

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

LUCAS PEREIRA TOLEDO

INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DE CORRENTE SOBRE O CUSTO DE SOLDAS DE
TOPO COM CHANFRO EM V PRODUZIDAS PELO PROCESSO FCAW
EMPREGANDO ARAME *FLUX-CORED* RUTÍLICO

BELO HORIZONTE

2021

LUCAS PEREIRA TOLEDO

INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DE CORRENTE SOBRE O CUSTO DE SOLDAS DE
TOPO COM CHANFRO EM V PRODUZIDAS PELO PROCESSO FCAW
EMPREGANDO ARAME *FLUX-CORED* RUTÍLICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Graduação em Engenharia de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Cláudio Turani Vaz

BELO HORIZONTE

2021

LUCAS PEREIRA TOLEDO

INFLUÊNCIA DA INTENSIDADE DE CORRENTE SOBRE O CUSTO DE SOLDAS DE
TOPO COM CHANFRO EM V PRODUZIDAS PELO PROCESSO FCAW
EMPREGANDO ARAME *FLUX-CORED* RUTÍLICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
no Curso de Graduação em Engenharia de
Materiais do Centro Federal de Educação
Tecnológica de Minas Gerais como requisito
parcial para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Materiais.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Cláudio Turani Vaz

Prof. Aline Silva Magalhães

Prof. Euclides Gonçalves Martins Filho

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe Jacinta e ao meu pai Rosival por todo carinho, amor, dedicação e apoio durante toda minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo que sou e tenho.

Aos meus pais e irmãos, que sempre me apoiaram em todos os momentos.

Ao professor Cláudio Turani Vaz, pela disponibilidade, atenção e ensinamentos que me permitiram realizar este trabalho.

À professora Aline Magalhães por todos ensinamentos, apoio e incentivo durante a realização deste trabalho.

A todos os professores do CEFET-MG que me ensinaram durante a minha graduação.

A toda minha família pelo incentivo e apoio.

Aos meus amigos: Fernando Duarte, Lucas Turani, Samuel Bessa e Vitor Hugo por toda a amizade e parceria durante todos os momentos em que estivemos juntos.

Aos funcionários do CEFET-MG.

RESUMO

Este trabalho se dedica a apresentar um projeto de engenharia relacionado a estimativa de custos. A situação apresentada constitui-se de um procedimento de soldagem na qual se analisa o impacto da variação de corrente nos custos finais do procedimento. Este estudo compreende o processo de soldagem FCAW com uso de CO₂ como gás de proteção e arame tubular AWS E71T1-C1A2-CS2 em junta de geometria em V e posição plana. Procedimentos de análise de custo são vitais a qualquer empresa que deseja manter-se competitiva no mercado, pois é a partir do conhecimento destes em seus processos que uma empresa pode tomar suas decisões financeiras mais essenciais. Sendo a soldagem um dos processos de fabricação de peças metálicas mais comuns da atualidade, torna-se ainda mais importante realizar estimativas de custos voltadas a estas operações. Juntas de solda com geometria e disposição tais como apresentadas neste estudo são usuais em indústrias que se utilizam de processos de soldagem, em especial nas de construção como a naval, justificando assim a importância deste. No desenvolvimento foram utilizados dados de mercado em conjunto a fórmulas e conhecimentos de engenharia e finanças associados à estimativa de custos de soldagem. A metodologia elaborada neste trabalho consiste em converter os dados obtidos à unidades desejadas e padronizadas, calcular os custos parciais por kg de material depositado utilizando-se dos valores calculados de tempo de arco e então converter tais custos em metro de solda a partir do volume da junta por metro de comprimento de solda. Assim, a metodologia visa transformar os dados e conhecimentos obtidos em nos resultados desejados, que são os custos parciais e totais de solda por kg de material depositado e os custos parciais e totais por metro de solda.

Palavras-chave: Estimativa de custos, soldagem, FCAW, arame tubular, rutílico.

ABSTRACT

The present work presents an engineering project related to cost estimate. The presented situation relates to a welding procedure which analyses the impact of the variation of the electric current on the final costs of the procedure. This study comprehends the FCAW welding process with use of CO₂ as protection gas and tubular wire AWS E71T1-C1A2-CS2 in a joint of geometry in V and plane position. Procedures of cost analysis are vital to any company that wishes to keep itself competitive on the market, as it is from the knowledge of their procedures that the company can take its most important financial decisions. Being welding one of the most important procedures of metal manufacturing presently, it becomes even more important to estimate the costs of those operations. Welding joints of geometry and disposition as presented in this study are common at industries that use welding processes, specially at those of construction, such as the naval industries, which justifies the importance of this study. Market data, in conjuncture of formulas and knowledge of engineering and finances associated with the Welding Cost Estimative were used in the development of this study. The methodology elaborated in this study consists in converting the collected data into desired units of measurement, calculating the partial costs per kg of deposited material by using the calculated times of arc and then converting those costs into costs per meter of weld length from the volume of joint per meter of weld length. And so, the methodology aims to transform those data and knowledge obtained onto the desired results, which are the partial and total costs of weld per kg of deposited material and per meter of weld length.

Key-words: Cost estimate, welding, FCAW, tubular wire; rutile.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Soldagem FCAW	18
Figura 2 - Identificação de Eletrodos FCAW para aço médio carbono.	21
Figura 3 - Relação entre corrente e custos de soldagem.	23
Figura 4- Diagrama Esquemático do Cálculo do Custo Energético.	25
Figura 5 - Fluxograma da Metodologia.	31
Figura 6 - Fonte de soldagem Aristo 500ix, com Robust Feed.	33
Figura 7- Esquema da peça a ser soldada.	34
Figura 8- Parcelas dos custos parciais no custo total.	46
Figura 9- Custo Eletrodo (por metro de solda)	46
Figura 10- Custo Gás (por metro de solda)	47
Figura 11 - Custo Energia (por metro de solda)	48
Figura 12- Custo Mão de Obra (por metro de solda)	49
Figura 13- Custo Overhead (por metro de solda)	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Vantagens, limitações e aplicações da soldagem FCAW	13
Tabela 2- Principais processos de soldagem a arco elétrico.	17
Tabela 3 - Ficha técnica: arame Dual Shield 7100 LH	20
Tabela 4 - Taxa de deposição típica para processos de soldagem a arco elétrico.	23
Tabela 5 - Valores Definidos:	37
Tabela 7 - Custos Totais	44
Tabela 8 - Custos parciais	44
Tabela 9- Custos Totais	45

LISTA DE SIMBOLOS E NOMECLATURAS

Ar - Argônio.

Ar+CO₂ - Mistura de gases Argônio e carbônico.

AWS - American Welding Society.

Áreas_T. - Área de Seção Transversal da junta (m²).

CAPEX - Despesas de Capital.

CEMIG - Companhia Energética de Minas Gerais.

CO₂ - Dióxido de carbono.

COFINS - Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social.

Consumo F.P. - Consumo fora de ponta.

FCAW - Soldagem por arco elétrico com arame tubular.

FCAW-G - Soldagem por arco elétrico com arame tubular e uso de gás de proteção.

GMAW - Soldagem por arco elétrico com gás de proteção.

I - Intensidade de corrente (em A)

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços.

O₂ - Oxigênio.

MAG - Soldagem por arco elétrico com gás de proteção ativo.

MIG - Soldagem por arco elétrico com gás de proteção inerte.

S.I. - Sistema Internacional de Unidades.

M.O. - Mão de Obra.

PASEP - Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público.

V - Tensão (em V), ou Volt.

V_{alimentação} - Velocidade de Alimentação do arame. (mm/s)

σ - Densidade do material (kg/m³);

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO	15
2.1 Objetivos gerais	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 Soldagem	16
3.2 Soldagem FCAW	18
3.3 Arames tubulares rútilicos	19
3.3.1 Especificação AWS 5.36	20
3.4 Estimativa de custos	21
3.5 Estimativa de custos de soldagem	22
3.5.1 Taxa de deposição	22
3.5.2 Custos de material	24
3.5.2.1 Custo de Material Depositado	24
3.5.2.2 Custo de Energia	25
3.5.2.3 Custo de Gás Consumido	27
3.5.2.4 Custo de Fluxo	29
3.5.3 Custo de Mão de Obra	29
3.5.4 Custo de Overhead	29
4 MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1 Materiais	32
4.1.1 Proposta Inicial	32
4.1.1.1 Equipamento	32
4.1.1.2 Junta	33
4.1.2 Definição de Consumíveis	34
4.1.2.1 Eletrodo	34

4.1.2.2 Gás	35
4.1.3 Pesquisa	35
4.1.3.1 Eletrodo	35
4.1.3.2 Gás	35
4.1.3.3 Mão de Obra	35
4.1.3.4 Energia	36
4.1.3.5 Definição do Overhead	37
4.1.3.6 Tabela de valores definidos	37
4.2 Métodos	38
4.2.1 Cálculo de Volume e Tempo de Arco	38
4.2.1.1 Volume	38
4.2.1.2 Tempo de Arco	38
4.2.2 Conversão de Valores	39
4.2.2.1 Gás	39
4.2.2.2 Mão de Obra	40
4.2.2.3 Energia	40
4.2.3 Cálculo de Custos (por kg de material depositado)	41
4.2.3.1 Eletrodo	41
4.2.3.2 Gás	41
4.2.3.3 Mão de Obra	41
4.2.3.4 Energia	42
4.2.4 Conversão de Custos (R\$/m)	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1 Conversão de unidade	43
5.2 Custo (por kg de material depositado)	43
5.2.1 Custo Total (por kg de material)	43
5.2.2 Custos Parciais (por kg de material)	44

5.3 Custo (por metro de solda)	45
<i>5.3.1 Custo Total (por metro de solda)</i>	45
<i>5.3.2 Custos Parciais (por metro de solda)</i>	45
<i>5.3.2.1 Custo Eletrodo</i>	46
<i>5.3.2.2 Custo Gás</i>	47
<i>5.3.2.3 Custo Energia</i>	48
<i>5.3.2.4 Custo Mão de Obra</i>	48
<i>5.3.2.5 Custo Overhead</i>	49
6 CONCLUSÃO	50
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
APÊNDICE A - PLANILHA DE RESULTADOS	53
APÊNDICE B - PLANILHA DE VARIÁVEIS	54

1 INTRODUÇÃO

Segundo pesquisa americana (MILLER, 2002), no ano 2000 as indústrias relacionadas à soldagem correspondiam a aproximadamente um terço do produto interno bruto dos EUA. E dentre essas indústrias, na média aproximadamente 1,4% dos custos das empresas estavam diretamente ligados à soldagem. Em unidade financeira, este valor representa algo em torno de \$34,1 bilhões de dólares. Tais valores permitem estimar a importância da soldagem na sociedade atual. Assim, não é exagero dizer que a soldagem é um dos mais importantes processos produtivos da atualidade. Entender os custos associados a tal processo é vital a todas estas empresas que desejam se manter competitivas no mercado. A compreensão de custos é pilar fundamental que sustenta o funcionamento do mercado. Assim, estudos voltados ao tema são centrais ao progresso e desenvolvimento de nossa sociedade.

Dentre os processos de soldagem, o FCAW (*Flux Cored Arc Welding*), mesmo com suas limitações, se mostra de grande importância devido às suas diversas vantagens e aplicações. A Tabela 1 (MODENESI, 2001) mostra algumas das principais limitações, vantagens e aplicações do processo FCAW.

Tabela 1- Vantagens, limitações e aplicações da soldagem FCAW

Vantagens e limitações	Aplicações
Elevada produtividade e eficiência.	Soldagem de produção, manutenção e em montagens no campo.
Soldagem em todas as posições.	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga
Custo relativamente baixo.	Soldagem de ferro fundido
Produz soldas de boa qualidade e aparência	Soldagem da alumínio, níquel e suas ligas
Equipamentos relativamente caros	
Pode gerar elevada quantidade de fumos	
Necessita limpeza após soldagem	

Fonte: MODENESI, 2012, p 18.

Entretanto, alcançar um entendimento dos custos relacionados à soldagem nem sempre é algo trivial e requer uma gama de conhecimentos únicos compreendidos nos campos de engenharia e de finanças. Deste conjunto de conhecimentos surge o tópico trabalhado neste projeto: a Estimativa de Custos de Soldagem.

Assim, o presente trabalho têm por objetivo suprir tal necessidade e compreende um projeto de engenharia voltado a estimativa de custos de soldagem. Mais especificamente, de uma situação de soldagem FCAW com uso de CO₂ como gás de proteção e arame tubular Dual Shield 7100 LH (categorizado como AWS E71T1-C1A2CS2) em junta de topo com chanfro

em V com ângulo de abertura de 60° e espessura de $5/8''$ em posição plana. O projeto busca destrinchar e revelar os procedimentos e métodos requeridos ao cálculo de estimativa de custo. Dados atuais e pesquisados em ambiente real serão utilizados, como tarifas de energia e preços de materiais.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivos gerais

Realizar simulações de custos na soldagem pelo processo FCAW com arame tipo *flux-cored* rutílico classe E71T1-C1A2-CS2 de diâmetro de 1,2 mm em combinação com gás CO₂ em juntas de topos com chanfro em V variando-se a corrente de soldagem.

2.2 Objetivos específicos

Para se atingir o objetivo proposto serão executadas as seguintes etapas:

- Revisão, na literatura, das informações necessárias ao cálculo de custo em soldagem;
- Levantamento das variáveis necessárias ao cálculo de custo;
- Montagem de uma planilha com as fórmulas empregadas para, a partir do carregamento das variáveis, calcular o custo da solda produzida;
- Comparação os resultados obtidos nas simulações realizadas empregando as diferentes correntes de soldagem.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Soldagem

Embora a soldagem, em sua forma atual, seja um processo recente, tendo menos de 150 anos de aplicação, ela é o principal processo de união permanente de peças metálicas. Quando comparada a outros processos de fabricação, a soldagem se mostra um processo versátil (podendo ser empregado em ampla gama de ligas e espessuras), de custo competitivo e que permite a montagem com rapidez e segurança (MODENESI, 2012). O processo de soldagem, segundo definição da AWS consiste em:

Processo de união de materiais usado para obter a coalescência (união) localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem utilização de pressão e/ou metal de adição (AWS,2001, p. 806).

Em peças metálicas, a união se dá pela aproximação dos átomos e moléculas das partes a serem unidas até uma distância que permita a formação de ligações químicas primárias ou secundárias similares às atuantes nos próprios materiais (MODENESI,2012; TURANI, 2019). Apesar da simplicidade do conceito, na prática diversos empecilhos se apresentam: rugosidade superficial, presença de impurezas na superfície (como óxidos, umidade, gordura e poeira), imperfeições da junta e outras diversas propriedades e fenômenos dificultam a união das peças (AWS, 2001; TURANI, 2019).

Os processos de soldagem podem ainda ser divididos em dois grandes grupos: soldagem por fusão e soldagem por deformação. A maioria dos processos de soldagem está inclusa no primeiro grupo. Nos processos de soldagem por fusão, utiliza-se da aplicação de calor até a fusão do material a ser soldado. É um processo "traumático" para o material, pois envolve aplicação de alta densidade energética em um pequeno volume de material, o que em geral leva à alterações estruturais e de propriedades dentro e na região próxima à solda (MODENESI, 2012). Já os processos por fusão podem ser classificados em soldagem a arco elétrico e outros processos. O arco elétrico é uma fonte de calor que irá fundir a extremidade do material de base o arco elétrico é formado por uma diferença de potencial gerada por uma máquina de solda. A Tabela 2 detalha os principais processos de soldagem por arco elétrico.

A soldagem também pode ser classificada de acordo com a forma de execução, sendo dividida em: manual, semiautomática (controle automático apenas de alimentação do arame), mecanizada (controle automático da alimentação do arame e do deslocamento do cabeçote de soldagem) ou automática (controle automático de todas operação) (TURANI, 2019). Diversas

novas técnicas de instrumentação e controle foram aderidas à soldagem nos últimos anos, com os desenvolvimentos das áreas de robótica e informática, principalmente essas tecnologias permitem maiores graus de modernização e automação, bem como uma melhor capacidade de tomada decisão e alteração dos parâmetros de soldagem.

Tabela 2- Principais processos de soldagem a arco elétrico

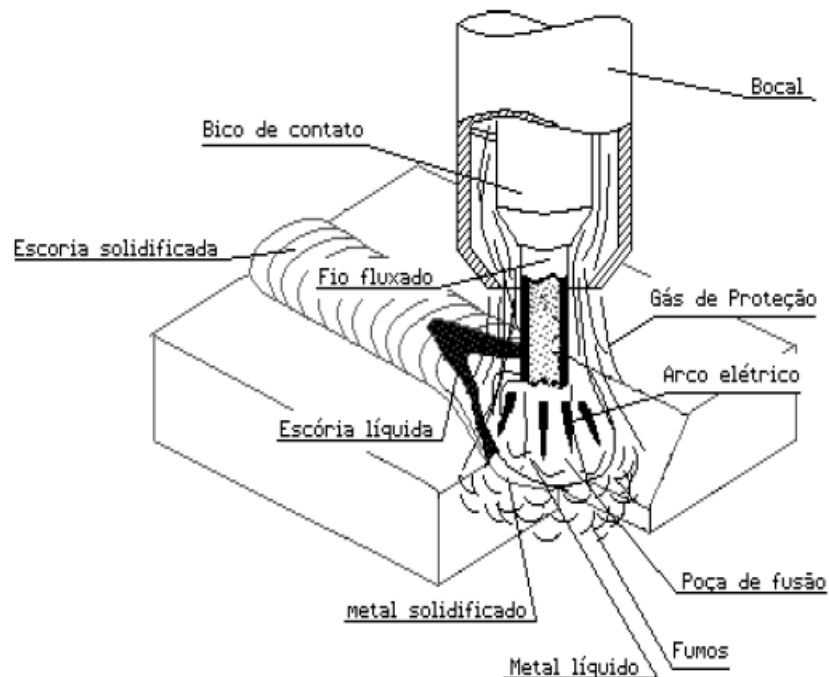
Processo	Fontes de Calor	Tipo de Corrente e Polaridade	Agente Protetor ou de Corte	Outras Características	Aplicações
Soldagem ao Arco Submerso	Arco Elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo +	Escória e gases gerados	Automática/Mecanizada ou semiautomática. O arco arde sob uma camada de fluxo granular	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga. Espessura ≥ 10 mm. Posição plana ou horizontal de peças estruturais, tanques, vasos de pressão, etc.
Soldagem com Eletrodos Revestidos	Arco Elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo + ou -	Escória e gases gerados	Manual. Vareta metálica recoberta por camada de Fluxo	Soldagem de quase todos os metais, exceto cobre puro, metais preciosos e reativos e de baixo ponto de fusão. Usado na soldagem em geral.
Soldagem com Arame Tubular	Arco Elétrico	Contínua Eletrodo +	Escória e gases gerados ou fornecidos por fonte externa, em geral de CO ₂ .	O fluxo está contido dentro de um arame tubular de pequeno diâmetro. Automático e semiautomático	Soldagem de aços carbono com espessura ≥ 1 mm. Soldagem de chapas
Soldagem MIG/MAG	Arco Elétrico	Contínua Eletrodo +	Argônio ou Hélio., Argônio+C O ₂ , Ar+CO ₂ , CO ₂ .	Automática/mecanizada ou semiautomática. O arame é sólido	Soldagem de aços carbono, baixa e alta liga, não ferrosos, com espessura ≥ 1 mm. Soldagem de tubos, chapas etc. Qualquer posição
Soldagem a plasma	Arco Elétrico	Contínua Eletrodo -	Argônio, Hélio ou Argônio + Hidrogênio	Manual ou automática. O arame é adicionado separadamente. Eletrodo não Consumível de tungstênio. O arco é constricto por um bocal	Todos os metais importantes em engenharia, exceto Zn, Be e suas ligas, com espessura de até 1,5 mm. Passes de raiz.
Soldagem TIG	Arco Elétrico	Contínua ou alternada. Eletrodo -	Argônio, Hélio ou misturas destes	Manual ou automática. Eletrodo não consumível de tungstênio. O arame é adicionado separadamente	Soldagem de todos os metais, exceto Zn, Be e suas ligas, espessura de 1 a 6 mm. Soldagem de não ferrosos e aços inox. Passe de raiz em tubulações.

Fonte: MODENESI, 2012, p. 14.

3.2 Soldagem FCAW

O processo de soldagem *Flux Cored Arc Welding* (FCAW) consiste em um processo de soldagem a arco elétrico no qual a fusão do material de solda ocorre pela passagem de corrente entre a peça e um arame de formato tubular que é alimentado continuamente. Muito semelhante ao processo *Metal Inert/Active Gas* (MIG/MAG), a única diferença se dá pelo tipo de arame utilizado. No processo FCAW, o arame metálico possui formato tubular, contendo fluxo em seu interior, o qual é composto por materiais orgânicos e metálicos. O fluxo tem por função melhorar as características do arco elétrico e da transferência do metal de solda, proteger a poça de fusão, atuar como formador de escória, além de também poder ser utilizado para adicionar elementos à liga (KUNTZ, 2018). Os componentes do fluxo determinam a soldabilidade e as propriedades mecânicas do metal de solda, bem como o tipo de escória produzido. Caso os componentes presentes no fluxo sejam de natureza predominantemente ácida, eles produzirão uma escória do tipo ácida. Analogamente, arames com fluxos predominantemente básicos produzem escória do tipo básico. Os arames tubulares podem ser classificados de acordo com os componentes do fluxo, sendo divididos em: arames tubulares rútflicos, básicos e metálicos (FORTES, 2004). A Figura 1 apresenta esquematicamente o processo.

Figura 1 - Soldagem FCAW



Fonte: JUNIOR et al., 2002.

Segundo Junior et al. (2002), o processo FCAW é popularmente utilizado para a soldagem de aços carbono e baixa liga, tanto em chapas de espessura grossa quando finas. É também comum aplicar o processo de arames tubulares em chapas de grande espessura onde a geometria da junta e a posição de soldagem não permitam a aplicação de processos de alto rendimento como o arco submerso e a eletro-escória.

Juntas em V, como a apresentada na seção 4.1.4 são comuns em estruturas "Offshore", onde nem sempre é possível o acesso à posição de soldagem pelos dois lados da junta. Porém, como também é comum a utilização de chapas grossas em estruturas "Off Shore", faz-se necessária a utilização de um processo de soldagem que atinja grandes penetrações de solda para possibilitar a soldagem utilizando-se juntas em V. O processo FCAW é particularmente útil nestas condições pois permite soldagens com grandes penetrações, possibilitando a execução de soldas desde o passe raiz até o acabamento em juntas de grandes espessuras. O processo ainda têm como vantagem uma alta taxa de deposição com excelente qualidade da junta soldada, requerimentos também indispensáveis na soldagem de estruturas "Off Shore" (JUNIOR et al., 2002).

O processo FCAW também pode ser dividido em duas variações: com uso de arame auto protegido, no qual a proteção da solda é gerada pelo fluxo contido no próprio arame, e com uso de gás de proteção, que é protegido pelo uso de gás externo, geralmente gás carbônico (CO_2), misturas de argônio e gás carbônico ($\text{Ar}+\text{CO}_2$), e variações destes, algumas contendo oxigênio (O_2). O processo é normalmente utilizado em modo semiautomático, com equipamentos muito semelhantes aos utilizados no processo GMAW (RIBEIRO, 2017).

3.3 Arames tubulares rúflicos

Arames de fluxo rúflico são os eletrodos da soldagem FCAW mais comumente utilizados (SALES, 2002). Rutilo é o nome dado ao polimorfo de dióxido de titânio (TiO_2) de maior ocorrência natural. Arames tubulares rúflicos foram desenvolvidos por volta de 1930. A utilização de arames tubulares rúflicos permitiu que o ponto de fusão e a viscosidade da escória fossem controlados por uma faixa mais larga do que as disponíveis anteriormente com escórias básica. Essas características permitem a criação de eletrodos para uma ampla variedade de aplicações, desde eletrodos com escórias suficientemente consistentes para serem utilizadas na posição vertical a escórias suficientemente fluidas para soldagem a altas velocidades na posição vertical. Arames tubulares rúflicos possuem ainda a vantagem de serem bons estabilizadores de arco. O arco suave gerado por estes eletrodos permite a

produção de cordões de solda de boa aparência. Além disso, o rutilo é um componente muito estável e que contribui com pouco oxigênio para a solda (FORTES, 2004). Os arames tubulares não rútilicos mais utilizados não produzem soldas de boa resistência ao impacto ou soldas com baixos teores de hidrogênio (abaixo de 5 ml/100g) (SALES, 2002).

O arame utilizado neste estudo se trata de um arame tubular classificado como E71T1-C1A2-CS2 segundo norma AWS/ASM SFA 5.36 (ESABc, 2021). Essa norma será descrita em 3.3.1. Conforme citação direta do website da empresa que o produz, trata-se de um "Arame tubular rútilico, para soldagem em passe único e multipasse em todas as posições". Ainda segundo a página virtual, este produto se sobressai a outros arames de mesma classificação por apresentar um reduzido índice de respingos, uma maior facilidade de remoção da escória e um ajuste de parâmetros mais fácil. Este arame pode ser soldado com uso de CO₂ como gás de proteção e é adequado à soldagem de aços de baixo e médio teor de carbono, tornando-o portanto apropriado ao uso com os outros materiais utilizados neste trabalho. Em ficha técnica (ESABb, 2021) disponibilizada pela empresa que o produz, apresentam-se seis condições de deposição associadas a um diâmetro de arame de 1.20 mm e correntes variadas. A Tabela 3 apresenta tais condições.

Tabela 3 - Ficha técnica: arame Dual Shield 7100 LH

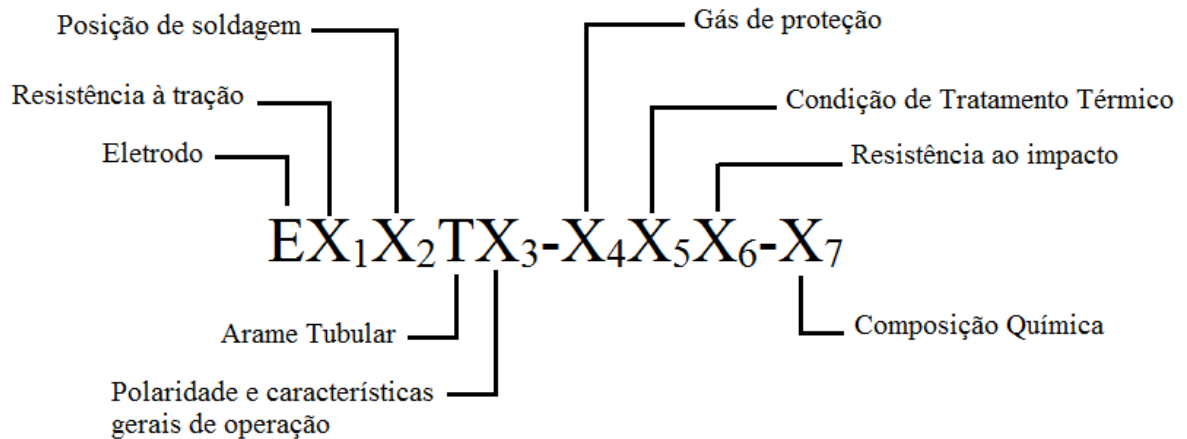
Diâmetro	Corrente	Tensão	Taxa de Deposição	Eficiência
1.2 mm	150 A	28 V	1.9 kg/h	87 %
1.2 mm	210 A	29 B	3.03 kg/h	87 %
1.2 mm	250 A	30 V	4.1 kg/h	88 %
1.2 mm	290 A	33 V	5.4 kg/h	88 %
1.2 mm	330 A	34 V	6.9 kg/h	90 %
1.2 mm	360 A	35 V	8.19 kg/h	90 %

Fonte: ESAB, 2021.

3.3.1 Especificação AWS 5.36

A especificação AWS A5.36/5.36M é emitida para normatizar a nomenclatura de arames *flux-cored* e *metal-cored* para aços carbono e de baixa liga (ESAB, 2021). Esta substitui as especificações AWS 5.20/A5.20/A5.20M e A5.29/A5.29M. O sistema é mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Identificação de Eletrodos FCAW para aços médio carbono.



Fonte: Próprio autor.

A título de exemplo, o eletrodo utilizado neste experimento, E71T1-C1A2-CS1:

- E = eletrodo;
- 7 = Resistência à tração de 70kpsi;
- 1 = Todas as posições de soldagem;
- T = Arame tubular;
- 1 = Corrente Contínua, polaridade positiva;
- C1 = Gás de proteção CO₂;
- A = Sem tratamento térmico (teste em condição como soldado);
- 2 = Designador de impacto: 86 J em Teste Charpy a 30°C;
- CS2 = Composição química: rufílico.

3.4 Estimativa de custos

Conforme Souza et al. (2007 apud HAMILTON, 2004), a estimativa de custos consiste em "um processo de determinação da quantidade e previsibilidade dos custos requeridos para construir e equipar uma instalação, manufaturar determinado bem ou fornecer um serviço". O processo de estimativa de custos compreende ainda três estágios distintos sendo eles: 1) desenho e especificação do produto; 2) determinação dos materiais a serem utilizados e; 3) determinação dos custos de elaboração do produto (NORMAN et al., 1988).

O presente documento traz um enfoque no terceiro estágio. Considerado o produto já planejado e especificado, resta ao estimador de custos definir o valor monetário despendido na confecção do produto. Esta etapa considera muito além dos custos de manufatura, incluindo na maioria das vezes custos administrativos, de transporte e estocagem, dentre outros (AWS, 2001).

3.5 Estimativa de custos de soldagem

No caso específico da soldagem, diversas variáveis e componentes únicas ao processo devem ser consideradas. Definir, portanto, a estimativa de custos de soldagem requer conhecimentos próprios das áreas de engenharia, metalurgia, manufatura e controle de qualidade. Apesar da existência de planilhas e softwares que realizam os cálculos desejados, conhecer os procedimentos e as metodologias utilizados à estimativa de custos é importante a qualquer engenheiro destinado a trabalhar nesta área (AWS, 2001).

As variáveis geralmente utilizadas na soldagem a arco divididas em quatro grandes grupos:

- 1) Custos de Material;
- 2) Custos de Mão de Obra;
- 3) Custos de Descartáveis e;
- 4) Custos de *Overhead*.

A estimativa de custos parte da compreensão destas quatro categorias: Custos materiais estão associados às componentes materiais que se tornarão parte do produto. Custos de Mão de Obra compreendem os custos de trabalho requeridos à confecção do produto, podendo incluir até mesmo custos de atividades de testes e inspeção, por exemplo. Custos de descartáveis são os custos referentes a qualquer equipamento, acessório ou ferramenta descartáveis utilizados na confecção do produto. Por fim, custos de despesas gerais, também conhecidos como *Overhead*, são aqueles custos indiretamente associados à fabricação que não podem ser associados diretamente ao produto.

É usual calcular-se primeiro os custos em função de kg de material depositado e então transpor os valores obtidos para outras unidades. Geralmente, essas unidades são: custo por solda ou custo por metro de solda. Utiliza-se o custo por solda quando se sabe a dimensão de comprimento da junta a ser soldada. Caso contrário, calcula-se o custo por metro de solda (AWS, 2001).

3.5.1 Taxa de deposição

A taxa de deposição é definida como o peso do metal depositado por unidade de tempo (MODENESI, 2012; BRITO, 2005; AWS, 2001). É o principal fator que determina a produtividade da soldagem em situações de soldagem contínua(ciclo de trabalho constante) e quantidade de metal depositado constante(volume de junta e reforço constantes), como no caso que será analisado neste estudo (BRITO, 2005). A taxa de deposição é diretamente relacionada à intensidade de corrente aplicada, que é a variável de interesse aqui avaliada. A

"influência da intensidade da corrente nos custos de soldagem" é o tema deste trabalho, e a relação entre corrente e custo de soldagem é mostrada na Figura 3.

Figura 3 - Relação entre corrente e custos de soldagem.



Fonte: Próprio autor.

Por tal motivo, a taxa de deposição receberá atenção especial e será discutida separadamente neste tópico. Vale lembrar ainda que a taxa de deposição não é o único fator que determina a produtividade da soldagem. Mudanças na quantidade de metal depositado na solda e no ciclo de trabalho também devem ser considerados.

A taxa de deposição típica de diferentes processos de soldagem está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Taxa de deposição típica para processos de soldagem a arco elétrico

Processo de Soldagem	Taxa de deposição Típica (kg/h)
Eletrodo Revestido	1,0 a 3,0
MIG - MAG	2,0 a 6,0
Arame Tubular	3,0 a 8,0
Arco Submerso 1 arame	5,0 a 12,0
Twin-Arc (Arco Submerso ou MIG/MAG)	10,0 a 25,0
Tandem-Arc (Arco Submerso ou MIG/MAG)	12,0 a 30,0

Fonte: BRITO, 2005, p. 18.

Além da corrente, também influenciam na taxa de deposição: 1) a densidade de corrente no eletrodo (que é definido como a razão entre a intensidade de corrente e a área de seção do arame); 2) ao tipo de corrente e polaridade, sendo que o uso de polaridade negativa favorece o aumento da taxa de deposição, embora cause maior dificuldade em controlar o formato do cordão de solda; 3) diâmetro do eletrodo, sendo que o uso de um eletrodo mais fino aumenta a taxa de deposição, devido à maior densidade de corrente que passa no arame; 4) extensão do eletrodo (definida como a distância entre a extremidade do bico de contato e a peça), sendo que o aumento da extensão do eletrodo aumenta a taxa de deposição e; 5) posição de soldagem, sendo que a posição plana permite maior taxa de deposição pois o efeito da gravidade favorece o movimento de transferência do metal. Além das variáveis apresentadas,

influencia também na taxa de deposição o grau de automatização do processo, sendo maior em processos mais automatizados (BRITO, 2005).

A taxa de deposição, em diferentes correntes, é comumente fornecida pelo fornecedor do arame. Ela pode ser determinada experimentalmente, pesando-se a chapa ao final e ao início do procedimento e então dividindo-se a diferença pelo tempo de arco aberto. Pode-se ainda determinar a taxa de deposição por meio da fórmula apresentada na Equação 1 ou ainda pela fórmula apresentada na Equação 2.

$$Taxa_{de\ Deposição} \left(\frac{kg}{h} \right) = \frac{V \times I}{2000} \quad (1)$$

$$Taxa_{de\ Deposição} \left(\frac{g}{min} \right) = V_{Alimentação} \times Área_{S.T.} \times \sigma \quad (2)$$

Sendo que:

- $Área_{S.T.}$ = Área de Seção Transversal da junta (em mm^2);
- σ = Densidade do material (em g/mm^3);
- $V_{alimentação}$ = Velocidade de Alimentação do arame (em mm/min).

3.5.2 Custos de material

O grupo de custos de material é, por sua vez, dividido em quatro áreas (AWS, 2001):

- 1) Custo de Material Depositado;
- 2) Custo de Energia;
- 3) Custo de Gás Consumido e;
- 4) Custo de fluxo.

3.5.2.1 Custo de Material Depositado

O Custo de Material Depositado é relacionado ao metal adicionado na poça de fusão. No caso da soldagem FCAW, refere-se às despesas relacionadas à compra do arame tubular utilizado e, por isso, é comum que essa despesa seja referida como custo de arame, ou custo de eletrodo (MODENESI, 2012).

O cálculo é direto e depende diretamente do preço do arame e da eficiência de deposição do eletrodo. A eficiência de deposição do eletrodo varia com a corrente aplicada durante a

soldagem e é geralmente disponibilizada pelo fabricante. O preço do arame sofre as variações habituais de mercado e, portanto, deve ser pesquisado sempre que se for realizar ou atualizar uma estimativa de custo da soldagem.

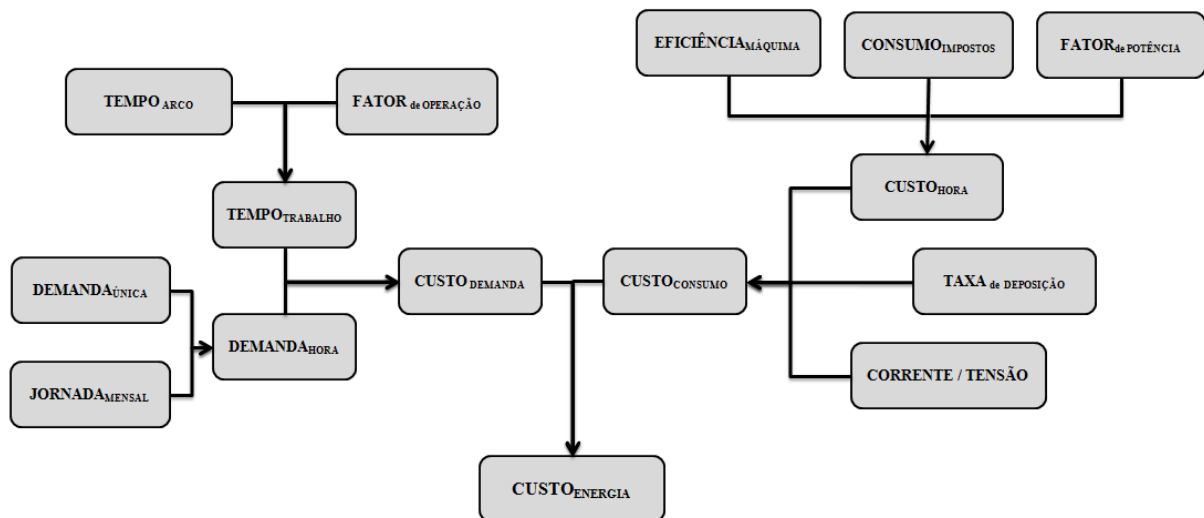
A fórmula de cálculo, Equação 3 é simplesmente, o preço do arame (por kg) multiplicado pela eficiência de deposição.

$$Custo_{Eletrodo} = Preço\ do\ arame \times \left(\frac{eficiência\ de\ deposição}{100} \right) \quad (3)$$

3.5.2.2 Custo de Energia

A Figura 44 corresponde a um diagrama que exemplifica a estimativa do custo energético, contendo as variáveis necessárias ao cálculo. O $Custo_{energia}$, que é o valor desejado, é constituído de duas parcelas: $Custo_{demanda}$ e $Custo_{consumo}$. Essas duas parcelas serão detalhadas ainda neste tópico (3.5.2.2).

Figura 4- Diagrama Esquemático do Cálculo do Custo Energético.



Fonte: Próprio Autor.

A soldagem a arco utiliza uma fonte de energia, equipamento também conhecido como máquina de soldagem, para gerar o arco elétrico. A fonte de energia, por sua vez, está ligada à rede elétrica, que fornece ao aparelho a energia necessária à sua operação. No Brasil, o custo dessa energia é definido por uma empresa concessionária regulada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). No estado de Minas Gerais, a empresa concessionária em questão é a Companhia Elétrica de Minas Gerais (CEMIG), cujas tarifas são definidas pela ANEEL e

publicadas em Resoluções Homologatórias. As tarifas cobradas pela CEMIG dependem de diversos fatores: Modalidade Tarifária, Bandeira tarifária, tributos, grupo e subgrupo tarifário e data (ANEEL, 2021).

Ainda conforme ANEEL (2021), para consumidores que demandam tensão entre 2,3 e 44kV (subgrupo A4) ou que possuam atendimento subterrâneo existem as opções tarifárias Azul, Verde e Convencional. As modalidades Azul e Verde tem preços diferentes a depender do horário de consumo. No horário de ponta, um período de três horas consecutivas definidas pela concessionária, o preço é maior que nas outras horas do dia (chamadas de horário fora de ponta).

Os consumidores do grupo A, além de pagar pelo consumo energético, também têm de arcar com as despesas de demanda de energia. A demanda contratada é uma quantidade de energia, em kW, que o consumidor requer da fornecedora. O valor deve ser estimado previamente ao requerimento, pois utilizar uma demanda maior que o requerido (com uma tolerância de 5%) acarreta em multa e utilizar menos que o requerido acarreta em gastos desnecessários, uma vez que a demanda não utilizada não é descontada na conta de energia. Cada kW de multa é cobrado com uma tarifa três vezes mais cara que a tarifa normal de demanda (CEMIG, 2012).

Além disso, o consumidor do grupo A deve se atentar à energia reativa, que é definida como a energia que não realiza trabalho efetivo, mas é necessária e consumida na geração do campo eletromagnético. Para que o consumidor não pague multa, o aproveitamento da energia em trabalho efetivo deve ser maior que 92%. Por isso a empresa deve buscar utilizar equipamentos com alto Fator de Potência (F.P.) (ALBUQUERQUE, 2009).

Assim, para a estimativa de custos de energia, é conveniente dividir o cálculo do custo de energia em duas parcelas, conforme mostrado na Equação 4.

$$Custo_{Energia} = Custo_{Demanda} + Custo_{Consumo} \quad (4)$$

$Custo_{Demanda}$ e $Custo_{consumo}$ se referem, respectivamente, à despesa com a demanda e com o consumo de energia (podendo incluindo impostos e multa, se houver).

$Custo_{Demanda}$ é calculado a partir da $Demanda_{hora}$, que é o valor referente à demanda requerida no mês acrescida de impostos e multas ($Demanda_{Única}$) dividida pelo número de horas de

trabalho no mês. A Equação 5 descreve o cálculo de $Demanda_{hora}$ e a Equação 6 o $Custo_{Demanda}$.

$$Demanda_{hora} = \frac{Demanda_{única}}{Jornada_{semanal} \times 4} \quad (5)$$

$$Custo_{Demanda} = (Demanda_{hora} \times Tempo\ de\ Trabalho) \quad (6)$$

O tempo de trabalho, apresentado na Equação 7 é o tempo de arco multiplicado pelo fator de operação. O tempo de arco, por sua vez é calculado a partir da taxa de deposição e do consumo do eletrodo (por metro de solda). A Equação 8 apresenta o cálculo.

$$Tempo\ de\ Trabalho = Tempo\ de\ Arco \times \frac{100}{Fator\ de\ Operação} \quad (7)$$

Já o $Custo_{consumo}$ é calculado segundo a fórmula 8.

$$Custo_{Consumo} = \frac{(Consumo_{hora} \times Tensão \times Corrente)}{1000 \times Taxa_de_deposição} \quad (8)$$

Sendo o $Consumo_{hora}$ dado pelo cálculo apresentado pela Equação 9 e sendo o $Consumo_{impostos}$ o valor, em R\$ da despesa referente ao consumo de energia (acrescido de multa, se houver, e impostos).

$$Consumo_{hora} = Consumo_{impostos} \times \left(\frac{100}{Eficiência_{Máquina}} \right) \times \left(\frac{1}{\cos(F.P)} \right) \quad (9)$$

3.5.2.3 Custo de Gás Consumido

O custo de gás refere-se aos gastos relacionados ao consumo de gás de proteção empregados na soldagem. Em processos de soldagem que não se utilizam de gás de proteção externo, este custo pode ser desprezado.

O cálculo é trivial e depende apenas da vazão do gás, da taxa de deposição do eletrodo e do preço do gás.

- A vazão do gás é medida no bucal da tocha com um fluxômetro e o fluxo de gás pode ser ajustado no regulador do cilindro. Conforme Fortes (2004), a vazão do gás utilizada na soldagem de arames tubulares com fluxo metálico disponibilizados pela empresa deve ser de 18 a 20 l/min.
- A taxa de deposição do eletrodo é relacionada à corrente e é, em geral, disponibilizada pelo fabricante do eletrodo. A seção 3.5.1 descreve a taxa de deposição.
- O preço do gás sofre as variações habituais de mercado e, portanto, deve ser pesquisado sempre que se for realizar ou atualizar uma estimativa de custo da soldagem. Nota-se também que, para fins deste cálculo, o preço do gás deve ser por metro cúbico de gás. Quando o fabricante disponibiliza o preço do gás por kg é necessário converter o valor dado multiplicando-o pela densidade do gás.

É importante notar que o cálculo de consumo de gás aqui elaborado não leva em consideração diversos fatores como perdas por vazamento, picos de vazão quando do acionamento da pistola, pré e pós vazão de gás (BRITO, 2005; MODENESI, 2001). Dessa forma, o valor calculado tende a ser diferente do valor real de consumo. Porém, segundo Brito (2005), pode-se adotar um fator de correção observando-se a diferença entre o valor real e o valor medido e multiplicar o valor de custo de gás por este fator.

O custo do gás segue conforme apresentado na Equação 10.

$$Custo_{Gás/kg} = Preço_{Gás/kg} \times Gás_{Consumido} (m^3) \quad (10)$$

Sendo $Gás_{consumido}(m^3)$ o volume de gás consumido durante o tempo de arco. Ou seja, o consumo de gás para cada kg de material depositado. A Equação 11 representa o cálculo.

$$Gás_{consumido} (m^3) = \frac{Vazão_{Gás/m^3}}{Tempo\ de\ arco} \quad (11)$$

3.5.2.4 *Custo de Fluxo*

O consumo de fluxo é considerado em processos que utilizam fluxo não embutidos no arame. No caso do processo FCAW, por exemplo, esse custo não precisa ser considerado.

O Consumo de fluxo pode ser calculado conforme a Equação 12. Teoricamente, ele pode ser considerado proporcional ao do arame. Porém, devido às perdas de fluxo que ocorrem em situações práticas, deve-se portanto considerar um fator multiplicativo ao consumo teórico que considere essas perdas. Um fator de 1,20 é geralmente recomendado, porém o estimador pode considerar um fator maior ou menor a depender de como o consumo de fluxo é tratado e circulado (BRITO, 2005).

$$Custo_{fluxo} = Preço_{fluxo} \times Consumo_{Eletrodo} \times 1,20 \quad (12)$$

3.5.3 *Custo de Mão de Obra*

O custo de Mão de obra está relacionado ao fator de operação, à taxa de deposição e ao custo de mão de obra por hora, o qual é calculado a partir da jornada de trabalho mensal e de todos os custos relacionados ao soldador (salário, benefícios, impostos e outros custos associados).

O custo de mão de obra é calculado a partir do custo de mão de obra por hora (Equação 13) e é descrito pela Equação 14.

$$Custo\ MO/h = \frac{(Salário + benefícios) \times (1 + Carga_{adicional})}{(Jornada_{semanal} \times 4)} \quad (13)$$

$$Custo\ MO = \frac{Custo\ MO/h}{(Taxa\ de\ deposição * Fator\ de\ Operação)} \quad (14)$$

3.5.4 *Custo de Overhead*

Os custos de overhead incluem despesas como salários e benefícios de empregados, aluguéis e depreciação de maquinário, despesas de manutenção de construções e equipamentos, impostos, equipamentos de segurança e serviços de suporte (AWS, 2001).

Conforme (NETO,2002), o *overhead* médio de indústrias brasileiras corresponde a 24,4% dos custos totais. A autora ainda cita trabalho de Hendricks (1989), que lista o percentual do *overhead* como 32,6%. Segundo pesquisa americana (MILLER, 2002), o *Overhead* de empresas ligadas à soldagem foi dividido em duas modalidades: "outros custos relacionados à soldagem" e "Despesas de Capital"(conhecido também como CAPEX).

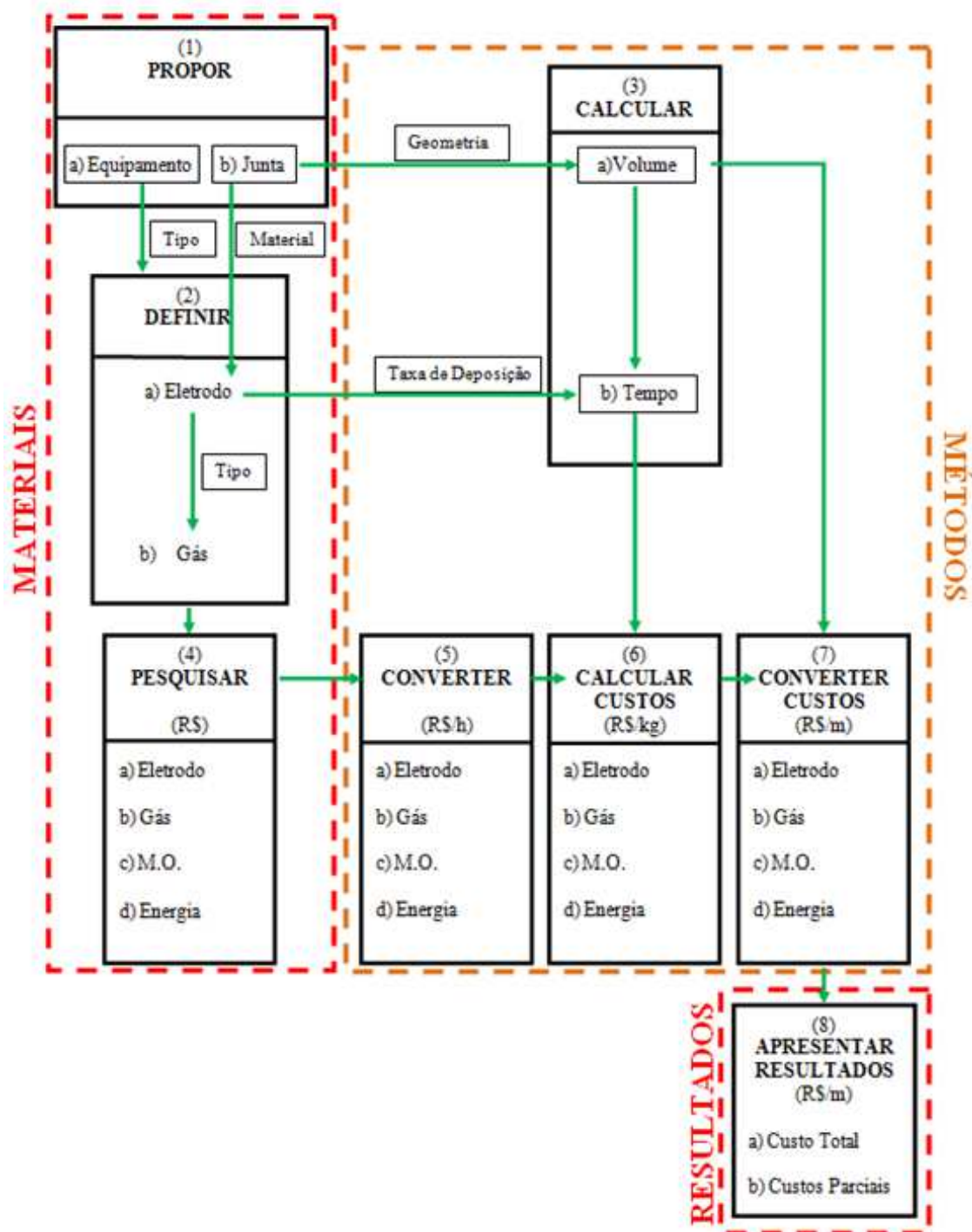
A pesquisa define como outros custos relacionados a soldagem as despesas relacionadas a pesquisa e desenvolvimento, preparação de especificação de processos, treinamento, consultoria e serviços de campo. O CAPEX corresponde aos custos associados a aquisição, melhoria e manutenção de ativos físicos como propriedades, plantas, instalações, equipamentos e tecnologias. Juntas, estas duas modalidades correspondem à 10.1% para a média das indústria. Esse Overhead, porém, varia consideravelmente de indústria a indústria (MILLER, 2002).

Assim, é pouco usual que o cálculo do overhead seja realizado por uso de fórmulas padronizadas. Para se estimar o overhead do processo, o estimador de custos de soldagem deve consultar a administração da empresa (AWS, 2001).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A estimativa de custos desenvolvida neste trabalho, desde a proposta inicial aos resultados finais, é representada na Figura 5. Uma planilha contendo os cálculos realizados está apresentada nos apêndices A e B.

Figura 5 - Fluxograma da Metodologia.



Fonte: Próprio Autor.

Conforme se mostra no fluxograma, a metodologia foi desenvolvida em 7 etapas, sendo a última apresentada na seção de Resultados e Discussão. Os materiais utilizados foram dados obtidos a partir de três meios: 1) propostos a partir da configuração da simulação; 2) definidos a partir da condição proposta (sendo o eletrodo obtido a partir das condições do equipamento, do processo e do material da peça e o gás definido a partir da do eletrodo, do processo e do equipamento) e; 3) pesquisados a partir de ambiente de mercado atual. A metodologia se divide em quatro etapas: 1) Cálculo do volume da junta (a partir da geometria da peça) e tempo de arco (a partir do volume da junta e das taxas de deposição do eletrodo); 2) Conversão de unidades dos diversos dados pesquisados para unidades padronizadas; 3) Cálculo de custos por kg de material depositado (com uso do tempo de arco, previamente calculado); 4) Conversão dos custos de custo por kg de material depositado a custo por metro de solda.

4.1 Materiais

4.1.1 Proposta Inicial

Foi simulada uma situação típica da indústria de construção pesada, como, por exemplo, indústria naval, "Off Shore" e de fabricação de equipamentos pesados. Foram especificados: 1) Processo (FCAW); 2) junta (geometria, posição, liga metálica); 3) fonte de soldagem. A partir dos dados propostos, foi realizada a pesquisa e a escolha de outros recursos necessários.

4.1.1.1 Equipamento

Para este estudo escolheu-se uma fonte de soldagem pulsada Aristo® 500ix, representada na Figura 6. Segundo sua ficha técnica (ESABa, 2021), disponibilizada pela empresa ESAB, o equipamento suporta:

- Faixa de corrente entre 16 a 500 A;
- Faixa de tensão de 14,8 a 39 V.

Todos valores de corrente e tensão utilizados neste trabalho se encontram dentro destes valores suportados pela máquina.

A ficha técnica da máquina ainda especifica os valores:

- Eficiência em máxima corrente (88%);
- Fator de potência à corrente máxima (0,91).

Ambos os valores necessários ao desenvolvimento deste estudo.

Figura 6 - Fonte de soldagem Aristo 500ix, com Robust Feed.



Fonte: ESABa,2021.

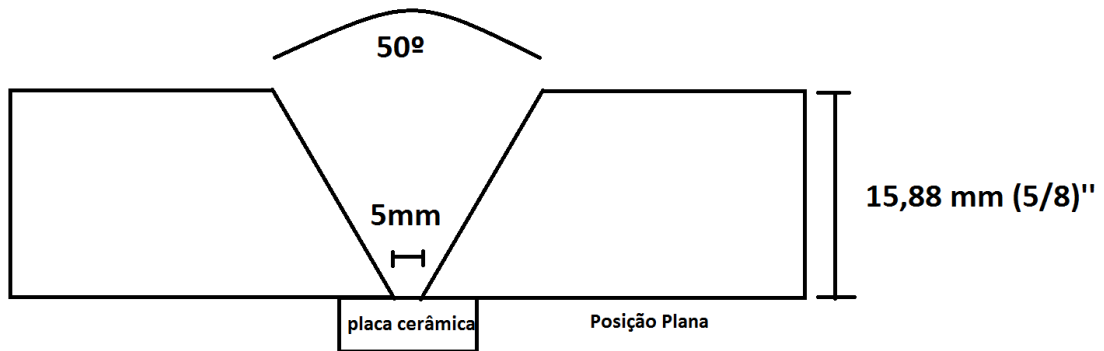
4.1.1.2 Junta

Para a junta a ser soldada, foi considerada uma peça que se constitui de uma barra com as seguintes características:

- Material: aço baixo carbono AISI 1020;
- Posição: plana;
- Comprimento: grande o suficiente para que possa ser considerado infinito;
- Solda sem reforço;
- Geometria: conforme apresentado na Figura 7.
 - Raio de abertura: 50°;
 - Abertura da raiz: 5 mm;
 - Não possui nariz.
 - Espessura de 15,88 mm (5/8").

Para efeito de simplificação foi desconsiderado o reforço da solda. Isso porque a característica de maior interesse neste trabalho é a não variação do volume de solda no comprimento da peça. Dessa forma, para efeito de cálculo, qualquer valor de volume de reforço é válido, desde que mantido constante. Assim, para efeito de simplificação, se escolheu um reforço com volume zero, ou seja, uma solda sem reforço. Nota-se também que o grande comprimento da junta (considerado infinito) torna irrelevante a consideração do número de passes de preenchimento.

Figura 7- Esquema da peça a ser soldada.



Fonte: Próprio autor.

4.1.2 Definição de Consumíveis

4.1.2.1 Eletrodo

A escolha do arame a ser utilizado considera:

- Tipo de soldagem: arame tubular;
- Tipo de equipamento:
 - Faixa de corrente suportada pela fonte de soldagem: 16 a 500 A;
 - Faixa de tensão suportada pela fonte de soldagem: 14,8 a 39 V.
- Material do substrato: aço baixo carbono AISI 1020;
- Posição de soldagem: plana;
- Disponibilidade de compra e preço.

Para este estudo foi escolhido um arame tubular tipo E71T1-C1A2-CS2, adequado a todas as considerações acima.

É importante ressaltar a existência de arames de classificação T0. Tais arames diferem do anterior pelo fato de serem adequados especificamente, e apenas a, posição plana. Como a junta aqui apresentada está disposta em tal posição, seria razoável supor este arame como o mais especificamente adequado ao estudo. Entretanto optou-se pela não utilização do mesmo. Tal decisão se baseia em questões práticas de logística empresarial. Muitas empresas optam pela aquisição apenas de um tipo de arame para se evitar problemas de gestão e uso ocasionados pela necessidade de se decidir qual arame será utilizado após cada mudança de operação. Assim, para aproximar a situação simulada neste estudo a situações reais em ambiente industrial, optou-se pela escolha do arame mais versátil, o T1. Tal escolha deve

impactar no resultado final da estimativa de custos pois, sendo o arame escolhido mais caro que sua alternativa, o custo final de material se torna mais preponderante.

4.1.2.2 Gás

Como gás de proteção, foi escolhido o CO₂, observando-se:

- Compatibilidade com o arame tubular escolhido;
- Compatibilidade com o equipamento;

O Eletrodo escolhido suporta uso de dois tipos de gás: CO₂ puro ou mistura 75% CO₂e 25% Argônio. A escolha pelo CO₂ puro se dá pela maior popularidade do gás em indústrias de pequeno e médio porte (SALES et al. 2002).

A vazão de gás foi definida como de 18 litros por minuto, conforme orientado por Fortes (2004) para eletrodos da empresa ESAB, como o utilizado neste estudo.

4.1.3 Pesquisa

4.1.3.1 Eletrodo

Para este estudo foi escolhido um arame tubular Dual Shield 7100 LH, fabricado pela ESAB. Este arame é classificado como E71T1-C1A2-CS2segundo norma AWS/ASM SFA 5.36 (ESABc, 2021).

Em ficha técnica (ESAB,2021a) disponibilizada pela empresa que o produz, apresentam-se seis condições de deposição associadas a um diâmetro de arame de 1.20 mm e correntes variadas. A Tabela 3 (que se encontra na pag. 8) apresenta tais condições.

O preço do arame obtido por pesquisa de mercado, ao final da qual se obteve um preço médio por quilo de arame Dual Shield 7100 LH de 1.20mm de R\$20,20.

4.1.3.2 Gás

O preço do gás foi obtido em pesquisa de mercado, ao final da qual se obteve um preço médio por kg de gás de R\$11,00.

4.1.3.3 Mão de Obra

Em termos de mão de obra, entende-se que o salário de um soldador no Brasil apresenta variação considerável a depender de diversos fatores. Após pesquisa de mercado a fim de determinar o custo de mão de obra, considerou-se um salário de R\$2500,00, em virtude de:

- Tamanho da empresa: indústria de pequeno porte;

- Qualificação do soldador: 6G (Em função da posição de solda , liga a ser soldada, e processo);
- Proficiência do funcionário: soldador de media experiência e;
- Salário-mínimo atual: R\$ 1.045,00 (BRASIL, 2020).

Considerou-se ainda:

- Jornada de trabalho de 44 horas (jornada média de um soldador brasileiro);
- Carga adicional de custo equivalente a 100% (considerando-se os diversos impostos e custos adicionais no Brasil no momento) e;
- Custo de transporte de R\$198,00:
 - Referente a 2 passagens durante os 22 dias de trabalho de um mês e custo da passagem de R\$4,50;
 - O custo de transporte foi considerado à parte devido ao peso que exerce no custo final de mão de obra.

4.1.3.4 Energia

Os dados necessários ao cálculo do preço da energia elétrica por kilowatt foram extraídos da Resolução Homologatória N° 2,757, de 18 de agosto de 2020 (ANEEL, 2020), com os dados de tarifas de energia que seriam aplicados a partir de outubro do mesmo ano. Na planilha, disponibilizada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2021), encontram-se dados de tarifas de bandeira verde sem considerar impostos e também dos dados de tarifas considerando ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) a 18% e a 25%. A planilha considera PASEP (Programa de Formação do Patrimônio do Servidor Público) a 0,77% e COFINS (Contribuição para Financiamento da Seguridade Social) a 3,56%. Neste estudo, considerou-se a tarifa energética como sendo:

- De bandeira verde;
- Aplicada em período seco (outubro de 2020);
- De uma indústria inserida no subgrupo A4 (definido pela tensão de fornecimento entre 2,3 a 44 kV, o subgrupo de menor tensão dentro do grupo industrial) e;
- Optando pelo regime tributário Nacional Simples (portanto, se enquadrando no grupo PASEP/COFINS e ICMS a 18%).

Além disso, considerou-se que:

- Toda energia foi demandada em horário fora de ponta e;
- A demanda efetivamente medida é igual à contratada (portanto, a empresa não deverá pagar multa).

Toda normatização para o cálculo do preço de energia segue em conformidade com o manual disponibilizado pela Companhia Elétrica de Minas Gerais (CEMIG, 2012).

Os valores de interesse extraídos foram:

- Demanda Única e ICMS (18%): R\$/kW 18,71214239
- Consumo Fora de Ponta (F.P.) e ICMS (18%): R\$/kW 0,43487886

4.1.3.5 Definição do Overhead

Entende-se que o custo de overhead apresenta considerável variação a depender de ano e local e tipo de indústria. Em ambiente real, o custo de overhead é geralmente obtido pelo setor administrativo da empresa, e não calculado. Em função da complexidade de cálculo e da ausência de um setor administrativo na simulação apresentada neste trabalho, definiu-se o Overhead como sendo de 24,4% dos custos totais, valor semelhante ao obtido por Neto (2002) para indústrias brasileiras. Todos os custos associados à inspeção e setup estão inclusos neste valor.

- Valor Definido: Overhead = 24,4% (para todas as correntes).

4.1.3.6 Tabela de valores definidos

A Tabela 5 resume as condições e os valores definidos para realização dos cálculos.

Tabela 5 - Valores definidos (continua)

Eletrodo	Tamanho	1.2mm
	Tipo	E71T1-C1A2-CS2 (Dual Shield 7100 LH)
	Eficiência de Deposição	87% a 90% (conforme Tabela 3)
	Preço (por kg)	R\$ 33,33
Gás	Tipo	CO ₂
	Taxa de Consumo	18 l/min
	Preço (por m ³)	R\$ 20,20
Energia	Demanda Única	R\$/kW 18,71

Tabela 5 - Valores definidos (continuação)

Energia	Consumo F.P.	R\$/kW 0,43487
Máquina	Eficiência	88 %
	Fator de potência	0,91
	Corrente de soldagem	Entre 150 a 360 A (conforme Tabela 3)
	Tensão do arco	Entre 28 a 35 V (conforme Tabela 3)
Solda	Tipo de Junta	Em V (conforme Figura 7)
	Tipo de solda	Arame Tubular
	Comprimento da solda	Infinito (Calculado por metro de solda)
Mão de Obra	Fator de Operação	60%
	Salário	R\$ 2.500,00
	Jornada Semanal	44 h
	Carga adicional	100%
	Vale-Transporte	R\$ 198,00
Overhead	Total	24,4 %

Fonte: Próprio autor.

4.2 Métodos

4.2.1 Cálculo de Volume e Tempo de Arco

4.2.1.1 Volume

O cálculo do volume de material depositado (por metro de junta) se dá por geometria simples a partir junta descrita na Figura 7- Esquema da peça a ser soldada. O valor calculado foi:

- Volume = 0,000197 m³ (por metro de junta).

4.2.1.2 Tempo de Arco

O Tempo de Arco pode ser definido como a: "massa de material depositado pela taxa de deposição de material" (AWS,2001). O Tempo de Arco também pode ser entendido como "tempo necessário para se depositar 1 kg de material de solda". Quando a junta apresentada possui comprimento infinito, calcula-se o tempo de arco por metro de solda.

Vale lembrar que a taxa de deposição do material depende da corrente, valor de interesse cuja variação é avaliada neste estudo, conforme descrito na seção 3.5.1. Logo, será apresentado um tempo de arco para cada valor de corrente analisado.

O Tempo de arco é apresentado na Equação 15:

$$\text{Tempo de Arco} = \text{Densidade}_{\text{material}} \times \text{Volume}_{\text{junta}} \times \text{Taxa de Deposição} \quad (15)$$

Os valores de tempo de arco necessários aos cálculos de estimativa de custos aqui adotados são, portanto, obtidos utilizando-se as taxas de deposição descritas na Tabela 3, a densidade do aço (7860 kg/m^3) e o volume da junta ($0,000197 \text{ m}^3$ por metro de junta).

4.2.2 Conversão de Valores

Antes de se realizar o cálculo de custos, é necessário adequar os dados obtidos por pesquisa às unidades que serão utilizadas durante os cálculos. Nesta seção (4.2.2) estão descritas as conversões necessárias.

4.2.2.1 Gás

A conversão para de R\$/kg para R\$/m³ se dá de maneira trivial, aplicando-se:

- Preço do gás por kg = R\$11,00
- Densidade do gás CO₂ = $1,836 \text{ kg/m}^3$.

Na Equação 16:

$$\text{Preço}_{\text{Gás/m}^3} = \text{Preço}_{\text{Gás/kg}} \times \text{Densidade} \quad (16)$$

O valor convertido é de R\$20,20 por metro cúbico de gás CO₂.

A vazão de gás foi definida com unidade de litro por minuto. É portanto necessário converter o valor para valores do Sistema Internacional de Unidades (S.I.) e obter a vazão em m³/h. Isso se dá aplicando-se um fator de conversão de 60/1000.

A vazão de gás, em m³ por hora encontrada foi:

- Vazão_{gás/m³} $1,08 \text{ m}^3/\text{h}$

4.2.2.2 Mão de Obra

O custo mensal de cada soldador para a empresa é calculado aplicando-se os valores de:

- Salário = R\$2500,00;
- Benefícios=R\$198,00 (Vale Transporte);
- Carga Adicional = 100%;
- Jornada Semanal = 44 horas.

Na Equação17:

$$Custo\ MO/h = \frac{(Salário + benefícios) \times (1 + Carga_{adicional})}{(Jornada_{semanal} \times 4)} \quad (17)$$

4.2.2.3 Energia

O cálculo da demanda energética por hora considera os valores de:

- Demanda Única(com impostos) = R\$ 18,71 por kW/h.
- Jornada semanal = 44 horas.

Aplicados à formula18:

$$Demanda_{hora} = \frac{Demanda\ Única}{Jornada\ Semanal \times 4} \quad (18)$$

O valor de Demanda_{hora} encontrado é de R\$ 0,45 por hora.

O cálculo da tarifa de consumo por é encontrada a partir da Equação 19:

$$Consumo_{hora} = Consumo_{impostos} \times \left(\frac{100}{Eficiência_{Máquina}} \right) \times \left(\frac{1}{\cos(F.P)} \right) \quad (19)$$

O valor de Consumo_{hora} encontrado é de R\$ 0,49 por Kwh

4.2.3 Cálculo de Custos (por kg de material depositado)

A partir dos valores previamente obtidos, calculam-se os custos por kg de material depositado. Estes valores dependem da taxa de deposição, diretamente ou indiretamente, por meio de tempo de arco (e tempo de trabalho). Nota-se que o Custo de *overhead* não é detalhado por ter sido considerado fixo. Em situação real, deve ser feita também a estimativa deste.

4.2.3.1 Eletrodo

O custo do arame por material depositado é o preço do arame (por kg de arame) multiplicado pela eficiência de deposição. A Equação 20 descreve o cálculo:

$$Custo_{Eletrodo/kg} = Preço\ do\ arame \times \left(\frac{eficiência\ de\ deposição}{100} \right) \quad (20)$$

4.2.3.2 Gás

O custo de gás por kg de material depositado é calculado pela Equação 21

$$Custo_{Gás/kg} = Preço_{Gás/kg} \times Gás_{Consumido} (m^3) \quad (21)$$

Sendo $Gás_{Consumido}$ o volume de gás consumido durante o tempo de arco. Ou seja, o consumo de gás para cada kg de material depositado. A Equação 22 representa o cálculo:

$$Gás_{consumido} (m^3) = \frac{Vazão_{Gás/m^3}}{Tempo\ de\ arco} \quad (22)$$

4.2.3.3 Mão de Obra

O custo de mão de obra por kg de material depositado é obtido pelo custo de mão de obra por hora dividido pela taxa de deposição e pelo fator de operação. A Equação 23 descreve o procedimento:

$$Custo_{MO/kg} = \frac{Custo_{MO/h}}{(Taxa\ de\ deposi\c{c}\tilde{o}\ \times\ Fator\ de\ opera\c{c}\tilde{o}\tilde{o})} \quad (23)$$

4.2.3.4 Energia

O Custo energético por kg de material depositado é a soma dos custos conforme Equação 24.

$$Custo_{Energia} = Custo_{Demanda} + Custo_{Consumo} \quad (24)$$

As parcelas são calculadas conforme as Equações 25 e 26.

$$Custo_{Consumo} = \frac{(Consumo_{hora} \times Tens\tilde{a}\tilde{o} \times Corrente)}{1000 \times Taxa_de_deposi\c{c}\tilde{o}\tilde{o}} \quad (25)$$

$$Custo_{Demanda} = (Demanda_{hora} \times Tempo\ de\ Trabalho) \quad (26)$$

Tempo de Trabalho, por sua vez, é calculado como descrito na Equação 27.

$$Tempo\ de\ Trabalho = Tempo\ de\ Arco \times \frac{100}{Fator\ de\ Opera\c{c}\tilde{o}\tilde{o}} \quad (27)$$

4.2.4 Conversão de Custos (R\$/m)

Para se obter os valores dos custos parciais por metro de solda, é necessário multiplicar o valor do respectivo custo por kg pela massa de material depositado (densidade do substrato e volume da junta). A Equação 28 descreve o cálculo.

$$Custo_{por\ metro\ de\ junta} = Custo_{por\ kg} \times (Densidade_{material} \times Volume_{junta}) \quad (28)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Conversão de unidade

Os cálculos de conversão de unidades, realizada para adequar as unidades dos valores de dados previamente obtidos por meio de pesquisa ou cálculo prévio, apresentaram os seguintes resultados:

- Volume = 0,000197 m³ (por metro de junta).
 - Isso representa uma massa de 1,5483 kg por metro de solda.
- Preço do Gás = R\$20,20 (por metro cúbico de gás CO₂);
- Vazão do Gás = 1,08 m³/h;
- Despesa de Mão de Obra = R\$29,53 por hora de trabalho;
- Despesa Energética
 - Demanda = R\$0,45 por hora de trabalho;
 - Consumo = R\$ 0,49 por Kwh.

A Tabela 6 indica os tempos de arco, tempo de trabalho e gás consumido para cada intensidade de corrente:

Tabela 6 - Tempo de arco, tempo de trabalho e gás consumido por intensidade de corrente.

Corrente (A)	Tempo de Arco (h)	Gás _{consumido} (kg de material depositado)	Tempo de Trabalho (h)
150	0,815	0,8802	1,3583
210	0,5110	0,5519	0,8517
250	0,3777	0,4079	0,6294
290	0,2867	0,3097	0,4779
330	0,2244	0,2424	0,3740
360	0,1891	0,2244	0,3151

Fonte: Próprio autor.

5.2 Custo (por kg de material depositado)

5.2.1 Custo Total (por kg de material)

Os custos totais por kg de material, para cada intensidade de corrente utilizada, foram definidos como apresentado na Tabela 7:

Tabela 7 - Custos Totais

Corrente (A)	Custo Total (por metro de solda)
150	R\$ 139,05
210	R\$ 109,91
250	R\$ 97,71
290	R\$ 89,00
330	R\$ 84,28
360	R\$ 80,82

Fonte: Próprio autor.

Em termos relativos, não há diferença entre os custos totais por kg de material e por metro de solda, que são diretamente relacionados por um fator de correção fixo (massa de material depositado por metro de solda). Portanto, tal discussão será apresentada em 5.3.1.

5.2.2 Custos Parciais (por kg de material)

Os custos parciais para cada kg de solda depositado estão apresentados na Tabela 8, em acordo com a corrente definida.

Tabela 8 - Custos parciais

Corrente (A)	Custo Gás (R\$/kg)	Custo Energia (R\$/kg)	Custo Material (R\$/kg)	Custo Trabalho (R\$/kg)	Custo Overhead (R\$/kg)
150	11,48	1,70	29,00	25,91	21,72
210	7,20	1,37	29,00	16,25	17,17
250	5,32	1,19	29,33	12,01	15,26
290	4,04	1,09	29,33	9,12	13,90
330	3,16	0,97	30,00	7,13	13,16
360	2,66	0,91	30,00	6,01	12,62

Fonte: Próprio autor.

Também os custos parciais por kg de material, em termos relativos, são diretamente relacionados aos custos parciais por metro de solda por um fator de correção fixo (massa do material depositado). Assim, essa discussão será feita em 5.3.2.

5.3 Custo (por metro de solda)

5.3.1 *Custo Total (por metro de solda)*

O custo final para cada metro de solda é apresentado na Tabela 9. Nota-se queda do custo total quando se aumenta a corrente. Dentre o maior e o menor valor, ocorre uma redução de 51%, o que corresponde a uma redução de custos de R\$58,99 por metro de solda. O custo total é a soma dos cinco custos parciais, de forma que a variação do custo total deve ser explicada por análise da variação dos custos parciais. A seção 5.3.2 faz essa análise.

Tabela 9- Custos Totais

Corrente (A)	Custo Total (por metro de solda)
150	R\$ 116,78
210	R\$ 87,64
250	R\$ 75,19
290	R\$ 66,47
330	R\$ 61,24
360	R\$ 57,79

Fonte: Próprio autor.

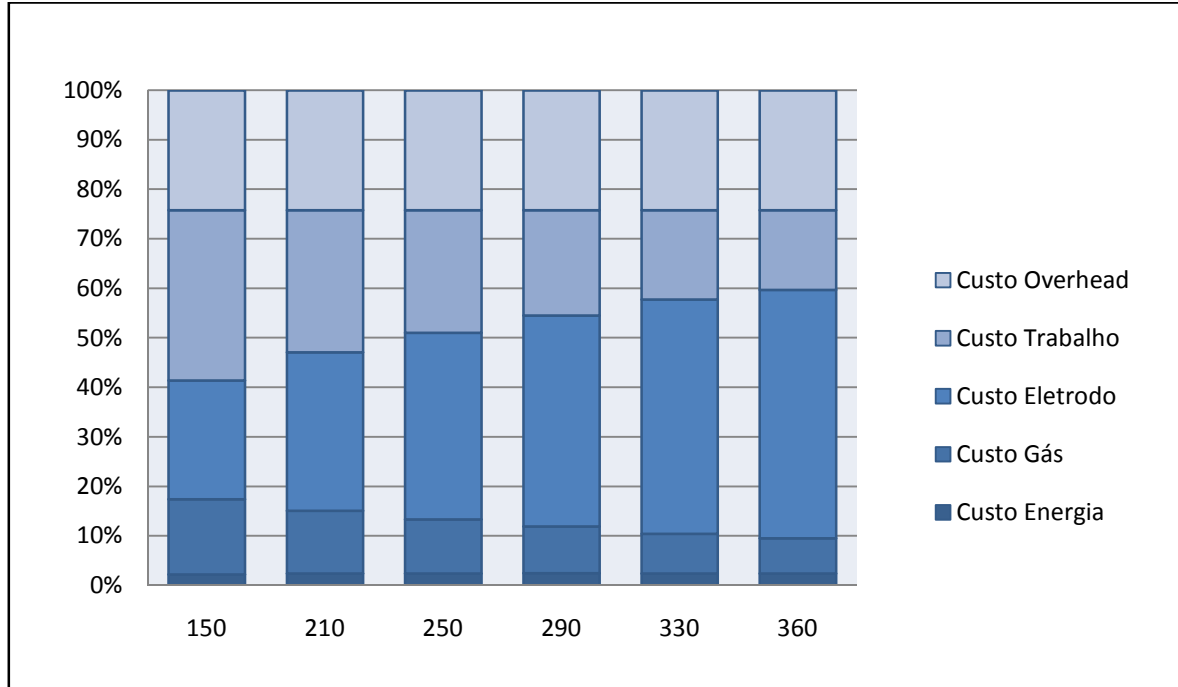
5.3.2 *Custos Parciais (por metro de solda)*

Não apenas os valores dos custos parciais mudam com a variação da corrente, como também muda a proporção de cada um deles na formação do custo total. A Figura 8 apresenta tais proporções. Repara-se na figura considerável variação do custo eletrodo, que ocupa, no menor valor de corrente (150 A), uma fatia de 24% do custo total enquanto que, no maior valor de corrente (360 A), a parcela salta para 50%. Curiosamente, porém, o custo de material é, de todos os custos parciais, o que menos varia em termos absolutos. Ele varia de R\$ 28,02 a R\$ 28,99, uma diferença de apenas R\$ 0,97. O que explica esse fato é a redução das fatias de trabalho e gás. Em termos de proporção, os custos de trabalho e gás variam 19% (de 35 a 16%) e 8% (de 15 a 7%). Nota-se também que, apesar de mantido fixo em 24,4%, o Custo Overhead, em valores absolutos passa de R\$ 28,24 a R\$ 13,97, o que representa uma diferença de R\$ 14,27.

Assim, é possível concluir que o resultado apresentado na Figura 8, por si só não é suficiente para o completo entendimento da dinâmica da variação de despesas da soldagem com a

variação da corrente. Para tomada de decisão, é importante saber também, em valores absolutos, a variação dos custos parciais. Estes são discutidos nas seções de 5.3.2.1 a 5.3.2.5.

Figura 8- Parcelas dos custos parciais no custo total.

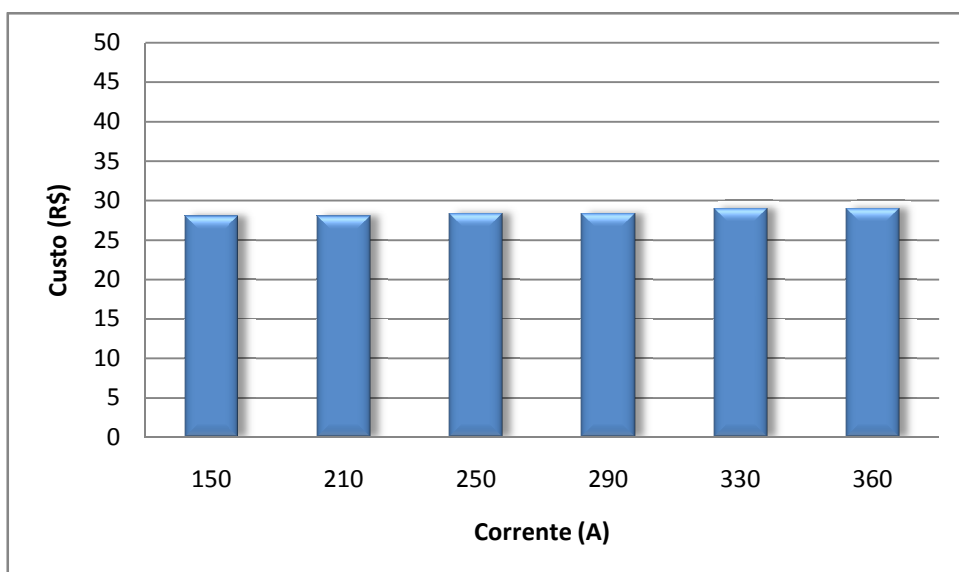


Fonte: Próprio Autor

5.3.2.1 Custo Eletrodo

O custo eletrodo é apresentado na Figura 9.

Figura 9- Custo Eletrodo (por metro de solda)



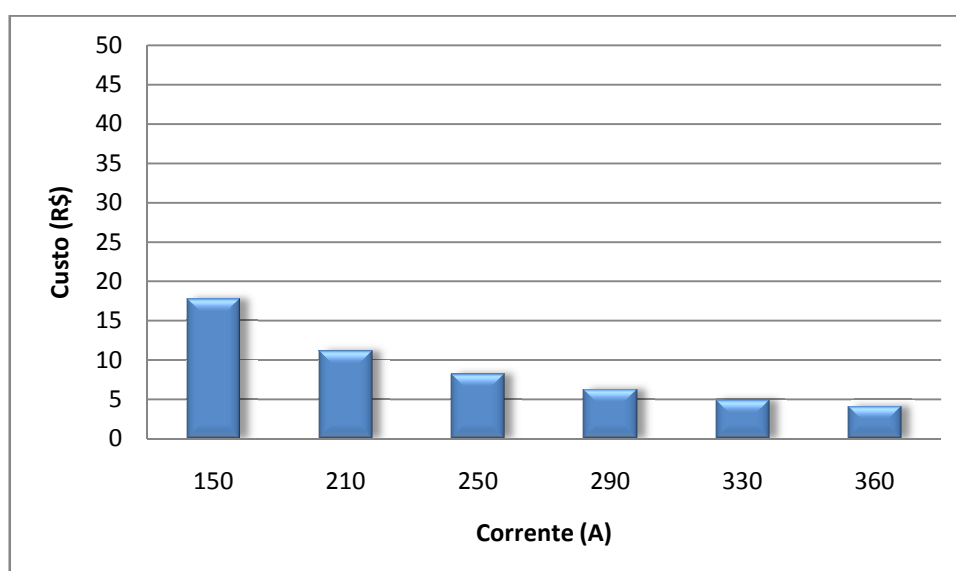
Fonte: Próprio autor.

O custo do eletrodo por metro de solda varia de R\$ 28,02 na simulação com menor valor de corrente (150 A) a R\$28,99 na de maior corrente (360 A). Essa variação de R\$ 0,97 corresponde a uma variação de 3,34%, apenas. É a menor variação dentre os custos parciais, tanto em valor absoluto quanto em valor relativo. Nota-se ainda que os pares de custo das correntes 150 e 210; 250 e 290 e; 330 e360 apresentam valores iguais. Isso dá-se pelo fato do custo eletrodo ser calculado a partir da eficiência de deposição do eletrodo que, conforme Tabela 3, apresenta os valores de 87%, 88% e 90% para os pares acima citados. Essa igualdade se dá possivelmente pelo arredondamento de casas decimais, pois o esperado por teoria é que a eficiência de deposição caia com o aumento da corrente, conforme discutido em 3.5.1.

5.3.2.2 Custo Gás

O custo relativo ao consumo de gás por metro de solda varia de R\$ 17,78 na simulação com menor valor de corrente (150 A) a R\$4,12 na de maior corrente (360 A). Essa variação de R\$13,66 corresponde a uma variação de -77%. Não por coincidência, essa variação percentual é a mesma apresentada pelo tempo de arco já que a vazão de gás é fixa e o custo gás portanto, varia apenas com o tempo de arco. O custo gás, por metro de solda, está representado na Figura 10.

Figura 10- Custo Gás (por metro de solda)

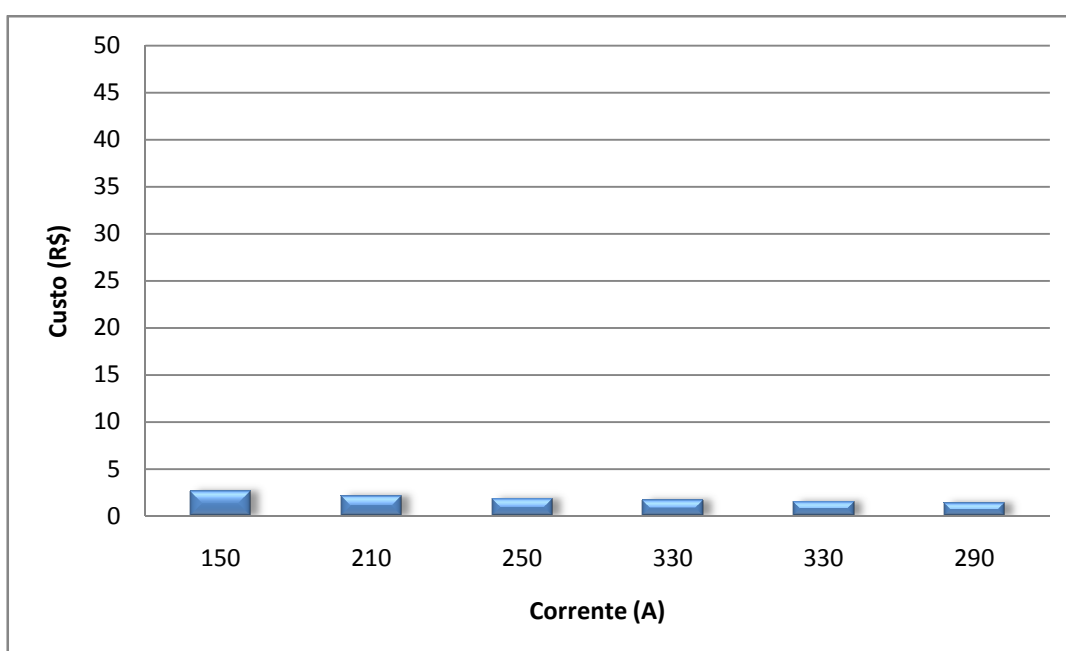


Fonte: Próprio autor.

5.3.2.3 Custo Energia

O custo relativo ao consumo energético por metro de solda varia de R\$ 2,63 na simulação com menor valor de corrente (150 A) a R\$1,40 na de maior corrente (360 A). Essa variação de R\$1,23 corresponde a uma variação de -47%. O custo energia é o custo parcial de menor peso no custo total. A Figura 11 representa, em gráfico, as despesas de energia por metro de solda. Apesar de o aumento da corrente estar diretamente ligada ao aumento do consumo kWh, o aumento da taxa de deposição reduz o tempo de trabalho suficientemente para que haja redução de despesas também no custo energia.

Figura 11 - Custo Energia (por metro de solda)

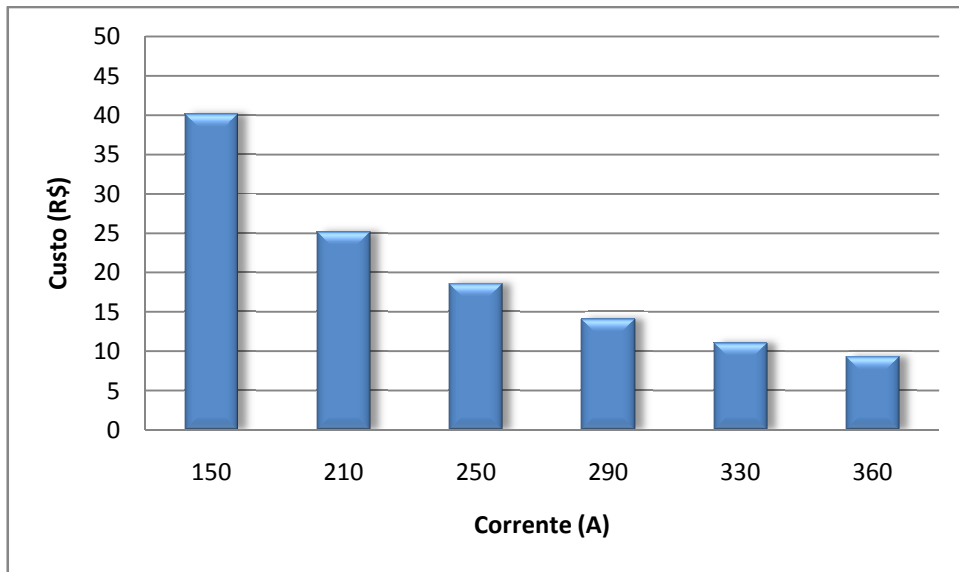


Fonte: Próprio autor.

5.3.2.4 Custo Mão de Obra

A despesa com mão de obra por metro de solda, representada pelo custo de mão de obra, conforme representado na Figura 12 varia de um valor mínimo de R\$ 40,12 a R\$ 9,31. Uma variação de R\$ 30,81 (-77% em percentual). Isso porque o custo de mão de obra depende diretamente do tempo de arco, que por sua vez depende da taxa de deposição. Em termos absolutos, é o custo parcial que mais varia com a variação da corrente. Nota-se aqui a importância deste último parâmetro nos custos de soldagem, conforme já discutido em 3.5.1. Os custos de mão de obra, nas menores correntes, correspondem ao valor de maior peso no custo total, sendo superado pelo custo eletrodo quando a corrente aumenta para 210 A. O custo overhead também o supera em 250 A.

Figura 12- Custo Mão de Obra (por metro de solda)

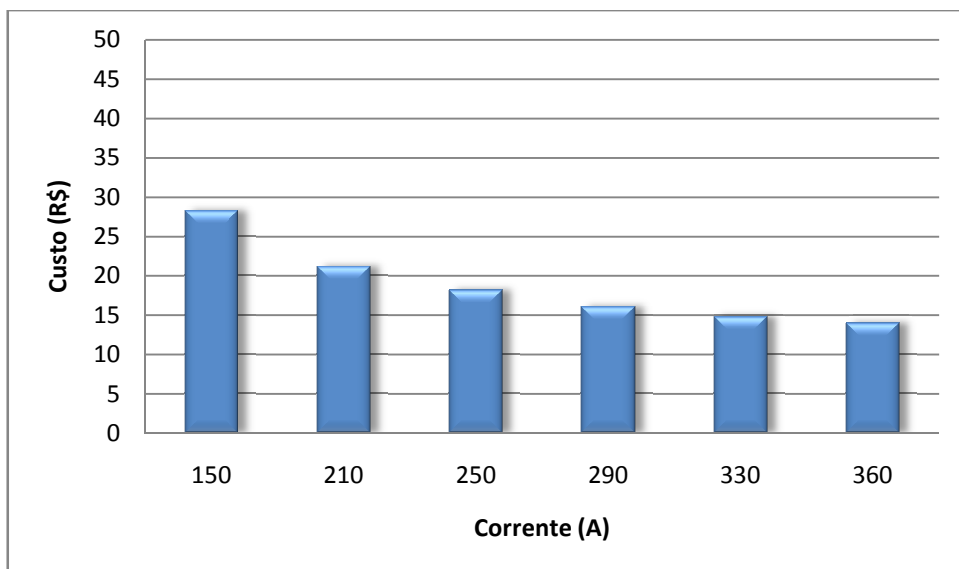


Fonte: Próprio autor.

5.3.2.5 *Custo Overhead*

O Overhead relativo não varia significativamente com a variação da corrente e, portanto, considerar tal valor como constante (24,4% para todos os valores correntes utilizadas) não altera expressivamente os resultados finais em termos de fração. Porém, o valor absoluto varia de R\$ 28,24 a R\$ 13,97, uma diferença de R\$ 14,27, que corresponde a um decréscimo de 51%. É o segundo valor que mais varia em termos absolutos. O custo de overhead por metro de solda está representado na Figura 13.

Figura 13- Custo Overhead (por metro de solda)



Fonte: Próprio autor.

6 CONCLUSÃO

O estudo desenvolvido neste trabalho realizou a análise da influência da intensidade da corrente sobre o custo de uma solda de topo em chanfro produzida pelo processo FCAW empregando arame *flux-cored* rutílico. Pôde-se concluir que:

- A partir da literatura foi possível obter todas as fórmulas de cálculo de custo necessárias à estimativa de custos da situação simulada;
- Das condições propostas da simulação e por meio de levantamento bibliográfico foi possível definir os consumíveis a serem utilizados;
- Pelo levantamento de pesquisa, foi possível obter todas as variáveis requeridas ao cálculo de custos.
- Os custos parciais e totais, por kg de material depositado e por metro de solda puderam ser desenvolvidos integralmente a partir dos dados propostos definidos e calculados.

Dos resultados obtidos, é perceptível que:

- A intensidade de corrente exerce considerável influência na taxa de deposição do material depositado e esta, por sua vez impacta diretamente nos custos de soldagem;
- Uma maior intensidade de corrente reduz os custos totais de soldagem;
- O Custo de Mão de Obra é o mais afetado pelo aumento da intensidade de corrente;
- Todos os custos parciais decrescem com aumento da intensidade de corrente, exceto o custo de material depositado;
- O custo absoluto de material depositado é pouco influenciado pelo aumento da intensidade de corrente. Apesar disso, é o que mais varia em termos de valores fracionais.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução homologatória N°2.757:** Tarifas de Fornecimento - CEMIG. Brasília: Aneel, 2021. 12 p. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20202757ti.pdf>> . Acesso em: 17 fev. 2021.

ALBUQUERQUE, Cláudio F. de. **Energia Ativa e Reativa**. Itaí, São Paulo, dez. 2009. Livro Explicativo.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **Welding Handbook:** Welding Science and Technology, 9. ed. Miami, 2001. vol. 1.

BOIKO, Irina; AVISANS, Didzis. Study of shielding gases for MAG welding. **Materials Physics and Mechanics**, Riga, v. 16, p. 126 - 134, mar., 2013.

BRASIL. Medida Provisória nº 919, de 30 de janeiro de 2020. **Medida Provisória**. 22. ed. Brasília, DF: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 31 jan. 2020. Seção 1, p. 1.

BRITO, José de Deus; PARANHOS, Ronaldo. **Como Determinar os Custos da Soldagem**, Campo dos Goytacazes, 2005. ISBN: 85-905350-1-0.

COMPANHIA ELÉTRICA DE MINAS GERAIS. **Manual sobre contratos de energia elétrica e estrutura tarifária 2012**. DCAL/SCRLP. Belo Horizonte, 2012.

ESAB. Ficha Técnica. **Aristo® 500ix**, jul. 2020. Disponível em: <esab.com>, Acesso em 17 fev. 2021.

ESAB. Ficha técnica: **Dual Shield 7100 LH**, fev. 2021. Disponível em: <esab.com/filermetals>, Acesso em 17 fev. 2021.

ESAB. **ESAB**. 2021. Dual shield 7100 LH. Disponível em: <<https://www.esab.com.br/br/pt/products/filler-metals/gas-shielded-flux-cored-wires-fcaw/mild-steel-wires/dual-shield-7100-lh.cfm>>. Acesso em 20 de fev. de 2021.

FORTES Cleber. **Arames Tubulares**. ESAB, São Paulo, 2004. Apostila.

HENDRICKS, James A. **Accounting for Automation**. *Mechanical Engineering*, [S.l.], 64-69, fev. 1989.

JUNIOR, Antônio R. Micalli *et al.* **Manual de Tecnologia de Fabricação e Soldagem**. Núcleo Tecnológico de soldagem e qualidade. São Paulo, 2002.

KUNTZ, Ramon. **Aplicação da abordagem lean manufacturing para redução de custos no processo de soldagem**. 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2018.

MILLER, C.; CRAWFORD, M. H. **Welding-Related Expenditures, Investments, and Productivity Measurement in U.S. Manufacturing, Construction, and Mining Industries**. American Welding Society, Miami. 2002.

MODENESI, Paulo. **Estimativa de Custos em Soldagem**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2001. Apostila do curso de soldagem.

MODENESI, Paulo. **Introdução à Metalurgia da Soldagem**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. Apostila do curso de soldagem.

NETO, Renata Valeska do Nascimento. **O Tratamento do Overhead Em Indústrias Brasileiras: Uma Pesquisa Empírica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 9., 2002, São Paulo. **Anais** [...]. São Paulo: 2002.

NORMAN, R.; TOBIN, A. M.; KINGSMAN, B. K. A study of small subcontract and make-to-order firms in relation to quotation for orders. **International Journal of Operations & Production Management**, [S.l.], v. 8, n. 6, p. 46-59, 1988. ISSN: 0144-3577.

RIBEIRO, Joshua Alyson Freitas. **Estudo da viabilidade de alteração de processo de soldagem de FCAW para GMAW para possível redução de custos em indústria de estruturas metálicas**. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

SALES, Juscelino Chaves. **Efeito do tipo de gás de proteção sobre o desempenho do arame tubular AWS E71T1-1, utilizando processo convencional e pulsado**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2002.

SOUZA, Antônio Artur de *et al.*. Estudo dos Processos de Estimação de Custos e Formação de Preços em Empresas de Produção por Encomenda. In: CONGRESSO DA ANPAD, 31., 2007, Rio de Janeiro. **Anais**, São Leopoldo - RS, Associação Brasileira de Custos, 2007. ISSN 2358-856X.

TURANI, Cláudio Vaz. **Material 1**. 2020. Material apresentado na disciplina Tecnologia e Metalurgia da Soldagem do CEFET-MG. Belo Horizonte, 2020. 183 slides.

APÊNDICE A - PLANILHA DE RESULTADOS

F	G	H	I
Cálculo de Custos		Custos por metro de solda	
Corrente (A)	Valor	Corrente (A)	Valor
Custo Gás (por kg depositado)	R\$/kg	Custo Gás (por m de solda)	R\$/kg
150	11,480	150	17,78
210	7,199	210	11,15
250	5,320	250	8,24
290	4,039	290	6,25
330	3,161	330	4,89
360	2,663	360	4,12
Custo Energia (por kg depositado)		Custo Energia (por m de solda)	
150	1,699	150	2,63
210	1,374	210	2,13
250	1,185	250	1,84
290	1,089	290	1,69
330	0,971	330	1,50
360	0,901	360	1,40
Custo Eletrodo (por kg depositado)		Custo Eletrodo(por m de solda)	
150	18,10	150	28,02
210	18,10	210	28,02
250	18,30	250	28,34
290	18,30	290	28,34
330	18,72	330	28,99
360	18,72	360	28,99
Custo M.O. (por kg depositado)		Custo M.O.(por m de solda)	
150	25,91	150	40,12
210	16,25	210	25,15
250	12,01	250	18,59
290	9,12	290	14,11
330	7,13	330	11,05
360	6,01	360	9,31
Custo Overhead (por kg depositado)		Custo Overhead(por m d solda)	
150	18,24	150	28,24
210	13,69	210	21,19
250	11,74	250	18,18
290	10,38	290	16,07
330	9,56	330	14,81
360	9,02	360	13,97
Custo Total	(por kg depositado)	Custo Total	(por m de solda)
150	75,42	150	116,78
210	56,60	210	87,64
250	48,56	250	75,19
290	42,93	290	66,47
330	39,55	330	61,24
360	37,32	360	57,79

APÊNDICE B - PLANILHA DE VARIÁVEIS

A	B	C	D
1	Variáveis que não dependem da corrente		
2	Preço da Energia	Valores	Unidades
3	Demanda Única (out/20)	14,68	R\$/KW
4	Demanda +PASEP/COFINS e ICMS	18,71	R\$/KW
5	Consumo - Fora de Ponta	0,34	R\$/KWh
6	Consumo + PASEP/COFINS e ICMS	0,43	R\$/KWh
7	Fator de Potência (ϕ)	0,91	
8	Eficiência da Máquina	88	%
9	Demanda/hora	0,45	R\$/h
10	Consumo/hora	0,49	R\$/KWh
11			
12	Mão de Obra	Valores	Unidades
13	Salário	2500,00	R\$
14	Jornada	44	Horas Semanais
15	Impostos e Custos adicionais	100	%
16	Vale Transporte	198,00	R\$
17	Custo/hora	29,53	R\$
18	Custo Final	5198,00	R\$
19	Fator de Operação	60	%
20			
21	Material	Valores	Unidades
22			
23	Arame		
24	Tamanho	1,20	mm
25	Densidade do Material	7860	kg/m ³
26	Volume de Material Depositado(por m)	1,97E-04	m ³ /m
27	Massa do Material Depositado(por m)	1,5484	kg/m
28	Preço do Arame		
29	Preço do Arame	20,80	R\$/kg
30	Gás CO ₂		
31	Vazão de Gás	18	l / min
32	Vazão de Gás (m ³ /h)	1,08	m ³ /h
33	Densidade do Gás	1,836	kg/m ³
34	Preço do Gás	11,000	R\$/kg
35	Preço do Gás (m ³ /h)	20,196	R\$/m ³
36			

K	L	M	N	O
Variáveis que dependem da corrente				
Corrente (A)	Tensão (V)	Taxa Deposição (kg/h)	Eficiência (%)	
150	28	1,9	87	
210	29	3,03	87	
250	30	4,1	88	
290	33	5,4	88	
330	34	6,9	90	
360	35	8,19	90	
Corrente (A)	Tempo de Arco (h)	Gás Consumido (m ³)	Arame Consumido (kg)	Tempo de Trabalho(h)
150	0,8150	0,8802	0,0218	1,3583
210	0,5110	0,5519	0,0348	0,8517
250	0,3777	0,4079	0,0466	0,6294
290	0,2867	0,3097	0,0614	0,4779
330	0,2244	0,2424	0,0767	0,3740
360	0,1891	0,2042	0,0910	0,3151