

# TESTE DE QUALIDADE DE ELETRODOS REVESTIDOS POR SOLDA A ARCO ELÉTRICO

Alan Nunes de Moraes<sup>1</sup>  
André Régis Menezes Quintela<sup>2</sup>  
Diego Alves Moreira<sup>3</sup>  
Túlio Henrique da Silva Queiros<sup>4</sup>  
Fabiano dos Santos Brião<sup>5</sup>

Engenharia Mecatrônica



ISSN IMPRESSO 1980-1777  
ISSN ELETRÔNICO 2357-9919

## RESUMO

A soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding – SMAW), conhecida também por soldagem manual a arco elétrico, é o processo mais utilizado nos inúmeros processos de soldagem. A fim de verificar a qualidade, especificamente o diâmetro, o experimento se deu totalmente baseado no processo de medição de uma amostra, inferindo a alma do eletrodo, eliminando o revestimento para determinar a confiabilidade das especificações do fabricante. Foi levado em conta diâmetro indicado no rotulo da embalagem, confrontando com as medições executadas por meio de um paquímetro digital. O objetivo desse experimento é de analisar se os eletrodos comercializados no mercado estão dentro das especificações do fabricante.

## PALAVRAS-CHAVE

Eletrodo Revestido. Almado Eletrodo. Diâmetro.

## ABSTRACT

The Shielded Metal Arc Welding - SMAW, also known as manual arc welding is the most widely used process in many welding processes. In order to verify the quality, particularly the diameter, the experiment gave totally based on the measurement of a sample inferring the electrode soul process, eliminating the coating to determine the reliability of the manufacturer specifications. It was taken into account diameter indicated on the package label, comparing with the measurements performed using a digital caliper. The aim of this experiment is to examine whether the electrodes are placed on the market within the manufacturer's specifications.

## KEYWORDS

Electrode Welding. Electrode Soul. Diameter.

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de soldagem com um arco elétrico eletrodos revestidos Shielded Metal Arc Welding – SMAW) é feito com o eletrodo fixado a um arco que produz o calor necessário entre o eletrodo revestido e a peça a soldar. Este processo surgiu no início do século com a utilização de arames para cercas que eram ligados à rede elétrica, um processo pobre e com muitos problemas soldar (O'BRIEN,1991; LINCOLN ELECTRIC COMPANY, 1994).

A arte de soldar é um processo manual, onde a solda se realiza por um calor do arco elétrico entre a extremidade do eletrodo revestido e a peça trabalhada, o calor produzido funde o metal a alma do eletrodo e o revestimento de fluxo (JEFFUS, 1993; VEIGA, 2011). Os gases produzidos na decomposição e a escória líquida protegem o metal de solda da contaminação atmosférica durante o processo (KLAS, 2003; MODENESI ET AL., 2005). A Figura 1 ilustra o processo e o Quadro 1 mostra suas vantagens, limitações e aplicações.

Figura1 – Soldagem com eletrodo revestido



Fonte: <<http://www.demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/metalurgia.pdf>>.

Quadro 1 – Vantagens, limitações e aplicações da soldagem com eletrodos revestidos

| <b>VANTAGENS E LIMITAÇÕES</b>                                    | <b>APLICAÇÕES</b>   |
|--|---|
| Equipamento simples, portátil e barato.                          | Soldagem de produção, manutenção e em montagens no campo. |
| Não necessita fluxos ou gases externos.                          | Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga.              |
| Pouco sensível à presença de correntes de ar.                    | Soldagem de ferro fundido.                                |
| Processo extremamente versátil em termos de materiais soldáveis. | Soldagem de alumínio, níquel e suas ligas.                |
| Facilidade para atingir áreas de acesso restrito.                |   |
| Aplicação difícil para materiais reativos.                       |   |
| Produtividade relativamente baixa.                               |   |
| Exige limpeza após cada passe de soldagem.                       |   |

Fonte: <<http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/metalurgia.pdf>>.

Fortes e Vaz (2005) explicam que eletrodos revestidos para aços carbono consistem de apenas dois elementos principais: a alma metálica, normalmente de aço de baixo carbono e o revestimento. A alma metálica contém alguns elementos residuais, porém os teores de fósforo e enxofre devem ser muito baixos para evitar fragilização no metal de solda. A matéria prima para a alma metálica é um fio-máquina laminado a quente na forma de bobinas, que é posteriormente trefilado a frio até o diâmetro adequado do eletrodo, retificado e cortado no comprimento adequado. A alma metálica tem as funções principais de conduzir a corrente elétrica e fornecer metal de adição para a junta.

A alma depende do material que vai ser soldado, que pode ser da mesma natureza ou não do metal de base. Abaixo temos o Quadro 2 com os tipos de almas utilizadas e os materiais mais comuns.

Quadro 2 – Materiais da alma dos revestimentos

| <b>MATERIAL A SOLDAR</b> | <b>MATERIAL DA ALMA</b>                                  |
|--------------------------|--|
| Aço doce e baixa liga    | Aço efervescente (C < 0,10%)                             |
| Aços inoxidáveis         | Aço efervescente ou aço inoxidável                       |
| Ferros fundidos          | Níquel puro, liga Fe-Ni, Ferro fundido, aço, bronze etc. |

Fonte: <<http://wwwo.metalica.com.br/soldagem-eletrodo-revestido-consumiveis-e-variaveis>>.

O revestimento possui importantes funções, como proteção do metal de solda, estabilização do arco, adição de elementos de liga ao metal de solda, direcionamento do arco elétrico, controle da integridade do metal de solda e isolamento da alma de aço entre outras funções. O revestimento pode ser do tipo básico, celulósico e rutilico (QUITES, 1979, 2002).

Fortes (2005) ressalta que se deve usar o eletrodo apropriado para cada tipo de liga de aço carbono a ser soldado, o aço é basicamente uma liga de ferro e carbono, tendo os seus níveis de resistência por meio da adição de carbono. Os aços carbono podem ser classificados como segue: Baixo carbono- até 0,14% carbono; Aço doce- de 0,15% até 0,29% carbono; Aço de médio carbono- de 0,30% até 0,59% carbono; Aço de alto carbono- de 0,60% até 2,00 % carbono.

Os aços de baixo carbono e doce são os grupos mais comercializados devido sua relativa resistência e boa soldabilidade. Outro fator importante e o diâmetro do eletrodo revestidos, eletrodos de diâmetro fora das condições da soldagem podem ocasionar falhas na fundição dos materiais. Abaixo o Quadro 3 mostra os parâmetros de soldagem necessários para a soldagem com eletrodos revestido OK® para aços de baixa liga e suas taxas de eficiências de deposição e deposição.

Quadro 3 – Parâmetros de soldagem de aços recomendados para eletrodos revestidos

| Eletrodo  | AWS      | Diâmetro (mm)            | Corrente (A) | Valor ótimo (A) | Tx. dep. (kg/h) | Ef. dep. (%) |
|-----------|----------|--------------------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|
| OK 22.46P | E7010-G  | 3,2<br>4,0<br>5,0        | 80 – 140     | 100 / 130       | 0,9 / 1,0       | 76 / 69      |
| OK 22.47P | E8010-G  |                          | 90 – 180     | 140 / 170       | 1,3 / 1,3       | 74 / 64      |
| OK 22.48P | E9010-G  |                          | 120 – 250    | 160 / 190       | 1,5 / 1,6       | 75 / 70      |
| OK 22.85P | E7010-A1 |                          |              |                 |                 |              |
| OK 73.03  | E7018-W1 | 2,5<br>3,2<br>4,0<br>5,0 | 65 – 105     | 90              | 0,8             | 66           |
| OK 73.45  | E8018-G  |                          | 100 – 150    | 120 / 140       | 1,2 / 1,2       | 72 / 71      |
| OK 74.55  | E7018-A1 |                          | 130 – 200    | 140 / 170       | 1,4 / 1,7       | 75 / 74      |
| OK 75.60  | E9018-M  |                          | 185 – 270    | 200 / 250       | 2,2 / 2,4       | 76 / 75      |
| OK 75.75  | E11018-G |                          |              |                 |                 |              |
| OK 76.18  | E8018-B2 |                          |              |                 |                 |              |
| OK 76.28  | E9018-B3 |                          |              |                 |                 |              |
| OK 74.75  | E9018-D1 | 3,2<br>4,0<br>5,0        | 100 – 150    | 120 / 140       | 1,2 / 1,2       | 72 / 71      |
| OK 75.65  | E10018-G |                          | 130 – 200    | 140 / 170       | 1,4 / 1,7       | 75 / 74      |
| OK 78.15  | E9018-G  |                          | 185 – 270    | 200 / 250       | 2,2 / 2,4       | 76 / 75      |
| OK 75.77  | E12018-G | 2,5                      | 65 – 105     | 90              | 0,8             | 66           |
|           |          | 3,2                      | 100 – 150    | 120 / 140       | 1,2 / 1,2       | 72 / 71      |
|           |          | 4,0                      | 130 – 200    | 140 / 170       | 1,4 / 1,7       | 75 / 74      |

Fonte: <[http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1\\_apostilaeletrodosrevestidos\\_ok.pdf](http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf)>

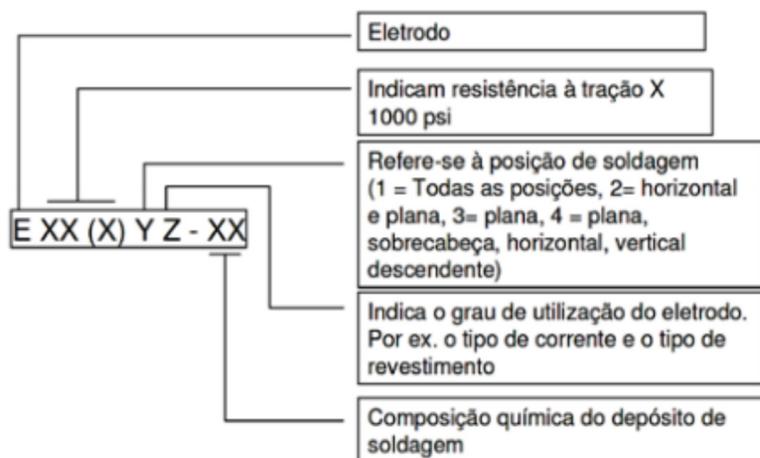
## 2 NORMAS TÉCNICAS APLICÁVEIS

As organizações privadas ou governamentais desenvolvem e atualizam normas técnicas que se aplicam a áreas de engenharia de interesse, entre elas pode-se destacar: *American Society for Mechanical Engineers (ASME)*; *American Petroleum Institute (API)*; *American Welding Society (AWS)*; *American Society for Testing and Materials (ASTM)*; *American Iron and Steel Institute (ANSI)*; *American National Standards Institute (AISI)*; *International Organization for Standardization (ISO)*.

Fortes (2005) explica que no Brasil se aplica, quase que na totalidade, as Normas Técnicas de procedência Americana. A Norma aplicada a consumíveis de soldagem é a AWS. A Norma AWS procura abranger a maioria dos consumíveis de soldagem, incluindo os metais de adição e recentemente elaborada uma especificação própria para os gases de proteção. Entre as especificações da AWS, o eletrodo analisado nessa pesquisa está inserido na A5.5 – SFA 5.5 (Eletrodos de Aço tipo Baixa Liga para o Processo de Soldagem Eletrodo Revestido).

Mas a especificação AWS A5.5 cobre não somente os eletrodos de baixa liga e baixo hidrogênio, como também todas as versões de eletrodos do tipo celulósicos, com adições de titanato e de pó de. O significado das designações da AWS está na Figura 2. Uma lista completa de todos os eletrodos cobertos por essa especificação é mostrada no Quadro 4.

Figura 2 – Classificação dos eletrodos revestidos para aços de baixa liga



Fonte: [http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1\\_apostilaeletrodosrevestidos\\_ok.pdf](http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf)

Quadro 4 – Classificação dos eletrodos para aços de baixa liga

|           |           |           |          |
|-----------|-----------|-----------|----------|
| E7010-A1  | E8018-B2  | E9015-B3L | E11018-M |
| E7011-A1  | E8018-B2L | E9016-B3  | E12018-M |
| E7015-A1  | E8015-B4L | E9018-B3  | ---      |
| E7016-A1  | E8016-B5  | E9018-B3L | EXX10-G  |
| E7018-A1  | E8016-C1  | E9015-D1  | EXX11-G  |
| E7020-A1  | E8018-C1  | E9018-D1  | EXX13-G  |
| E7027-A1  | E8016-C2  | E9018-M   | EXX15-G  |
| ---       | E8018-C2  | ---       | EXX16-G  |
| E8016-B1  | E8016-C3  | E10015-D2 | EXX18-G  |
| E8018-B1  | E8018-C3  | E10016-D2 | E7020-G  |
| E8015-B2L | ---       | E10018-D2 | ---      |
| E8016-B2  | E9015-B3  | E10018-M  | ---      |

Fonte: <[http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1\\_apostilaeletrodosrevestidos\\_ok.pdf](http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf)>.

### 3 ELETRODO REVESTIDO

O tipo de eletrodo utilizado na pesquisa possui especificação ATOM ARC 9018-CM da fabricante ESAB e classificação AWS/ASME SFA 5.5-9018-B3 H4R. Os eletrodos revestidos AtomArc para soldagem de aços de baixa-liga são indicados para soldagem de aços ao CrMo e CrMo-V, comumente nas indústrias de Petróleo e Energia, tais como vasos de pressão, trocadores de calor, reatores, fornos, queimadores e tubulações, e outros. São eletrodos de alto desempenho e qualidade na soldagem de aços resistentes à fluência, possuem baixo teor de hidrogênio no metal depositado, ganhando maior resistência à formação de trincas e ótimas propriedades mecânicas antes e após tratamento térmico. A Tabela1 abaixo mostra a descrição do eletrodo utilizado no projeto e a Figura 4 sua embalagem comercial.

Tabela 1 – Especificação do tipo de eletrodo

|   |    |      |  |                    |  |              |     |     |          |           |
|---|----|------|--|--------------------|--|--------------|-----|-----|----------|-----------|
| <b>Atom Arc</b><br><b>9018 CM*</b><br>ASME SFA 5.5<br>E9018-B3H4R | C  | 0,07 | Eletrodo revestido básico de baixo hidrogênio para todas posições de soldagem usado para soldar aços 2,5% Cr - 1% Mo. Comumente usados em vasos de pressão, trocadores de calor e componentes relacionados.<br>fator X<15ppm<br>HOMOLOGAÇÕES: ABS. | "TTPS 690 °C / 1h" |  | CA ≥ 70 V    | 2,4 | 350 | 70 - 105 |           |
|   | Si | 0,50 |  |                    |  | L.R. 690 MPa | CC+ | 3,2 | 350      | 90 - 130  |
|   | Mn | 0,70 |  |                    |  | L.E. 570 MPa |     | 4   | 350      | 125 - 180 |
|   | Cr | 2,25 |  |                    |  | A 23%        |     | 4,8 | 350      | 140 - 230 |
|   | Mo | 1,10 |  | "TTPS 690 °C / 8h" |  |              |     |     |          |           |
|   |    |      |  | L.R. 650 MPa       |  |              |     |     |          |           |
|   |    |      |  | L.E. 545 MPa       |  |              |     |     |          |           |
|   |    |      |  | A 23%              |  |              |     |     |          |           |

Fonte: <<http://www.esab.com.br>>.

Figura 3 – Caixa de eletrodos

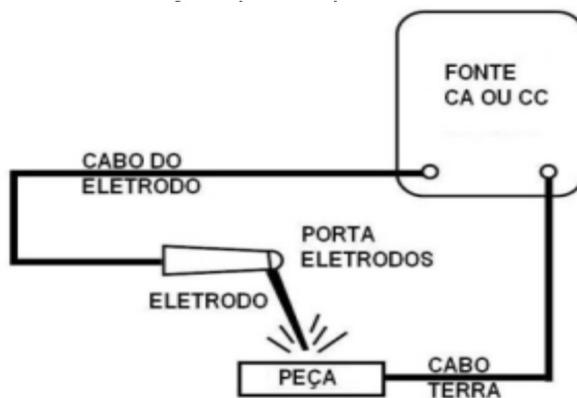


Fonte: <<http://www.esab.com.br/br/pt/products/index.cfm?fuseaction=home.product&productCode=0031031>>

Este eletrodo é normalmente utilizado para aplicações especiais por possuir característica química atípica. Comparado a outros tipos de eletrodo, possui grande concentração de carbono, que proporciona uma dureza elevada com elasticidade limitada. Além disso, possui adição de materiais de ligas como cromo, silício, manganês e molibdênio, elevando a nobreza do material. Esse tipo de eletrodo especial é comumente aplicado em equipamentos de alto e baixo porte que demandam alto desempenho no funcionamento, como engrenagens de redutores. Assim, é possível obter contato perfeito, grande tempo de vida útil e durabilidade (FORTES, 2005).

Para garantir uma boa soldagem é a simplicidade do equipamento necessário. O equipamento de soldagem consiste na fonte de energia, no porta-eletrodos e nos cabos e conexões (Figura 4).

Figura 4 – Circuito de soldagem para o processo com eletrodos revestidos



Fonte: [http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1\\_apostila\\_eletrodosrevestidos\\_ok.pdf](http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostila_eletrodosrevestidos_ok.pdf)

## 4 METODOLOGIA

Para verificar a qualidade do eletrodo em relação ao diâmetro do mesmo, partiu-se inicialmente de uma caixa de eletrodos fechada que contendo 450 peças e tomando-se uma amostra foram medidos 30 eletrodos escolhidos aleatoriamente (Figura 5).

Figura 5 – Caixas de eletrodos revestidos utilizada

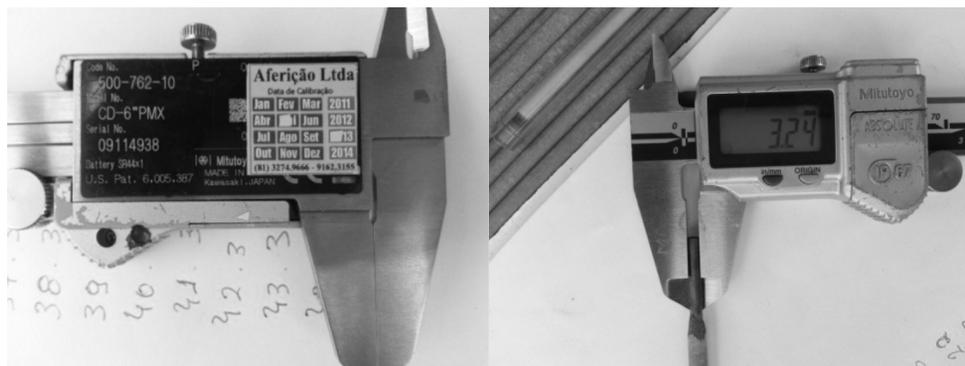


Fonte: acervo do autor.

Por meio das informações na caixa de eletrodos onde o fabricante indica que cada eletrodo possui 3,25mm de diâmetro, assumimos que o diâmetro médio da alma da caixa de eletrodos é  $\mu=3,25$  mm e o conjunto de diâmetros da caixa apresentou uma distribuição normal. E a partir desse ponto calculamos o teste de hipótese Teste T. Teste T de Student pelo fato de não conhecermos o desvio padrão para a caixa de eletrodos.(DEVORE, 2006; MONTGOMERY e RUNGER, 2003).

Para realizar a medição usou-se um paquímetro digital marca Mitutoyou, sob os padrões exigidos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. (Inmetro) com validade vigente (Figura 6).

Figura 6 – Paquímetro utilizado na medição dos eletrodos



Fonte: acervo do autor.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na fase de medições, relatou-se que nenhum dos 30 eletrodos analisados possuía diâmetro igual ou superior ao informado pelo fabricante (3,25mm). A hipótese de falha na medição foi descartada, pois o paquímetro digital utilizado estava nas condições necessárias e não houve falha do operador. O quadro a seguir mostra o resultado da medição do diâmetro de 30 eletrodos que foram utilizados no cálculo do teste de hipóteses.

Quadro 6 – Diâmetro dos 30 eletrodos medidos

|    | Espessura da amostra |    | Espessura da amostra |
|----|----------------------|----|----------------------|
| 1  | 3,24mm               | 16 | 3,22mm               |
| 2  | 3,24mm               | 17 | 3,23mm               |
| 3  | 3,23mm               | 18 | 3,22mm               |
| 4  | 3,22mm               | 19 | 3,23mm               |
| 5  | 3,23mm               | 20 | 3,22mm               |
| 6  | 3,23mm               | 21 | 3,23mm               |
| 7  | 3,23mm               | 22 | 3,22mm               |
| 8  | 3,22mm               | 23 | 3,23mm               |
| 9  | 3,24mm               | 24 | 3,22mm               |
| 10 | 3,23mm               | 25 | 3,22mm               |
| 11 | 3,23mm               | 26 | 3,22mm               |
| 12 | 3,22mm               | 27 | 3,23mm               |
| 13 | 3,22mm               | 28 | 3,22mm               |
| 14 | 3,23mm               | 29 | 3,22mm               |
| 15 | 3,22mm               | 30 | 3,22mm               |

Fonte: Acervo do autor

Para a empresa é interessante que o diâmetro dos eletrodos seja igual ao especificado pelo fabricante, desse ponto a hipótese nula é a de que os eletrodos possuam o diâmetro igual a 3,25 mm e a hipótese alternativa que diâmetro seja diferente que 3,25 mm.

T:

Para a amostra de 30 eletrodos o diâmetro médio foi de  $\bar{x}$ , e a desvio padrão foi de  $s$ . A um nível de significância  $\alpha$ , o teste t apresentou  $t_{obs}$  menor que  $t_{crit}$ . Ou seja, um valor fora da área de aceitação, isso significa rejeitamos a hipótese nula e aceitamos a hipótese alternativa. Ou seja, a média da amostra retirada da população indica que a maioria dos eletrodos possuem diâmetro fora de uma limitação mínima necessária.

## 6 CONCLUSÃO

Por meio do gráfico bilateral com tolerância de 5%, é possível perceber que  $H_0$  (hipótese nula) não é válida, pois o resultado da hipótese,  $t_{obs} = -19.4843$  encontra-se na região crítica. Esse dado indica que na margem de tolerância de 5%, o dado informado pelo

fabricante.(diâmetro de 3,25mm) não condiz com a verdade para essa caixa de eletrodos. Tomando a razão entre o diâmetro médio amostral e o valor fornecido pelo fabricante, temos uma variação de 0.9926%, um percentual abaixo de 1% determinando que apesar da média da amostra ser menor que , não há prejuízos na qualidade da soldagem.

## REFERÊNCIAS

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística**: para engenharia e ciências. 6.ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning Ltda, 2006.

FORTES C. **Metalurgia da soldagem**. ESAB BR, 2005. Disponível em: <[http://www.esab.com.br/br/por/Instrucao/biblioteca/upload/1901104rev0\\_ApostilaSoldagemMIGMAG.pdf](http://www.esab.com.br/br/por/Instrucao/biblioteca/upload/1901104rev0_ApostilaSoldagemMIGMAG.pdf)>. Acesso em: set. 2015.

FORTES, C.; VAZ, C. **Eletrodos revestidos OK**. ESAB BR,2005. Disponível em: <[http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1\\_apostilaeletrodosrevestidos\\_ok.pdf](http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf)>. Acesso em: out. 2015.

JEFFUS, L.F. **Welding**: principles and applications. 3.ed. N.Y.: Delmar Publishers, 1993.

KLAS, W. **Welding processes handbook**. New York: CRC Press LLC. 2003.

LINCOLN ELECTRIC COMPANY. **The procedure handbook of arc welding**. Cleveland, Ohio: Lincoln Electric Company, 1994.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem**: fundamentos e tecnologia. 3.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros**. 2.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

O'BRIEN, R. L. **Welding handbook**: welding processes, v. 2, 8.ed. Miami: American Welding Society, 1991.

QUITES, A. M.; DUTRA, J. C. **Tecnologia da soldagem a arco voltaico**. Florianópolis: EDEME, 1979.

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

VEIGA, E. **O processo de soldagem - eletrodos revestidos**. São Paulo: Globus, 2011.

---

**Data do recebimento:** 26 de junho de 2015

**Data de avaliação:** 31 de julho de 2015

**Data de aceite:** 25 de agosto de 2015

---

- 
1. Graduando do Curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: alanpe88@hotmail.com
  2. Graduando do Curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: armq123@gmail.com
  3. Graduando do Curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: diego-malves@hotmail.com
  4. Graduando do Curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes – UNIT. E-mail: tuliohenrique\_al@hotmail.com
  5. Professor do Curso de Engenharia Mecatrônica do Centro Universitário Tiradentes. E-mail: fabianobriao@gmail.com