

**MAICON ADILSON TEXEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA  
COMPUTACIONAL PARA ORÇAMENTO DE SOLDAGEM  
NO PROCESSO DE ELETRODO REVESTIDO**

**JARAGUÁ DO SUL, 2013**



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA  
CAMPUS JARAGUÁ DO SUL – GERALDO WERNINGHAUS  
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO  
MECÂNICA**

**MAICON ADILSON TEXEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA  
COMPUTACIONAL PARA ORÇAMENTO DE SOLDAGEM  
NO PROCESSO DE ELETRODO REVESTIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
submetido ao Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa  
Catarina como parte dos requisitos de  
obtenção do título de Tecnólogo em  
Fabricação Mecânica.

Professor Orientador: Ivan Hubert

**JARAGUÁ DO SUL, 2013**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da IFSC.

T355d

Texeira, Maicon Adilson

Desenvolvimento de ferramenta computacional para orçamento de soldagem no processo de eletrodo revestido / Maicon Adilson Texeira ; orientador Ivan Hubert. – Jaraguá do Sul : IFSC, 2013.

51 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (tecnólogo) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. Tecnólogo em Fabricação Mecânica.

Inclui bibliografia.

1. Processo de soldagem. 2. Eletrodo revestido. 3. Orçamento - planilha. 4. Material de adição - perdas. I. Hubert, Ivan. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. III. Título.

CDD 671.52

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC  
Biblioteca - Campus Jaraguá do Sul – Geraldo Werninghaus  
Catalogado por: Khrisna Vivianne da Silva CRB 14/1229

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA  
COMPUTACIONAL PARA ORÇAMENTO DE SOLDAGEM  
NO PROCESSO DE ELETRODO REVESTIDO**

MAICON ADILSON TEXEIRA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Tecnólogo em Fabricação Mecânica e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

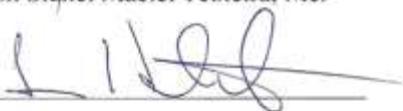
Jaraguá do Sul, 10 de dezembro de 2013.

**Banca Examinadora:**



---

Edson Síclnei Maciel Teixeira, Me.



---

Ivan Luiz Hubert, Esp.



---

Eduardo Cardoso Castaldo, Me.



---

Alexandre de Aguiar Amaral, Me.



Este trabalho é dedicado a minha  
companheira Jussara que, por meio do  
seu incentivo, da sua compreensão e  
do seu companheirismo, participou  
desta conquista.



## **AGRADECIMENTOS**

Aos colegas de curso, em especial ao Jonas, Marcio, Motta, Elisandro, Mauro e Tcharles pelo seu companheirismo, apoio e amizade.

Aos professores do IFSC – Campus Geraldo Werninghaus, em especial aos professores Gerson Ulbricht, Renata Heis e Josué Vogel que, durante o presente trabalho se mostraram dedicados e comprometidos com o ensino, assim como nos demais momentos do curso.



“A mente que se abre a uma nova ideia  
jamais voltará ao seu tamanho  
original” (Albert Einstein).



## RESUMO

Este trabalho é resultado de uma pesquisa experimental, cujo objetivo foi desenvolver uma ferramenta computacional a fim de oferecer orçamentos sobre o processo de soldagem por eletrodo revestido. De modo mais específico, buscou-se compreender os processos de soldagem encontrados no âmbito da metal-mecânica; analisar as perdas de material de adição no processo de soldagem por eletrodo revestido e desenvolver uma planilha a partir dos recursos encontrados no *software Excel* para a disponibilização de orçamentos. Como instrumento de coleta de dados realizou-se um processo de soldagem por eletrodo revestido. A partir da análise do material empírico foi possível verificar perdas com pontas, escórias, respingos e gases, uma eficiência de deposição abaixo do esperado, e desenvolver uma ferramenta computacional que permite a disponibilização de orçamento de soldagem por eletrodo revestido. Acredita-se que a planilha de orçamentos pode ser potencialmente significativa no âmbito da metal-mecânica, no entanto, são necessárias algumas mudanças, a fim de aprimorá-la.

**Palavras-Chave:** Processo de Soldagem por Eletrodo Revestido. Planilha de Orçamentos. Material de Adição.



## ABSTRACT

This work is the result of an experimental study, whose objective was to develop a computational tool to provide estimates on the process of welding electrode coated. Specifically, we sought to understand the welding processes found within the metalworking; analyze losses filler metal in welding process coated electrode and develop a spreadsheet from Excel features found in the software for the provision budgets. As an instrument for data collection was carried out a process of welding electrode coated. From the analysis of the empirical material was verified with loss tips, slag, spatter and gases, and a deposition efficiency below expectations, and develop a computational tool that enables the provision of budget for coated electrode welding. It is believed that the spreadsheet budgets can be potentially significant in the context of metal-mechanics, however, some changes are necessary in order to improve it.

**Keywords:** Welding Electrode Coated Process. Budget Worksheet. Material addition.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de junta .....	29
Figura 2 - Elementos de um chanfro .....	30
Figura 3 - Esquema de soldagem por eletrodo revestido.....	31
Figura 4 - Classificação da AWS para eletrodos revestidos.....	32
Figura 5 - Recomendações de parâmetros de soldagem para eletrodos revestidos OK para aços .....	40
Figura 6 - Separação da escória e ponta de contato.....	43
Figura 7- Medição de massa corpo de prova.....	43
Figura 8 - Medição de massa das pontas de contato .....	44
Figura 9 - Medição de massa das escórias.....	44
Figura 10 - Página inicial da planilha.....	46
Figura 11- Página dos dados de entrada.....	47
Figura 12 - Página dos cálculos.....	48
Figura 13- Página relatório de soldagem.....	49



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Especificação da norma AWS para eletrodo revestido .....	33
Tabela 2 – Siglas e Significados da Fórmula (2).....	35
Tabela 3 – Massa inicial do eletrodo de 2,5mm e do corpo de prova ...	42
Tabela 4- Análise das perdas do material de adição.....	45



## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AWS – AMERICAN WELDING SOCIETY

ESAB- ELEKTRISKA SVETSNINGS AKTIE BOLAGET

TIG- TUNGSTEN INERT GAS

MIG- METAL INERT GAS

MAG- METAL ACTIVE GAS



## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
1.1	OBJETIVO GERAL .....	24
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	24
1.3	METODOLOGIA EMPREGADA/ MATERIAIS E MÉTODOS..	24
<b>2</b>	<b>PROCESSOS DE SOLDAGEM</b> .....	<b>26</b>
2.1	TIPOS DE JUNTAS E DE CHANFROS .....	28
2.2	SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO .....	30
<b>3</b>	<b>O <i>SOFTWARE EXCEL</i> NA ANÁLISE DE CUSTOS E NA CONSTRUÇÃO DE PLANILHA DE ORÇAMENTOS NA ÁREA DA SOLDAGEM</b> .....	<b>34</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>38</b>
4.1	ESCOLHA DO MATERIAL DE BASE .....	38
4.2	ESCOLHA DO ELETRODO REVESTIDO .....	39
4.3	ESCOLHA DOS CORPOS DE PROVA.....	40
4.4	MEDIÇÃO DA MASSA DOS MATERIAIS ANTES DOS ENSAIOS .....	41
4.5	EXECUÇÃO DA SOLDAGEM .....	42
<b>5</b>	<b>APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS</b> .....	<b>44</b>
5.1	DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ORÇAMENTO DE SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO.....	45
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>51</b>



## 1 INTRODUÇÃO

Ao se tratar de produção, é necessária, muitas vezes, uma análise sobre as perdas e custos de tal bem produzido. Ficar próximo do valor real do custo do serviço prestado pode ser considerada uma tarefa primordial para o bom desenvolvimento de uma empresa. No âmbito da metal-mecânica, no setor da soldagem, também há essa preocupação. Mas, qual ferramenta computacional pode ser desenvolvida para oferecer orçamento de soldagem no processo de eletrodo revestido? A partir do norteamento oriundo desta indagação, o objetivo do presente trabalho é desenvolver uma ferramenta computacional a fim de oferecer orçamentos sobre o processo de soldagem por eletrodo revestido. Permitindo, assim, que o empreendedor/ soldador tenha uma melhor estimativa sobre os custos de seus serviços, podendo oferecer orçamentos para seus clientes.

Visando alcançar o objetivo acima citado, inicialmente se fez necessário compreender, em relação ao processo de soldagem - os procedimentos encontrados no campo da metal-mecânica, analisar as perdas das escórias, das pontas de contato e demais perdas no processo experimental de soldagem por eletrodo revestido, e por fim desenvolver uma ferramenta computacional que permitisse a elaboração de relatório/orçamento de custo produção ou serviço para este tipo de soldagem.

Na área da mecânica, segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2009), a soldagem pode ser utilizada como parte dos processos de fabricação. Com relação à soldagem, existem processos complementares, como: preparação de juntas, pré-aquecimento, tratamentos pós-soldagem, dentre outros. Vale ressaltar que, nesta pesquisa não será considerada a influência dos processos complementares na análise sobre perdas e custos, pois estas etapas não foram desenvolvidas no processo experimental de soldagem por eletrodo revestido por envolver outros processos de fabricação, por exemplo, a usinagem.

A soldagem envolve um grande número de aspectos diretos, onde estes têm impactos significativos nos custos finais do processo, como: consumíveis, custos de mão de obra, energia elétrica, manutenção e depreciação dos equipamentos (QUITES, 2002). Essa preocupação com o valor total sobre os custos já vem sendo discutida a tempos atrás, de acordo com Marques, Modenesi, e Bracarense (2009, p. 151):

Os preços de produtos e serviços, por um longo período da história, foram determinados por um fórmula simples: preço = custo + lucro. Assim, o custo total era repassado integralmente aos preços finais, sem que houvesse muita preocupação com a sua evolução.

Os autores, acima citados, lembram da necessária reformulação da análise de custo de produção, devido o processo de globalização da economia. Apontam, assim, o rearranjo da equação, sendo: lucro = preço – custo.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho apresenta como objetivo geral, desenvolver uma ferramenta computacional a fim de oferecer orçamentos sobre o processo de soldagem por eletrodo revestido.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) Conceituar métodos de soldagem, custos e *softwares*/programas computacionais;
- b) Compreender os processos de soldagem apresentados no âmbito da metal-mecânica;
- c) Analisar as perdas de material de adição no processo de soldagem por eletrodo revestido;
- d) Desenvolver uma planilha a partir dos recursos encontrados no *Excel (software da Microsoft Windows)* para a disponibilização de orçamentos.

## 1.3 METODOLOGIA EMPREGADA/ MATERIAIS E MÉTODOS

Visando facilitar a compreensão do desenvolvimento deste trabalho, talvez, se torne oportuno aqui, realizar um breve relato sobre as atividades desenvolvidas durante a pesquisa.

Inicialmente foi realizada a seleção do material de base (chapas de aço), assim como dos eletrodos (em diversos diâmetros). As chapas e

os eletrodos foram numerados, com o objetivo de facilitar a medição das massas dos mesmos, bem como o processo de solda. Durante a etapa de soldagem houve o recolhimento das escórias e das pontas de contato.

Em um segundo momento foi realizado novamente a medição da massa das chapas, agora com o material de adição, inclusive das escórias e das pontas de contato. Assim, foi possível verificar a diferença de massa das chapas antes e depois da soldagem, resultado este que auxilia na análise das perdas e construção da planilha de orçamentos.

Sendo assim, a pesquisa está estruturada em acordo com a Resolução CEPE/IFSC N°0119 - Normas: Trabalhos Acadêmicos, (2011) do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina – IFSC e dividida em seis capítulos sendo que:

- No Capítulo 1, apresentou-se o tema e os objetivos da pesquisa;
- No Capítulo 2, apresenta-se a revisão bibliográfica sobre o tema, com uma abordagem voltada para o processo de soldagem por eletrodo revestido;
- No Capítulo 3, busca-se fazer uma discussão sobre perdas, custos e orçamentos na área da soldagem;
- No Capítulo 4, busca-se descrever os materiais e métodos utilizados na pesquisa;
- No Capítulo 5, busca-se apresentar e analisar os dados coletados;
- No Capítulo 6, busca-se descrever as conclusões obtidas por meio do processo experimental de soldagem por eletrodo revestido.

## 2 PROCESSOS DE SOLDAGEM

Conforme Ziedas e Tatini (2013), a palavra solda decorre do ato de unir materiais, enquanto a palavra soldagem designa do resultado obtido da operação. A história da soldagem tem seu início desde os mais longínquos períodos, embora muitos artefatos tenham sido encontrados com processos de brasagem com aproximadamente 4000 anos de idade, e soldagens por forjamento de 3000 anos atrás, sendo estas técnicas ainda utilizadas nos dias atuais.

De acordo com a AWS (Sociedade Americana de Solda) (2013), a soldagem tem como objetivo a união de duas partes que, pode ser do mesmo material ou de materiais diferentes. Uma vez executada a soldagem nas partes, elas tendem permanecer unidas, fundamentadas na ligação atômica. A AWS aponta dois grupos de processos de soldagem, onde um tem como base a utilização de calor, sendo que há aquecimento e logo após a fusão dos materiais envolvidos, logo sua denominação é a soldagem por fusão de materiais. O segundo processo tem como base a deformação dos materiais a ser unido, quando aquecidos a uma temperatura abaixo da temperatura de fusão, este processo é conhecido como solda por pressão ou procedimento de solda no estado sólido.

Wainer, Brandi e Mello (1992) denominam a soldagem como procedimento de união entre dois elementos metálicos usando uma fonte de energia, com ou sem aplicação de pressão. Os processos de soldagem são empregados para produzir produtos e mecanismos metálicos. Cada processo de soldagem deve preencher os seguintes requisitos:

- Gerar uma quantidade de energia capaz de unir dois materiais, similares ou não;
- Remover as contaminações da superfície a serem unidas;
- Evitar contaminação da atmosfera com a área de soldagem;
- Ter controle da transformação de fase para que a solda alcance as propriedades desejadas, sejam químicas, físicas ou mecânicas.

Ainda, segundo os autores, as classificações dos processos de soldagem podem se dividir em vários subprocessos, onde pode-se ter a soldagem no estado sólido. Este tipo de soldagem se divide em dois subprocessos:

- Soldagem por explosão;
- Soldagem por atrito.

Já o processo de soldagem por fusão se divide em 3 (três) grupos principais :

- Soldagem por resistência;
- Soldagem oxiacetilêna;
- Soldagem com arco elétrico, sendo que este processo se subdivide em outros subprocessos:
  - a) Eletrodo revestido;
  - b) Arco submerso;
  - c) TIG;
  - d) MIG gás inerte;
  - e) MAG-CO2 com transferência por curto circuito;
  - f) MIG pulsado;
  - g) Soldagem por plasma;
  - h) Soldagem por eletroescória;
  - i) Soldagem por feixe de elétrons;
  - j) Soldagem a laser.

Conforme a ESAB<sup>1</sup> (2013), a maior parte dos processos de soldagem precisa da geração de calor suficiente que permita a fusão dos metais. Os tipos de fonte de calor são frequentemente usados como descrição destes tipos de processo, por exemplo: solda acetilênica e solda a plasma. Um dos maiores problemas da solda nos metais é a reação dos metais com a atmosfera quando aumentado sua temperatura. Para proteger os metais desta reação existem técnicas que variam desde recobrimento com fluxo, onde formam uma escória protetora, até proteção com gases inertes.

Para Quites (2002), a soldagem elétrica a arco é um processo de soldagem por solubilização líquida no qual a fusão origina-se da ação direta e localizada de um arco voltaico. Percebe-se que utilizar o processo é muito vantajoso como fonte de energia, uma delas é a alta concentração de calor que permite obter elevadas temperaturas em um pequeno espaço, de forma que a zona calórica fique muito limitada. Para que se possa obter o arco voltaico é preciso conectar o eletrodo e a peça à fonte de energia elétrica, essa fonte pode ser um transformador ou um conversor de solda e ainda um retificador. Após ligar a fonte de energia aparecerá uma diferença de potencial elétrico e a peça poderá ser soldada.

Embora o eletrodo e a peça estejam energizados, não passa corrente elétrica de um para o outro enquanto houver um espaço entre

---

<sup>1</sup> A ESAB (Elektriska Svetsnings Aktie Bolaget) é uma empresa multinacional, criada em 1904 na cidade de Göteborg na Suécia, fabricante de equipamentos e consumíveis para soldagem.

eles. Isso ocorre porque o ar é isolante elétrico. O processo mais simples de se obter um arco voltaico para soldagem consiste em aquecer o gás existente entre a peça e o eletrodo e sujeitá-lo a um bombardeio de elétrons. Isso ocorre quando o eletrodo energizado toca a peça, a tensão cai rapidamente a um valor muito baixo e a corrente cresce a um valor muito próximo da chamada corrente de curto circuito, a região que esta em contato com a peça se aquece rapidamente, até a incandescência, o metal incandescente energizado emite elétrons (QUITES, 2002).

## 2.1 TIPOS DE JUNTAS E DE CHANFROS

Para a execução de uma solda, faz-se necessário preparar as partes a serem unidas, muitas vezes tendo que criar ângulos entre as peças. São muitos os termos utilizados no campo da soldagem, para especificar as juntas ou uniões soldadas. Entende-se como junta a região soldada ou a região onde serão unidas as partes a serem soldadas, estas juntas são nomeadas dependendo da sua forma (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

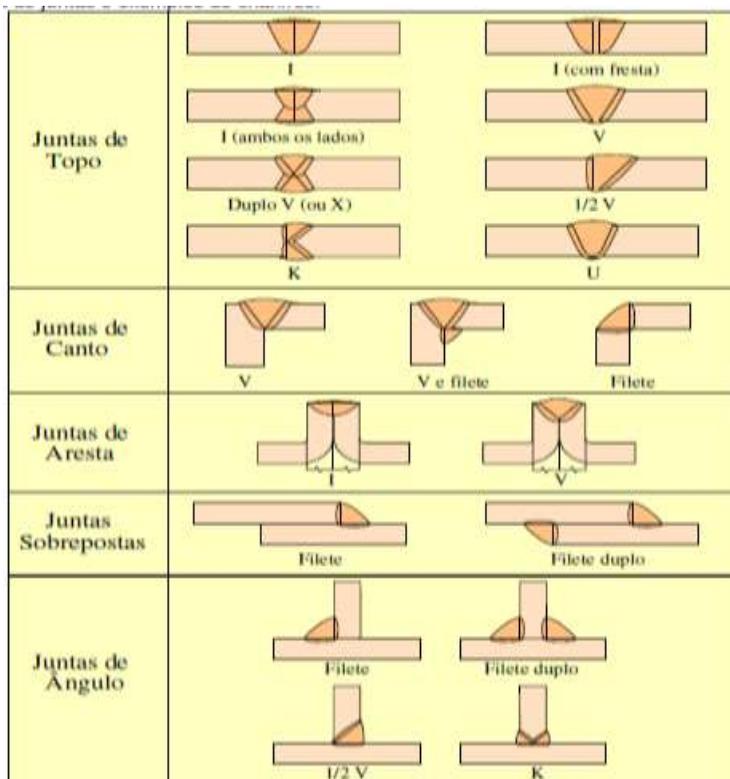
Quitês (2002) aponta que os diferentes tipos de juntas podem ser classificados se levado em consideração os seguintes critérios:

- a) Quanto à situação relativa das partes a serem soldadas;
- b) Quanto a posição a ser soldada em relação a gravidade terrestre;
- c) Quanto a forma que adquire sua preparação.

As juntas quanto a situação relativa das partes a serem soldadas também se classificam em :

- *De topo*: são aquelas, cujas as partes a serem soldadas se encontram na mesma altura;
- *De canto*: são as em que as partes a serem soldadas se encontram na mesma altura;
- *Em ângulo*: podem ter sua junção no formato em L, em T, de quina ou oblíqua;
- *Em aresta*: seus componentes formam ângulos de aproximadamente 180°;
- *Sobrepostas*: são formadas por dois componentes onde sua superfície se sobrepoem.

A Figura 1 mostra os tipos mais comuns de juntas.



**Figura 1 - Tipos de junta**

Fonte: (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009)

Cada junta tem um formato específico para a necessidade do projeto, estas preparações são denominadas de chanfro. Os tipos de chanfro mais comuns utilizados na soldagem são:

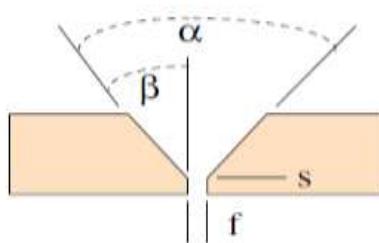
- *Tipo I*: são utilizados em locais onde é possível obter boa penetração sem a abertura de um chanfro, muito utilizado em peças de pequena espessura. Por este motivo, seu custo é mais barato se comparado aos outros tipos de chanfros;
- *Tipo V ou meio V*: estes são utilizados quando a espessura a ser soldada é muito grande, porém este tem um custo elevado por necessitar de uma quantidade maior de material de adição para preencher o chanfro;
- *Tipos U, J, K e X*: no caso destes chanfros, o custo é mais elevado, se comparados ao tipo V, mas tem vantagens em relação aos outros já citados, porque se consegue equilibrar

as tensões térmicas provenientes da soldagem, como consequência apresentar menor repuxo das peças que estão sendo soldadas.

Na escolha de um chanfro, também deve-se levar em consideração a definição por seus elementos como também suas características dimensionais, onde os principais elementos são:

- Nariz ou face da raiz (S): parte não chanfrada da junta.
- Abertura da raiz ou folga da junta (F): esta é a menor distância entre as partes a serem soldadas.
- Ângulo do bisel ( $\beta$ ): este é o ângulo da parte chanfrada de um dos elementos da junta.
- Ângulo do chanfro ( $\alpha$ ): soma dos ângulos de bisel dos componentes da junta.

A Figura 2 mostra um chanfro com os elementos citados acima.

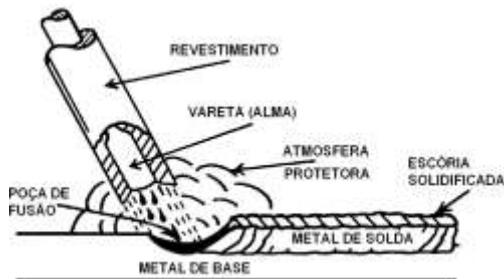


**Figura 2 - Elementos de um chanfro**

Fonte: (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009)

## 2.2 SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO

Segundo Tecco (1992, p. 31), “a soldagem com eletrodos revestidos é definida como um processo de soldagem com arco, onde a união é produzida pelo calor do arco criado entre um eletrodo revestido e a peça a soldar.” A Figura 3 demonstra um esquema de soldagem por eletrodo revestido.



**Figura 3 - Esquema de soldagem por eletrodo revestido**

(Fonte: FONTES, 2005)

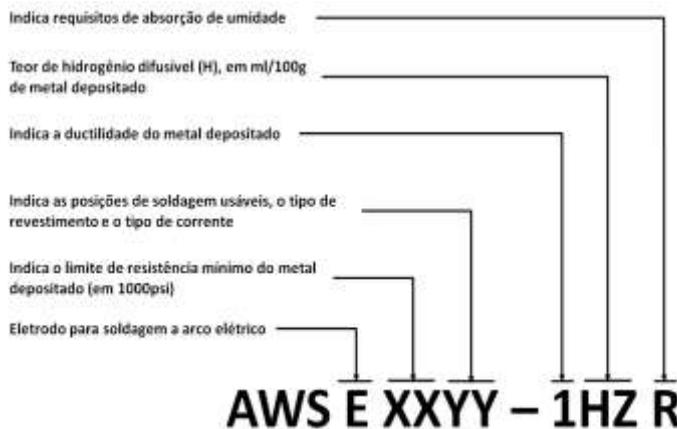
O eletrodo revestido consiste de uma vareta metálica, chamada “alma”, trefilada ou fundida, que conduz a corrente elétrica e fornece metal de adição para enchimento da junta. A alma é recoberta por uma mistura de diferentes materiais, numa camada que forma o “revestimento” do eletrodo (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009, p. 182).

Os ingredientes que compõem o revestimento são triturados misturados e dosados até se obter uma massa homogênea. Esta massa é conformada contra as varetas metálicas, com comprimentos padronizados de 300 mm. Após esse processo o eletrodo passa por outro processo onde se remove uma extremidade para permitir o contato com o porta eletrodo, assim a vareta passa a ser uma espécie de condutor gerando um arco voltaico na extremidade oposta. Estes revestimentos podem variar em grande escala de acordo com a aplicação. Escolhendo os ingredientes do revestimento consegue-se efeitos especiais, assim tem-se, por exemplo: eletrodos básicos e ácidos. Eletrodos básicos são aqueles que têm caráter alcalino, isto é, qualquer hidróxido, ou óxido, de metal alcalino (lítio, sódio, potássio, rubídio e cézio). O revestimento básico é feito à base de carbonato e fluorita.

Quanto ao princípio de classificação dos eletrodos revestidos de aço com baixo teor de carbono, segundo a AWS, é um conjunto de números e letras, onde cada símbolo fornece uma informação importante em relação ao eletrodo.

Conforme a AWS, a identificação é iniciada pela letra E, onde indica que o consumível é um eletrodo. O próximo conjunto é formado por 2 ou 3 números e, indica o limite de resistência mínimo a tração do

material de adição em (1.000 psi). O próximo dígito é um algarismo e indica a posição de soldagem em que se alcançam melhores resultados, onde o número 1 é para todas as posições; o número 2 é para posições plana e horizontal; o número 4 é para plana, horizontal e vertical descendente. O próximo dígito indica o tipo de revestimento do eletrodo onde pode ser celulósico, rufílico, básico e de alto rendimento (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009). De acordo com a figura a seguir, pode-se compreender a nomenclatura do eletrodo.



**Figura 4 - Classificação da AWS para eletrodos revestidos**

Fonte: MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009

Na soldagem, são consumíveis todos os materiais utilizados na fusão ou proteção durante o processo. Estes consumíveis podem variar desde eletrodos revestidos, a fluxos ou gases. Para a seleção dos consumíveis é primordial que se tenha o domínio no processo de soldagem, pois cada processo utiliza consumíveis específicos, e os fatores que podem ser utilizados são: o material a ser soldado, a geometria da junta, a posição a ser soldada, a espessura do material de base, dentre outras (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992).

Em relação ao processo de soldagem por eletrodo revestido, o consumível principal, é o eletrodo revestido, onde este é constituído por uma alma metálica, com diâmetro variável de 1,5 a 8 milímetros e um comprimento padrão de 300 mm. Em relação ao revestimento a uma composição que determina as características de operação do eletrodo revestido e suas influências variam desde a composição química, até as

propriedades mecânicas do cordão de solda, além destas funções já citadas, o fluxo serve ainda para formar uma camada protetora no cordão de solda, facilitar a soldagem em diversas posições, reduzir o nível de respingos, controlar a velocidade de resfriamento no cordão de solda, aumentar a taxa de deposição, realizar proteção no cordão, tais como desoxidação e promover a adição de elementos de liga.

De acordo com Marques, Modenesi e Bracarense (2009), os eletrodos revestidos são classificados de acordo com os sistemas propostos por diferentes sociedades. As classificações mais usadas no Brasil são as apresentadas pela AWS, conforme demonstra a Tabela 1.

**Tabela 1- Especificação da norma AWS para eletrodo revestido**

<b>Especificação</b>	<b>Tipos de Eletrodo</b>
<i>AWS A 5.1</i>	Eletrodos revestidos para soldagem a arco de aço ao carbono
<i>AWS A 5.3</i>	Eletrodos revestidos para soldagem a arco do alumínio e suas ligas
<i>AWS A 5.4</i>	Eletrodos revestidos para soldagem a arco de aço inoxidáveis
<i>AWS A 5.5</i>	Eletrodos revestidos para soldagem a arco de aço de baixa liga
<i>AWS A 5.6</i>	Eletrodos revestidos para soldagem a arco de cobre e suas ligas
<i>AWS A 5.11</i>	Eletrodos revestidos para soldagem a arco de níquel e suas ligas
<i>AWS A 5.13</i>	Eletrodos revestidos para o revestimento por soldagem a arco
<i>AWS A 5.15</i>	Eletrodos e varetas para soldagem do ferro fundido

Fonte: MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2009), cada eletrodo revestido tem uma formulação, que pode ser dividida em diferentes tipos: revestimento oxidante, ácido, básico, celulósico e rutílico. Este último foi utilizado nesta pesquisa. O revestimento rutílico produz grande volume de escória, muito densa e de fácil remoção podem ser utilizados em corrente contínua e corrente alternada, também é aplicável em todas as posições, produz um cordão de ótimo aspecto, este tipo de eletrodo tem grande versatilidade para uso geral.

### 3 O SOFTWARE EXCEL NA ANÁLISE DE CUSTOS E NA CONSTRUÇÃO DE PLANILHA DE ORÇAMENTOS NA ÁREA DA SOLDAGEM

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2009), por um longo período da história, os preços de produtos e serviços foram determinados por meio da fórmula simples: preço = custo + lucro. Percebe-se que o custo total era repassado integralmente aos preços finais, sem que houvesse muita preocupação com sua evolução até se iniciar o processo de globalização da economia, desde então, os diversos setores reviram suas posições quanto à formulação dos preços e serviços. Dessa forma, a equação teve de ser rearranjada como: lucro = preço - custo.

Ainda, para os autores, a análise dos custos geralmente pode ser solicitada previamente, como também ocorre no processo de soldagem, constituindo assim, uma estimativa de custo, por exemplo, para participar de uma concorrência, para uma operação já existente para compor o custo de um produto, avaliar lucratividade ou comparar o custo orçado com custo real. “Uma avaliação incorreta dos custos de soldagem pode levar a empresa a oferecer preços muito baixos e gerar perdas econômicas, ou preços muito altos que inviabilizarão a empresa na captação de obras” (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009, p. 152).

Para Canetti (1992), a palavra custo pode significar dados anteriores ou posteriores à fabricação, permitindo a estimativa de custo ou custo real. Os motivos do custo são: elaboração de orçamentos para concorrência; e estimativas para comparação entre processos de fabricação ou de soldagem.

Dois modos podem ser propostos para a determinação do custo: método do cálculo detalhado, item por item, obtendo-se ao final um valor muito próximo ao teoricamente correto; e o método da planilha. A diferença entre eles está na quantidade de cálculos do primeiro e na menor precisão do segundo (CANETTI, 1992, p. 450).

De acordo com Marques, Modenesi e Bracarense (2009), o custo total de um processo de soldagem pode ser desmembrado em diversas parcelas, como mostrado na fórmula (1), abaixo:

$$CT = CMO + CC + CE + CM + CD + CMC \text{ (R\$)}, \quad (1)$$

onde CMO é o custo da mão de obra, CC é o custo dos consumíveis, CE é o custo da energia elétrica, CM é o custo de manutenção, CD é o custo de depreciação e CMC é o custo de outros materiais de consumo.

Canetti (1992), também demonstra uma fórmula para determinar os custos de soldagem:

$$C = C1 + C2 + C3 + C4 + C5 + C6 + C7 + C8 \quad (2)$$

Onde:

**Tabela 2 – Siglas e Significados da Fórmula (2)**

<b>Sigla</b>	<b>Significado</b>
<b>C</b>	Custo total da soldagem
<b>C1</b>	Custo do metal de adição a utilizar
<b>C2</b>	Custo da energia elétrica consumida
<b>C3</b>	Custo da mão de obra envolvida
<b>C4</b>	Custo de manutenção do equipamento
<b>C5</b>	Custo da depreciação do equipamento
<b>C6</b>	Custo dos produtos protetores
<b>C7</b>	Custo do material de proteção (luvas, máscaras, etc.)
<b>C8</b>	Custo do material consumível (bicos e bocais)

Canetti (1992) aponta que a imprecisão do método da planilha está no fato de não se considerar os custos da manutenção do equipamento e do material consumível. Também destaca que o valor do custo do metal de adição é dado pelo produto da quantidade de solda na junta pelo preço do metal de adição a consumir, multiplicado pela eficiência do metal de adição.

Quanto aos custos dos consumíveis (CC), este é dado:

[...] pela soma dos custos do metal de adição (CMA), do fluxo (CF) e do gás de proteção (CG), se usados. A estimativa do custo do metal de adição deve-se iniciar pela avaliação do custo do metal depositado (CMD), calculado pelo produto da massa de metal depositado pelo custo do eletrodo (ou vareta).  $CMD = \text{massa do metal depositado (Kg)} \times \text{custo do eletrodo (R\$/ Kg)}$  (MARQUES et al, 2009).

Os autores afirmam que a massa do metal depositado (MMD) é calculada pelo produto da área da seção transversal da junta, pelo comprimento da solda vezes a densidade do material mostrado na equação (3).

$$\text{MMD (Kg)} = A \text{ (cm}^2\text{)} \times L \text{ (cm)} \times \rho \text{ (Kg/ cm}^3\text{)}, \quad (3)$$

Onde A é a área da seção transversal da junta, L é o comprimento da solda e  $\rho$  é a densidade do material.

O custo do metal de adição (CMA) deve levar em conta também que parte deste é perdida na forma de respingos, pontas descartadas dentre outros, estimada pela eficiência de deposição. A eficiência de deposição depende do processo e dos parâmetros de soldagem conforme equação (4), (MARQUES et al, 2009).

$$\text{CMA (R\$)} = 100 \text{ CMD/ ED (\%)} \quad (4)$$

O autor também aborda questões relacionadas ao custo da mão de obra, demonstram a seguinte expressão: CMO (R\$)= (Custo Unitário) (R\$/h) x (tempo de soldagem) (h). Afirmam que o custo unitário pode ser calculado incluindo salários, encargos sociais e os custos fixos da empresa e que no custo de mão de obra pode levar em consideração apenas o trabalho dos operadores de soldagem.

Tendo a ciência dos fatores que podem influenciar nos custos do processo de soldagem, o empreendedor/ soldador pode realizar orçamentos sobre o seu serviço. O orçamento pode ser considerado, segundo Bomfim (2007, p. 21) um:

[...] instrumento integrante do processo de planejamento e controle operacionais de qualquer empresa, independente do porte ou da atividade econômica. Em geral, as empresas procuram planejar e controlar suas atividades operacionais através da técnica orçamentária. As tarefas são formalizadas e sistematizadas para que possam ser executadas.

Muitas vezes, para o oferecimento de orçamentos, utilizam-se recursos computacionais. Conforme Aguilar (2008), as operações que o *hardware* deve realizar são especificadas por uma lista de instruções, chamadas programas ou *software*. O *software* dividi-se em dois grupos: *software* do sistema e *software* de aplicações. O *software* do sistema é o conjunto de programas indispensáveis para que a máquina funcione,

“esses programas são, basicamente, o sistema operacional, os editores de texto, os compiladores/interpretadores (linguagens de programação) e os programas utilitários” (AGUILAR, 2008, p. 18). Um dos programas mais importantes é o sistema operacional, pois este facilita a escrita e o uso de seus próprios programas.

O *Excel* pode ser considerado uma importante ferramenta, pois além de permitir realizar complexos cálculos numéricos, possibilita, entre outras funcionalidades, a criação de gráficos e diagramas elaborados, a organização, gestão e análise de dados em listas ou tabelas, a importação de dados de diferentes origens e a automatização de tarefas complexas através de macros de comandos e de funções.

O *Microsoft Excel* é um aplicativo de planilhas eletrônicas que pode ser utilizada para as mais diversas finalidades. Nestas planilhas podem ser elaboradas tabelas simples, contendo apenas informações básicas como uma tabela de preços, de produtos ou ainda tabelas complexas, com várias fórmulas para cálculo de porcentagem. Gráficos, formatações especiais de acordo com os valores da tabela e filtros dados (PINOTTI, 2007). A diante, será apresentada a planilha de orçamentos desenvolvida durante esta pesquisa.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

A partir do embasamento teórico e do objetivo deste trabalho, sendo este desenvolver uma ferramenta computacional a fim de oferecer orçamentos sobre o processo de soldagem por eletrodo revestido, inicialmente se fez necessário realizar um processo de soldagem por eletrodo revestido, com o objetivo de identificar alguns valores, como: perdas com escórias, pontas de contato, respingos e gases, assim como da eficiência de deposição, que contribuíssem para a criação de uma planilha para orçamentos a partir do *software Excel*, da *Microsoft Windows*.

O processo de soldagem foi efetuado em dois ambientes, no laboratório de soldagem do IFSC – Campus Geraldo Werninghaus e na residência do autor deste trabalho. Foram realizadas, aproximadamente 10 horas de soldagem. A medição da massa dos corpos de prova, dos eletrodos, das pontas e das escórias, foi realizada no IFSC – Campus Jaraguá do Sul. Neste sentido, adiante será apresentada maiores informações sobre o processo de soldagem por eletrodo revestido e sobre o desenvolvimento da ferramenta computacional para a construção de orçamentos na área da soldagem por eletrodo revestido.

### 4.1 ESCOLHA DO MATERIAL DE BASE

Dentre os metais, a maioria é soldável, alguns com caráter de maior facilidade, outros nem tanto. Para melhor escolha dos materiais a serem soldados, pode-se levar em consideração as seguintes indagações:

1. O metal de base é ideal para o emprego previsto? Isto é, possui características ideais e imprescindíveis para resistir à determinada aplicação?
2. O projeto da solda atende sua aplicação? A solda apresentará resistência mecânica, tenacidade, ductilidade e, resistirá à fadiga e a ação do ambiente?

Com relação aos aços, as principais classificações encontradas são: aços estruturais, aços ferramentas, aços micro ligados, aços fundidos, aços ao níquel, aços baixo carbono, dentre outros. O sistema utilizado para essa classificação é a designação numérica dos aços. Este sistema é conhecido como AISI OU SAE que utiliza cinco números para instituir aço carbono e ligados (ASM, 2013).

Para a execução dos ensaios, optou-se por utilizar como material de base o aço de baixo carbono, pois é um material comumente utilizado na indústria e possui uma boa soldabilidade, e não exige pré-

aquecimento, bem como pós-aquecimento. Os aços de baixo carbono são os que se incluem as séries AISI C-1008 E C-1025, em um percentual de até 0,25% de carbono, de 0,25 a 1,25% de manganês, de no máximo 0,04% de fósforo e 0,05% de enxofre. Estes apresentam grande empregabilidade nas indústrias e construções. A soldabilidade destes aços tende ser extremamente fácil em qualquer processo de soldagem.

## 4.2 ESCOLHA DO ELETRODO REVESTIDO

Ao escolher um eletrodo revestido para determinado aço carbono, Quites (2002), ressalta alguns fatores:

- Tipo de metal de base: os aços com baixo teor de carbono podem ser soldados com eletrodos com alma doce já que não proporciona nenhum problema, pois o material de adição tem uma resistência à tração muito maior que a dos aços de baixa liga. Mas, a composição química do metal de adição tem grande importância para posteriores operações;
- Posição de soldagem: a posição em que a solda será executada também deve ser considerada, existem eletrodos para soldagem em todas as posições e eletrodo para posição plana ou horizontal;
- Equipamento: a seleção do eletrodo também esta associada com a máquina, por exemplo, se a máquina tem possibilidade de soldar em corrente contínua e alternada, então se deve considerar a seguinte situação:
  1. Para maiores penetrações na soldagem deve ser empregada corrente contínua.
  2. Para menores penetrações e maior taxa de deposição deve ser empregada corrente alternada.
- Espessura das chapas: na soldagem de peças com espessuras menores, o ideal é empregar eletrodos de baixa penetração. Em peças a serem soldadas com maior espessura é necessário eletrodo com maior penetração, e maior deposição de material de adição.

Para a aplicação dos ensaios deste estudo, foi utilizado o eletrodo E6013 OK 46.13 da ESAB. Este eletrodo rutílico é ideal para aços de baixo e médio teor de carbono, também pode ser aplicado em todos os

tipos de juntas, bem como, em todas as posições de soldagem. Produz cordões com ótimo acabamento, mesmo sem uma preparação ideal das juntas. Sua tensão de trabalho, segundo a ESAB (2013), é entre 18 e 28 V. Pode ser encontrada nos seguintes diâmetros: 2 mm; 2,5mm; 3,25mm; 4mm; 5mm e 6mm.

Para fins desta pesquisa, foram utilizados todos os diâmetros acima descritos. Estes foram operados em uma faixa de corrente alternada, entre 60 A a 250 A, com um comprimento de 350 mm. Na Figura 6 pode-se observar os parâmetros de soldagem para eletrodos revestidos OK.

**ELETRODOS REVESTIDOS OK**

Eletrodo	AWS	Diâmetro (mm)	Corrente (A)	Valor ótimo (A)	Tx. dep. (kg/h)	Ef. dep. (%)
OK 22.45P OK 22.50	E6010	2,5	60 – 80	75	0,7	72
		3,2	80 – 140	100 / 130	0,9 / 1,0	76 / 69
	E6010	4,0	90 – 180	140 / 170	1,3 / 1,3	74 / 64
		5,0	120 – 250	160 / 190	1,5 / 1,6	75 / 70
OK 22.65P	E6011	2,5	40 – 75	75	0,6	61
		3,2	60 – 125	120	1,0	71
		4,0	80 – 180	150	1,7	77
		5,0	120 – 230	180	1,9	73
OK 46.00 OK 46.13 OK 43.32	E6013	2,0	50 – 70	50	0,6	73
		2,5	60 – 100	85	0,7	73
		3,2	80 – 150	125	1,0	73
		4,0	105 – 205	140 / 160 / 180	1,2 / 1,4 / 1,6	76 / 74 / 71
		5,0	155 – 300	180 / 200 / 220	1,5 / 1,7 / 1,9	74 / 71 / 73
OK 33.80	E7024	3,2	130 – 170	140 / 180	1,9 / 2,3	72 / 71
		4,0	140 – 230	180 / 210 / 240	2,4 / 2,9 / 3,3	71 / 73 / 69
		5,0	210 – 350	245 / 270 / 290	3,4 / 3,8 / 4,1	69 / 71 / 68
		6,0	270 – 430	320 / 360	4,3 / 5,3	72 / 69

**Figura 5 - Recomendações de parâmetros de soldagem para eletrodos revestidos OK para aços.**

Fonte: (FONTES, 2005)

O eletrodo utilizado na pesquisa (E6013) tem uma grande quantidade de dióxido de titânio ( $TiO_2$ ) em sua composição. São fabricados para operar em arco com baixa penetração, assim possibilitando soldar metais com espessuras pequenas. Também é adicionado composto de potássio com o intuito de estabilizar o arco elétrico, quando este é soldado em corrente alternada.

### 4.3 ESCOLHA DOS CORPOS DE PROVA

Para determinar a quantidade de corpos de prova, utilizou-se como base uma teoria de estatística indicada por Ulbricht (2013).

Durante o processo, vale ressaltar que, devido ao fato de não ser conhecido o tamanho da população, utilizou-se a expressão (5), a seguir.

$$n = \left( \frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{E} \right)^2 \quad (5)$$

Onde:

**n**: número de indivíduos da amostra

$Z_{\alpha/2}$ : valor crítico correspondente ao grau de confiança.

Geralmente utiliza-se 95% de confiança, logo  $Z_{\alpha/2} = 1,96$ .

**$\sigma$** : desvio padrão populacional da variável estudada.

**E**: Margem de erro ou erro máximo de estimativa. Identifica a diferença máxima entre a média amostral e a verdadeira média populacional.

*Obs.*: Segundo a teoria de estatística indicada, quando  $\sigma$  não for conhecido, pode-se usar  $\sigma \cong \text{amplitude}/4$ . Ou ainda, pode-se realizar estudo piloto com pelo menos 31 indivíduos (valores amostrais) e calcular o desvio padrão amostral (s), e usá-lo no valor de  $\sigma$ .

Na aplicação deste estudo, após utilizar os cálculos do tamanho da amostragem, optou-se em utilizar 30 corpos de prova.

#### 4.4 MEDIÇÃO DA MASSA DOS MATERIAIS ANTES DOS ENSAIOS

Após definição dos materiais de base, de adição e da quantidade de corpos de prova, iniciou-se o processo de medição de massa dos materiais a serem utilizados no processo de soldagem por eletrodo revestido. Para este processo foi medido a massa de 180 eletrodos, de diferentes diâmetros: 2 mm; 2,5mm; 3,25mm; 4mm; 5mm e 6mm, e 30 corpos de prova para cada diâmetro. Para evitar gastos com os corpos de prova, optou-se em utilizar ambos os lados de 90 corpos de prova, o que totaliza 180 corpos de prova.

Na Tabela 3 é possível visualizar os dados medidos de 30 corpos de prova e de 30 eletrodos de diâmetro de 2,5 mm.

Tabela 3 – Massa inicial do eletrodo de 2,5mm e do corpo de prova

Característica	Peso inicial (g)	Característica	Peso Eletrodo (g)
corpo de prova 1	331,79	eletrodo 1	19,28
corpo de prova 2	331,61	eletrodo 2	19,1
corpo de prova 3	314,12	eletrodo 3	19,08
corpo de prova 4	325,33	eletrodo 4	19,1
corpo de prova 5	348,21	eletrodo 5	19,1
corpo de prova 6	318,34	eletrodo 6	19,12
corpo de prova 7	331,36	eletrodo 7	19,19
corpo de prova 8	319,73	eletrodo 8	19,22
corpo de prova 9	414,95	eletrodo 9	19,22
corpo de prova 10	317,74	eletrodo 10	19,3
corpo de prova 11	307,76	eletrodo 11	19,19
corpo de prova 12	323,11	eletrodo 12	19,21
corpo de prova 13	379,05	eletrodo 13	19,24
corpo de prova 14	290,06	eletrodo 14	19,2
corpo de prova 15	346,75	eletrodo 15	19,21
corpo de prova 16	291,65	eletrodo 16	19,2
corpo de prova 17	371,11	eletrodo 17	19,16
corpo de prova 18	352,95	eletrodo 18	19,06
corpo de prova 19	305,74	eletrodo 19	19,39
corpo de prova 20	348,18	eletrodo 20	19,23
corpo de prova 21	346,15	eletrodo 21	19,23
corpo de prova 22	314,17	eletrodo 22	19,19
corpo de prova 23	360,61	eletrodo 23	19,1
corpo de prova 24	278,77	eletrodo 24	19,25
corpo de prova 25	331,53	eletrodo 25	19,29
corpo de prova 26	355,09	eletrodo 26	19,16
corpo de prova 27	341,27	eletrodo 27	19,21
corpo de prova 28	320,01	eletrodo 28	19,11
corpo de prova 29	317,51	eletrodo 29	19,03
corpo de prova 30	282,26	eletrodo 30	19,17
		Média	19,185

Fonte: (O AUTOR, 2013)

#### 4.5 EXECUÇÃO DA SOLDAGEM

Para executar a soldagem, inicialmente se fez necessário definir a corrente a ser utilizada. Esta normalmente é tabelada e, ao analisar a tabela da ESAB, verificou-se que existe uma corrente ideal para cada diâmetro de eletrodo. Ainda, segundo a ESAB, a taxa de deposição destes eletrodos também é tabelada em Kg/h, sem considerar as perdas com as pontas.

Após definir os parâmetros de soldagem para cada eletrodo, deu-se início a soldagem que, foi dividida em duas etapas. A máquina utilizada no processo de soldagem por eletrodo revestido foi um transformador de soldagem com capacidade de operar em corrente contínua e alternada, variando sua corrente de 50 A a 300 A. Foi utilizada uma câmera filmadora durante a execução da solda, a fim de verificar as imagens registradas durante a análise dos dados.

Na primeira etapa foram executados 90 cordões de solda, com eletrodos dos seguintes diâmetros: 2 mm; 2,5 mm e 3;25 mm.

Posteriormente a soldagem, houve novamente a medição e registro da massa dos corpos de prova.

Na segunda etapa foram utilizados eletrodos de diâmetro: 4 mm, 5 mm e 6 mm. Neste processo, foram utilizados os mesmos corpos de prova, mas a solda foi executada no lado oposto do primeiro cordão de solda, com o objetivo de minimizar o custo durante o processo experimental, como apontado em momento anterior.

Em seguida, houve a medição dos corpos de prova utilizados na segunda etapa. Para obter o valor real da massa destes corpos, foi necessário desconsiderar a massa inicial do corpo de prova e do cordão efetuado na primeira etapa da soldagem.

Em ambas as partes, além da medição de massa dos corpos de prova, houve a medição da massa das pontas de contato e das escórias, conforme as Figuras 08 a 10.



**Figura 6 - Separação da escória e ponta de contato**  
Fonte: (O AUTOR, 2013)



**Figura 7- Medição de massa corpo de prova**  
Fonte: (O AUTOR, 2013)



**Figura 8 - Medição de massa das pontas de contato**

Fonte: (O AUTOR, 2013)



**Figura 9 - Medição de massa das escórias**

Fonte: (O AUTOR, 2013)

## **5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS**

Para avaliar as perdas durante o processo de soldagem por eletrodo revestido, foi primordial coletar todas as informações necessárias para cada diâmetro de eletrodo utilizado, como: massa inicial do corpo de prova, massa do eletrodo, massa final do corpo de

prova, massa da escória e massa das pontas. Pode-se observar os dados referentes às perdas na Tabela 4.

**Tabela 4- Análise das perdas do material de adição**

<i>ELETRODOS</i>	<i>PERDAS ESCÓRIA</i>	<i>PERDAS PONTAS</i>	<i>EFICIÊNCIA DEPOSIÇÃO</i>	<i>OUTRAS PERDAS %</i>
2 mm	21,98%	6,83%	66,01%	5,18%
2,5 mm	22,07%	6,29%	66,09%	5,55%
3,25 mm	21,81%	6,43%	66,79%	4,97%
4 mm	22,40%	6,71%	66,26%	4,63%
5 mm	21,82%	6,72%	66,82%	4,64%
6 mm	21,62%	6,75%	67,43%	4,20%

FONTE: (O AUTOR, 2013)

Por meio do processo de soldagem por eletrodo revestido, encontrou-se, em média, uma eficiência de deposição de 66,53%. Nesta pesquisa foram consideradas as perdas com escória, ponta de contato, respingos e gases durante a realização dos cálculos da eficiência de deposição. O fabricante (ESAB) dos eletrodos utilizados durante a soldagem aponta uma eficiência de deposição de até 73%, pois o fabricante considera a massa total da alma do eletrodo revestido para o cálculo da eficiência de deposição.

Diante das perdas, percebe-se que estas são semelhantes independentemente do diâmetro do eletrodo, tendo, em média, uma perda de 21,95% com as escórias, de 6,62% com as pontas, de 4,86% com as outras perdas, sendo estas com os respingos e gases. Há no total uma perda de 33,47%.

#### 5.1 DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA ORÇAMENTO DE SOLDAGEM POR ELETRODO REVESTIDO

A partir dos dados encontrados por meio do processo de soldagem por eletrodo revestido (Tabela 3), iniciou-se a construção de uma planilha com o *software Excel*. Para a confecção desta planilha, inicialmente foi necessário estudar e selecionar algumas fórmulas, os itens de preenchimento e o *layout* de apresentação, a fim de esta planilha auxiliar nos orçamentos sobre o processo de soldagem por eletrodo

revestido. Após a seleção das informações deu-se início a estruturação da planilha.

Na Figura 10 (ou APÊNDICE A – CD) é possível verificar o *layout* inicial da planilha de orçamentos. O orçamentista poderá ter acesso à orientação de uso, aos dados de entrada, aos cálculos e ao relatório.



**Figura 10 - Página inicial da planilha**

Fonte: (O AUTOR, 2013)

O orçamentista, ao clicar em “Orientação de Uso” poderá ter acesso a informações que podem esclarecer dúvidas, nortear no preenchimento dos dados e na utilização das guias (ou *hiperlinks*). Já ao clicar na guia “Dados de Entrada”, o orçamentista terá acesso a vários itens relacionados ao processo de soldagem por eletrodo revestido a serem preenchidos, de acordo com a Figura 11. Os campos verdes são de preenchimento obrigatório, o vermelho opcional.

Os dados a serem introduzidos são:

- Espessura da chapa (mm);
- Comprimento da Solda (mm);
- Tipo de Junta (dentre as opções: tipo V, tipo X e Ângulo);
- Tipo do Material (dentre as opções: aço baixo carbono, aço médio carbono e aço alto carbono);
- Tipo de Eletrodo (dentre as opções: E6010 22.50 celulósico, E6013 OK 46.00 e E7018 48.04 básico);
- Diâmetro do Eletrodo (dentre as opções: 2; 2,5; 3,25; 4; 5; e 6);
- Custo do Consumível;
- Número de Passes;
- Custo da Hora do Soldador;

- Ângulo da Parte Inferior da Junta em X;
- A Altura da Parte Inferior da Junta;
- O Nariz;
- A Altura do Reforço;
- A Abertura do Nariz;
- Área da Junta a ser Soldada (opcional);
- Custo de Energia;
- Custo do Equipamento.

CUSTOS E PERDAS NA SOLDAGEM					
INFORME A ESPESURA DA CHAPA	3	mm		INFORME O ÂNGULO DA JUNTA	45 °
INFORME O COMPRIMENTO DA SOLDA	1200	mm		Informe Ângulo da parte inferior da junta em X	45 °
INFORME O TIPO DE JUNTA	ÂNGULO	-		INFORME a altura da parte inferior da junta X mm	25 mm
INFORME O TIPO DE MATERIAL	Aço alta carbono	-		INFORME O NARIZ mm	2 mm
TIPO DE ELETRODO	ESG05 DE 4680 mm	-		INFORME A ALTURA DO REFORÇO mm	1 mm
SELECIONE O DIÂMETRO DO ELETRODO	2,5	mm		INFORME A ABERTURA DO NARIZ mm	1 mm
INFORME O CUSTO DO CONSUMÍVEL	15	R\$/Kg		INFORME A ÁREA DA JUNTA SOLDADA (OPCIONAL)	mm
INFORME O Nº DE PASSES	5	Nº		INFORME O CUSTO DA ENERGIA EM R\$/kWh	12 R\$/kWh
INFORME O CUSTO DA HORA DO SOLDADOR	20	R\$/h		INFORME O CUSTO DO EQUIPAMENTO	1000 R\$

**Figura 11- Página dos dados de entrada**

Fonte: (O AUTOR, 2013)

Após o orçamentista inserir os dados de entrada nos itens indicados acima, este poderá encontrar na guia “Cálculos”, conforme Figura 12, valores calculados/ encontrados e indicações para os seguintes itens:

- Densidade do Material;
- Faixa de Corrente Usual (A);
- Faixa de Corrente Ideal (A);
- Classificação AWS;

- Perdas nas Pontas (%);
- Perdas na Escória (%);
- Outras Perdas (respingos e gases) (%);
- Custo da Mão de Obra (R\$);
- Custo de Energia Elétrica (R\$);
- Perdas em Pontas de Contato (Kg);
- Outras Perdas (Kg);
- Área da Junta Soldada Transversal (mm<sup>2</sup>);
- Massa do Metal de Adição Utilizado na Soldagem (Kg);
- Custo do Material de Adição Depositado (R\$/ Kg);
- Número de Eletrodos Gastos na Soldagem;
- Tempo de Arco Aberto (min.);
- Tempo de Soldagem (h);
- Custo Total da Solda (R\$);
- Custo do Consumível Total (R\$);
- Custo da Depreciação da Máquina;
- Perdas da Escória (Kg);
- Somatório das Perdas (Kg).

CUSTOS E PERDAS NA SOLDAGEM					
DENSIDADE DO MATERIAL =>	0,00785	kg/cm <sup>3</sup>	ÁREA DA JUNTA SOLDADA TRANSVERSAL	0,204	mm <sup>2</sup>
FAIXA DE CORRENTE USUAL	60 x 100	A	MASSA DO METAL DEPOSITADO	1,524	kg
CORRENTE IDEAL	85	A	CUSTO DO MATERIAL DE ADIÇÃO DEPOSITADO	28,86	R\$/kg
CLASSIFICAÇÃO AWS	ASME SFA 3.1	-	NÚMERO DE ELETRODOS GASTOS NA SOLDAGEM	100	UNIDADE
PERDAS NAS PONTAS	6,29	%	TEMPO DE ARCO ABERTO	24	min
PERDAS NA ESCÓRIA	22,07	%	TEMPO DE SOLDAGEM	1,00	h
OUTRAS PERDAS	5,55	%	CUSTO TOTAL DA SOLDA	35	R\$
CUSTO TOTAL DE MÃO DE OBRA	30,00	R\$	CUSTO DO CONSUMÍVEL TOTAL	31,86	R\$
CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA	1,36	R\$	CUSTO DA DEPRECIAÇÃO DA MÁQUINA	2,28	R\$

Figura 12 - Página dos cálculos

Fonte: (O AUTOR, 2013)

Na guia “Relatório”, o orçamentista recebe um relatório mais simples, conforme Figura 13, com as seguintes informações:

- Tipo de Eletrodo Utilizado;
- Diâmetro do Eletrodo Utilizado;
- Classificação AWS;
- Faixa de Corrente Usual (A);
- Faixa de Corrente Ideal (A);
- Custo da Mão de Obra (R\$);
- Custo de Energia Elétrica (R\$);
- Tipo de Junta;
- Tipo de Material;
- Área Transversal da Junta Soldada (mm<sup>2</sup>);
- Massa do Metal Depositado (Kg);
- Número de Eletrodos Utilizados na Soldagem;
- Tempo de Soldagem (h);
- Custo Total da Solda (R\$).

 <b>Relatório de soldagem</b>			
TIPO DE ELETRODO UTILIZADO		TIPO DE JUNTA	
E6013 OK 46.00 rutílico		ÂNGULO	°
DIÂMETRO DO ELETRODO UTILIZADO		TIPO DE MATERIAL	
2,5	mm	Aço alto carbono	
CLASSIFICAÇÃO AWS		ÁREA TRANSVERSAL DA JUNTA SOLDADA	
ASME SFA 5.1		0,2043	mm
FAIXA DE CORRENTE USUAL		MASSA DO METAL DEPOSITADO	
60 a 100	A	1,924	Kg
FAIXA DE CORRENTE IDEAL		Nº DE ELETRODOS GASTOS NA SOLDAGEM	
85	A	100	Nº
CUSTO DA MÃO DE OBRA		TEMPO DE SOLDAGEM	
20,00	R\$	1,00	h
CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA		CUSTO TOTAL DA SOLDA	
1,36	R\$	57,55	R\$

**Figura 13- Página relatório de soldagem**

Fonte: (O AUTOR, 2013)

## 6 CONCLUSÕES

Dentro dos limites temporais e geográficos desta pesquisa, onde a soldagem por eletrodo revestido tende a ser um dos processos mais utilizados no âmbito da metal-mecânica, procurou-se desenvolver uma ferramenta computacional que permitisse a execução de orçamentos sobre serviços prestados com este tipo de soldagem.

Diante desta tarefa, observou-se, na soldagem experimental por eletrodo revestido que as principais perdas estão relacionadas com as pontas e escórias, com uma média percentual de 6,62% e 21,95%, respectivamente. Outras perdas verificadas foram com respingos e gases, com uma média percentual de 4,86%. Vale ressaltar que a eficiência de deposição, nesta pesquisa, não alcançou o valor apresentado pelo fabricante, ficando em uma defasagem de 6,47% pois, o fabricante considera a alma total do eletrodo para o cálculo da eficiência de deposição.

A partir dos dados encontrados, foi possível desenvolver uma planilha de orçamentos a partir do *software Excel*, da *Microsoft Windows*, onde o orçamentista/ soldador ao inserir dados pode estar ciente do valor do seu serviço prestado. Ainda, neste sentido, nota-se a necessidade de aprimoramentos nesta planilha, para que de fato o valor final encontrado pela orçamentista seja ainda mais preciso. Para isto, acredita-se que seja necessário realizar processos de soldagem com as seguintes indicações:

- Variar o sujeito soldador;
- Utilizar eletrodos de diâmetros e marcas diferentes;
- Utilizar diferentes equipamentos de solda;
- Aumentar o número de corpos de prova;
- Utilizar outras técnicas de soldagem (MIG, MAG, TIG,...), a fim de explanar a planilha de orçamentos, não ficando limitada somente a soldagem por eletrodo revestido;
- Utilizar ou desenvolver um *software* mais dinâmico que, talvez, possa ser comercializado.

Por fim, considerando as poucas pesquisas encontradas que trabalhassem na interface soldagem por eletrodo revestido e utilização de *softwares/* programas computacionais para a disponibilização de orçamentos, percebe-se a necessidade de novos estudos que busquem abranger as indicações acima apontadas, permitindo novas análises. Neste trabalho, conseguiu-se apenas fazer algumas aproximações sobre o tema.

## REFERÊNCIAS

- AGUILAR, L. J.. Fundamentos de Programação: algoritmos, estruturas de dados e objetos. São Paulo:McGraw-Hill, 2008.
- ASM. *ASM, METALS HANDBOOK* (8º edição ed., Vol. VI), 2013.
- AWS. (1996). *American Welding society Materials and applications- part 1* (8º edição ed., Vol. 3). AWS; Welding; Handbook.
- BOMFIM, C. A. G. P.. *Planejamento financeiro e orçamento operacional em uma microempresa*. Porto Alegre, 2007.
- CANETTI, E. E.. Custos nos processos de soldagem. In: *Soldagem: processos e metalurgia*. Coord.: WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.
- ESAB. *Como um passo lógico após sua invenção do eletrodo revestido, em 1904, Oscar Kjellberg fundou a ESAB*. Disponível em: <<http://www.esab.com.br/br/por/index.cfm>>. Acessado em out. de 2013.
- FONTES, C.. *Eletrodos revestidos OK*. Brasil, 2005.
- MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q.. *Soldagem fundamentos e tecnologia* (Vol. 3º edição). Belo Horizonte: UFMG, 2009.
- PINOTTI, E. L.. *Microsoft Excel*. São José do Rio Preto, SP: Editora Microlins Brasil, 2007.
- QUITES, A. M.. *Introdução à soldagem a arco voltaico*. Florianópolis: Soldasoft, 2002.
- TECCO, D. T.. Processo de soldagem com eletrodo revestido. In: *Soldagem: processos e metalurgia*. Coord.: WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. 2ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992.
- WAINER, E., BRANDI, S. D., & MELLO, F. D.. *Soldagem processos e metalurgia*. 2ª ed. São Paulo: editora Edgard Blücher , 1992.
- ZIEDAS, S.; TATINI, E.. *Fundação tecnologia de soldagem*. 3ª ed., 1997.