left to right, the prepared characteristics were assessed combined three images corresponding to deposited metal, ferrite constant shafts ferritic matrix acicular carbides. The region of coarse-grained, with the Fusion Zone interface, consists of primary acicular ferrite in grain boundaries and intergranular or polygonal austenitic bainite and susceptible to fracture. In the region of heat affected zone (HAZ) observed the presence of ferrite alotriomofica the contours of austenitic and bainite grains. The base metal can be observed ferritic carbides and pearlite esferiodizada features of the hot rolled sheet. Finally, as future study aims to draw up a manual of procedures to be used in these workshops in order to remedy of the defects occurring in the welding procedures with coated electrode.

**Keywords:** Welding; Coated electrodes ; Mechanical properties.

### I. Introdução

Atualmente na indústria metal - mecânica um dos principais objetivos é a busca da maior produtividade com o menor custo de fabricação. Neste âmbito, na área de soldagem têm sido utilizados vários processos dentre os quais o de soldagem por eletrodo revestido, também conhecido como SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*), que é um dos processos de união por soldagem mais utilizada no mundo.

<sup>1</sup> Mestrado Profissional em Engenharia Industrial pela Universidade Federal do Pará - UFPA.

O processo de soldagem com eletrodo revestido (SMAW) é um processo no qual a fusão do metal é produzida pelo aquecimento de um arco elétrico, mantido entre a ponta de um eletrodo revestido e a superfície do metal de base a ser soldada (Marques, 2009). Em função da aplicação de grande quantidade de energia sob a forma de calor surgem alterações das propriedades do material, nem sempre benéficas às propriedades físicas e metalúrgicas da junta soldada, tais como excesso de fusão, deformações plásticas, geração de fases Martensíticas e Bainíticas que fragilizam o material. Para Brandi (1998), o eletrodo revestido é formado por uma vareta metálica, denominada de alma, trefilada, que conduz a corrente elétrica e fornece o metal de adição para junta de soldagem. A alma é recoberta por uma massa formada pelas misturas de diferentes materiais, o qual apresentam diferentes funções na soldagem como aprimoramento da composição química do cordão pela adição de elementos de ligas, a proteção da zona fundida dos gases atmosféricos, agrega características operacionais, mecânicas e metalúrgicas ao processo e à junta soldada. (Leonello, 2005).

Segundo (Marques, 2009) durante a soldagem, o arco e a poça fundida são protegidos por uma atmosfera gasosa formada a partir da queima dos revestimentos dos eletrodos e da decomposição de seus constituintes, que muitas vezes formam um escória líquida de densidade menor que a do metal fundido, protegendo a poça fusão. Ao término da operação de soldagem a escória líquida se solidifica sendo que a mesma deve ser removida (Santos 1995). Os eletrodos são classificados segundo os compostos e a proporção que as materiais primas se encontram nos revestimento, sendo os principais Rutílico, Básico e Celulósico (Machado, 1996). Segundo Santos (1995) estes eletrodos possuem as seguintes características: Os eletrodos Rutílicos apresentam a alta proporção de Rutila ( $TiO_2$ ), caracterizando uma proteção essencialmente por escória, é de fácil acendimento e manutenção de arco, com pouco respingo, baixa e média penetração, acabamentos planos dos filetes de soldagem. Os eletrodos Básicos apresentam alta proporção de  $CaCO_3$  e  $CaF_2$ , gerando uma proteção mista (gases e escória), depósito de alta qualidade e baixo hidrogênio, valores próximos a 5 ml/100g, quando com secagem e conservação adequadas, escória de alta tensão superficial, favorecendo soldagens fora de posição, é aplicado em soldagens de alta responsabilidade, em estruturas rígidas, por possuir um mínimo de risco de fissuração a frio e a quente. Os eletrodos Celulósicos apresentam grandes quantidades de substâncias orgânicas (30 a 40% de  $C_6H_{10}O_5$ ), produz grandes quantidades de gases, caracterizando uma proteção essencialmente gasosa, alta tensão de arco, alta penetração e baixo volume de escória, acabamento do cordão ruim e muitos respingos..

Esse estudo em pequenas oficinas têm buscado minimizar os defeitos de fabricação na qualidade e produtividade de seus processos de fabricação, o que tem requerido o aprimoramento de técnicas avançadas de soldagem na construção de pequenas embarcações, oportunidade essa vislumbrada como motivadora para desenvolver este trabalho. Portanto, o que se pretende nessa pesquisa é propor a investigação dos possíveis defeitos ocorridos rotineiramente no processo de soldagem com eletrodo revestido (celulósico, rutílico e básico) por meio da variação de corrente, simulando as técnicas encontradas atualmente e detectando os possíveis defeitos que ocorrem nas características metalúrgicas e nas propriedades mecânica da junta soldada.

## II. MATERIAIS E MÉTODOS

### II.1 - OS CORPOS DE PROVA

#### II.1.1 - AQUISIÇÃO DO MATERIAL

O material utilizado neste estudo foi o aço A36, adquirido na empresa AÇO MANAUS, três peças em chapas nas dimensões 1500 x 500 x 16 mm, cuja composição química esta representada na tabela 1 e as propriedades mecânicas na tabela 8 respectivamente fornecida pelo fabricante.

Tabela 1 – Composição química (% Peso) do aço A 36.

<b>C</b>	<b>Mn</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Si</b>	<b>Al</b>	<b>Cu</b>
0,14	0,65	0,012	0,012	0,228	0,029	0,005
	<b>Mo</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>	<b>Nb</b>	<b>V</b>	<b>Ti</b>
	0,001	0,018	0,015	0,000	0,002	0,001

Fonte: USIMINAS SIDERÚRGICAS DE MINAS GERAIS S.A

Tabela 2 – Propriedades mecânicas em tração do aço A 36

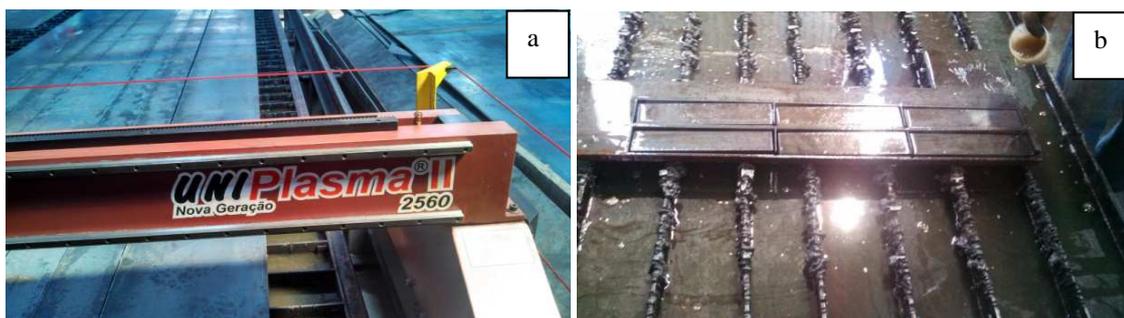
<b>Dir</b>	<b>LE (MPa)</b>	<b>LR (MPa)</b>	<b>LE/LR(%)</b>	<b>AI (%)</b>
T	288	440	65	29

Fonte: USIMINAS SIDERÚRGICAS DE MINAS GERAIS S.A

#### II.1.2 - CORTE

O corte da chapa de aço A – 36 foi realizado a plasma na máquina UNIPLASMA II – Nova Geração 2560 como mostra a Figura1.

Figura 1 – (a) Máquina de corte UNIPLASMAII; (b) Chapa sendo cortada.



Fonte: Setor de corte da chapa de aço A 36 da empresa comercial AÇO MANAUS

As dimensões das peças cortadas para montagem dos corpos-de-prova 225x50x16mm, totalizando 90 peças.

#### II.1.3 - Usinagem

As noventa peças com as dimensões 225x50x16 mm foram usinadas na máquina de Fresa VEKER 420i, preparação do chanfro com um ângulo bisel de 30°.

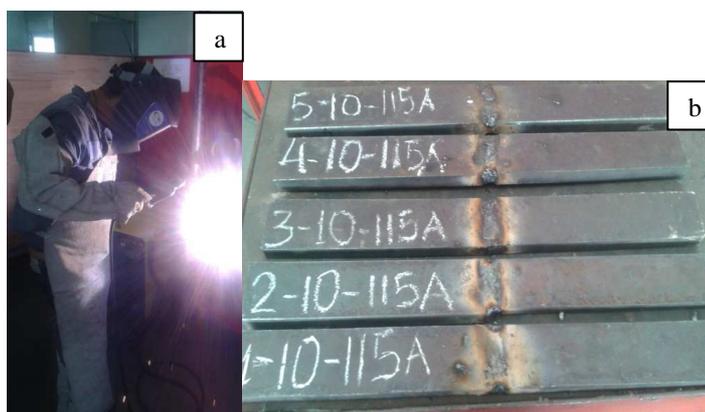
## II.1.4 - Soldagem

O material utilizado neste estudo foi a chapa de aço A 36 nas dimensões 450x50x16 mm usinada com duplo V; aplicadas o processo de soldagem SMAW na posição plana – 1G.

A soldagem dos corpos-de-prova foi realizada no laboratório de soldagem do IFAM, utilizando a máquina de soldagem MARQUETTE – A.C. ARC WELDER, para diferentes eletrodos revestidos de classificação como: E6010, E6013, E7018  $\phi$  3,25 mm, como variável de controle selecionamos os processos para: 65A, 115A e 165A. Antes da soldagem foi feita a preparação das chapas chanfradas totalizando ângulo de 60° precedidas de limpeza.

Escolhido o tipo de eletrodo e corrente para a soldagem, as peças foram sujeitadas e alinhadas na bancada na posição plana (1G), na polaridade inversa com inclinação de 75° mantendo-se um espaço entre elas 3 mm para solda da raiz, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – (a) soldagem do corpo de prova; (b) corpos de prova soldado.  
A solda dos corpos-de-prova foi realizada em 9 (nove) grupos.



Fonte: Laboratório de Soldagem do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM.

Após a soldagem dos corpos-de-prova, foi realizado o ensaio de tração para avaliar na junta soldada a resistência à tração no que diz respeito a defeitos ocorridos na soldagem da junta com chanfro em duplo V, ângulo de 60° e abertura da raiz de 0.3 mm.

## II.1.5 - METAL DE BASE

O metal de base da junta soldada é o aço estrutural A 36 com dimensões 450x50x16mm confeccionadas com chanfro em duplo V usinados com ângulo bisel de 30° e face de raiz de 3 mm, resultando num ângulo de chanfro de 60°.

Na Tabela 1 esta apresentada as características da composição química, na Tabela 2 as propriedades mecânicas.

## II.1.6 METAL DE ADIÇÃO

No processo de soldagem SMAW o metal de adição usado neste estudo é o eletrodo Denver armazenado em estufa com a temperatura de 75°C, normalizado cujas especificações técnicas como

classificação, características químicas, propriedades mecânicas, informadas pelo fabricante. A tabela 3, mostra a característica técnica do eletrodo.

Tabela 3 – Características Técnicas dos Eletrodos

<b>CLASSIF.</b>	<b>REVEST.</b>	<b>POSIÇÃO DE SOLDAGEM</b>	<b>BITOLA (mm)</b>	<b>PENETRAÇÃO</b>
E6010	Celulósico	Todas	3,25	Grande
E6013	Rútilico	Plana, horizontal, vertical, sob. Cabeça	3,25	Média
E7018	Básico	Todas	3,25	Média

Fonte: Adaptação – Tabela de especificação dos eletrodos Denver

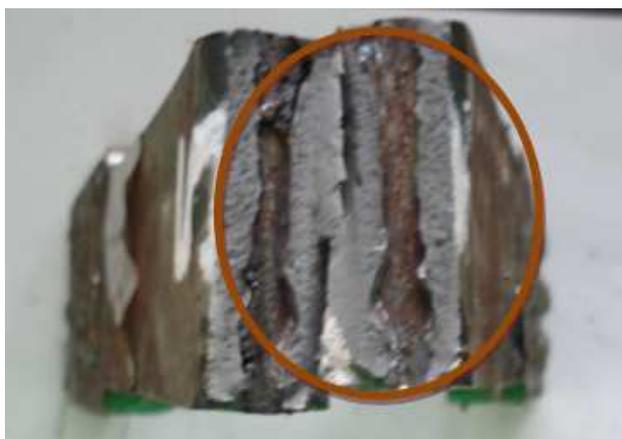
### III. Resultados e discussões

#### III.1 - O ensaio de tração

No ensaio as amostras dos nove lotes foram deformadas até a sua ruptura por meio de uma carga de tração aplicada uniaxialmente ao longo do eixo do corpo-de-prova, que aumentava gradativamente no decorrer do ensaio em questão. O resultado foi registrado como carga ou força em função do alongamento.

A fratura frágil ocorrida em todas as amostras analisadas é uma forma de ruptura caracterizada pela ausência de deformação plástica macroscópica. Em uma escala microscópica, esta fratura é muitas vezes caracterizada pela ruptura dos grãos ao longo de seus planos de clivagem, o que confere à superfície de fratura, um aspecto brilhante e granular típico. A ocorrência da fratura frágil nos corpos de prova soldados foi cuidadosamente considerada sob o ponto de vista de duas de suas características. A primeira foi à presença de concentrados de impurezas, onde a fratura ocorreu em tensões inferiores às correspondentes ao escoamento generalizado. Neste caso, o processo de fabricação como escolha de corrente e eletrodo não garantiram a imunidade da estrutura, a trinca propagou-se de forma instável, isto é, sem a necessidade do aumento das tensões e com uma elevada velocidade de propagação (que pode atingir cerca de 2000m/s em aços), ocasionando o rompimento na zona fundida. A segunda característica não menos importante nos corpos de prova soldados que contribuiu de forma eficaz para a fratura frágil, que promoveu consequências ainda mais graves foi à descontinuidade que apresentava a zona fundida das amostras possibilitando a formação de entalhes (falta de fusão). Esta descontinuidade causou forte concentração de tensões e o desenvolvimento de tensões residuais de tração junto ao cordão de solda e às alterações microestruturais na região da solda causaram uma importante redução de tenacidade na região ocasionando o rompimento das amostras na zona fundida, como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Falta de fusão na zona fundida

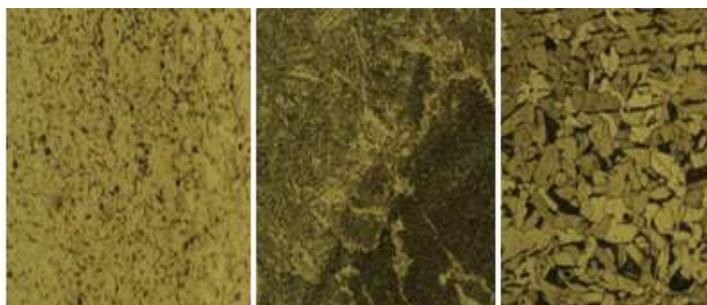


Fonte: Laboratório de Resistência dos Materiais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – IFAM.

### III.2 – O ensaio metalográfico

Segundo as análises metalográficas as micrografias nas microestruturas das juntas soldadas podem identificar o sentido do fluxo de calor, da esquerda para a direita, foram apreciadas as características disposta, combinadas de três imagens, correspondente a Metal depositado ou zona de fusão, constante de ferrita em veios de matriz, ferrita acicular e carbonetos. A região de granulação grosseira, junto a interface da zona de fusão, constante de ferrita acicular primária nos contornos de grãos e poligonal intergranular ou austeníticos e bainita susceptíveis a fratura. A região da zona termicamente afetada (ZTA) observa-se a presença de ferrita Alotriomofica nos contornos de grãos austeníticos e bainita. O metal de base com perlita esferiodizada e carbonetos ferríticos, de chapa laminada quente. As microestruturas são descontinuidade microestruturais susceptíveis a encruamento e fragilidade pela presença de densidade de discordâncias, que impedem o escoamento natural dos grãos na Região Superaquecida e resfriada rapidamente, em função da massa de metal base, favorecida de transmissão de calor: De uma massa maior quente para uma massa menor fria de metal base. Estas particularidades limitam a utilização de soldagem para a produção de elementos de maquinas sujeito a vibrações. Portanto, as fraturas localizadas nas soldas, expressam a características frágil com que os corpos-de-prova foram produzidos sem procedimentos adequados simulando o dia a dia das oficinas de pequeno porte de fabricação de barcos, a descontinuidade na solda, a inclusão de escorias e as porosidades afetam as características metalúrgicas e microestrutural gerando discordâncias que produzem encruamento e limitaram o escoamento, visível nas curvas de tração deformação resultante do ensaio realizado no Laboratório de Ensaio dos Materiais do INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO AMAZONAS - IFAM. Para constar seguem a fotomicrografia das zonas de fusão, zona termicamente afetada (ZTA) e Metal Base.

Figura 4 - Lote 01, CP 105 – Da esquerda para a Direita : Zona Fundida – Ferrita Acicular e Carboneto, Zona Termicamente Afetada – Ferrita a Alotriomofica nos Contornos de grãos austeníticos e bainita e Metal Base com Perlita e Ferrita. Ataque Nital a 2%, 100X.



Fonte: Laboratório de Metalografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas - IFAM

#### IV. Conclusões

O aço A – 36 foi soldado pelo processo SMAW, variando-se Corrente e Eletrodos, porem mantendo-se a tensão constante, para fins de levantar os problemas (defeitos) de soldagem. A caracterização mecânica foi obtida através do ensaio de tração. Nesse ensaio os corpos de provas soldados revelaram comportamento de fratura localizadas de expressão especifica frágil, sem evidencia de zona plástica. Desse modo, comprovou-se a afirmativa de que as descontinuidade gerada, pela sensível densidade de discordâncias produziram encruamento e limitações do escoamento. Portanto com base nos resultados das propriedades mecânicas pode-se afirmar que os paramentos de soldagem, interferiram nos resultados plenamente, conforme as fraturas ilustradas neste artigo. No entanto, fazem-se necessários estudos mais detalhados com finalidade de reduzir os defeitos como: Ausência de Fusão entre o material depositado e o metal base – falta de penetração; Porosidade excessiva; Inclusão de escoria vítrea; em entre outros defeitos de soldagem.

#### V. Referências bibliográficas

BRANDI, S.D., **Análise da Transferência Metálica na Soldagem arco Elétrico com Eletrodo Revestido**. Tese de Mestrado, USP. 1988.

LEONELO, A. COSTA, S.C. **Análise da Influência dos Parâmetros do Processo de Soldagem na Estabilidade do Arco e Características Geométricas do Cordão**. Dissertação Mestrado. UNIFEI, 2005.

MACHADO, I.G. **Soldagem e Técnicas Conexas** Ed. Porto Alegre, 1996.

MARQUES, P.V., MODENESI, P.J, BRACARENCE, A.Q. **Soldagem – Fundamentos e tecnologia**. Ed UFMG, 3ª Ed. 2009.

SANTOS, M.G., **Metodologia para Comparação entre Fonte Inversora e Eletromagnética para Eletrodos Revestidos**. Dissertação de Mestrado, UFU, 1995