



William Stringari

**INFLUÊNCIA DA ENERGIA DE SOLDAGEM E CONSUMÍVEIS
SOBRE A RESISTÊNCIA A FLEXÃO DE JUNTAS “T” SOLDADAS
DO AÇO DOCOL 800 DL**

Horizontina - RS

2017

William Stringari

**INFLUÊNCIA DA ENERGIA DE SOLDAGEM E CONSUMÍVEIS
SOBRE A RESISTÊNCIA A FLEXÃO DE JUNTAS “T” SOLDADAS
DO AÇO DOCOL 800 DL**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica na Faculdade Horizontina, sob a orientação do Prof. Jonathan Felipe Camargo, Mestre em Engenharia Mecânica.

Horizontina - RS

2017

FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o trabalho final de curso

“Influência da Energia de Soldagem e Consumíveis Sobre a Resistência à Flexão de Juntas “T” Soldadas do Aço Docol 800 DL”

Elaborada por:

William Stringari

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia Mecânica

Aprovado em: 27/11/2017

Pela Comissão Examinadora

Prof. Jonathan Felipe Camargo, Me. Eng.

Presidente da Comissão Examinadora - Orientador

Prof. Eloir Fernandes, Me. Eng.

FAHOR – Faculdade Horizontina

Prof. Francine Centenaro, Me. Eng.

FAHOR – Faculdade Horizontina

Horizontina - RS

2017

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, especialmente aos meus pais Claudio e Fátima Stringari, a minha irmã Cláudia, minha tia Iria e minha namorada Cristiane que sempre estiveram juntos comigo e me apoiaram ao longo da graduação.

AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a Deus por ter me guiado e por ter me concedido a vida.

A minha família, em especial aos meus Pais, pelos ensinamentos, educação, apoio, incentivo e por me darem a vida!

A minha namorada pelo apoio, ajuda, incentivo e compreensão nas horas em que estive ausente.

Aos colegas da Equipe Sinuelo pelo apoio e compreensão em que me fiz ausente nos encontros da equipe e pelo que aprendi neste projeto ao longo destes 5 anos.

Aos meus amigos, pela amizade e incentivo.

A FAHOR que oportunizou esta pesquisa, o apoio durante esses anos de estudos e trabalho e as pessoas que me auxiliaram na construção deste trabalho.

Ao amigo Bernardo Scheunemann pelo apoio na montagem do sistema de aquisição de dados.

A todos os professores e funcionários da FAHOR em especial ao meu orientador, Mestre Jonathan Felipe Camargo pelo apoio e dedicação durante a orientação.

“ A persistência é o caminho do êxito. ”

(Charles Chaplin).

RESUMO

Os materiais de alta resistência são muito utilizados na indústria, principalmente no ramo automotivo, por possuir maior resistência mecânica que os aços comuns e conseqüentemente necessita-se de menos material, melhorando o agregado de peso dos produtos, pois é possível a produção de perfis mais finos com a capacidade de suportar maiores cargas. Isso também é o que busca a Equipe Sinuelo através da construção de seu protótipo para a Competição SAE Brasil. Dentro da classe dos materiais de alta resistência, encaixa-se o aço DOCOL 800 DL que é classificado como aço de duas fases que dispõe vantagens de boa conformabilidade e alta resistência mecânica. A aprovação das juntas “T” soldadas nos procedimentos destes materiais é de fundamental importância para garantir que, após o processo de soldagem, as propriedades mecânicas sejam mantidas. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo ensaiar juntas soldadas do tipo “T” do aço DOCOL 800 DL e definir a energia de soldagem e consumível através de ensaios de flexão em uma bancada hidráulica composta por uma célula de carga e um sistema de aquisição de dados e após análise metalográfica. Três energias de soldagem e dois metais de adição foram utilizados (AWS ER70S-6 e AWS 120S-G) o primeiro metal de adição apresenta resistência mecânica menor que a do metal base (*undermatching*), e o segundo apresenta resistência mecânica maior que a do metal base (*overmatching*). Dezoito corpos de prova foram soldados para a realização dos experimentos sendo três corpos de prova para cada energia de soldagem. As juntas soldadas com metal de adição *overmatching* apresentaram maior resistência a flexão comparadas com o metal de adição *undermatching*. As juntas soldadas com a energia de soldagem de 0,62 kJ/mm foram as que apresentaram os melhores resultados com o metal de adição *undermatching* e nas juntas soldadas com o metal de adição *overmatching*, os resultados foram levemente melhores nas juntas com energia de soldagem de 0,23 kJ/mm, já que as forças de ruptura tiveram pouca variação com esse metal de adição.

PALAVRAS-CHAVE: Ensaio de flexão. Aço DOCOL 800 DL. Energia de soldagem.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Equipamentos básicos para soldagem MIG/MAG.....	17
Figura 2-Mapa tensão de escoamento x alongamento para diferentes classes de aços.	19
Figura 3- Estrutura da ZTA em aços ao carbono (esquemática).	21
Figura 4- Esquema método de ensaio engastado.....	25
Figura 5- Célula de carga para esforços de compressão.....	26
Figura 6- Ponte de Wheatstone.....	26
Figura 7- Visão geral dos ensaios deste trabalho.	27
Figura 8- Tubos soldados em conjunto "T".	29
Figura 9- Fonte utilizada no procedimento de soldagem.	31
Figura 10 - Calibração da célula de carga.	32
Figura 11 – Componentes eletrônicos para aquisição dos dados.	33
Figura 12 – Planilha de aquisição de dados com o software PLX – DAQ.....	33
Figura 13 - Bancada hidráulica utilizada para o ensaio de flexão.	34
Figura 14- Sistema montado para o ensaio de flexão.....	34
Figura 15 - Amostra seccionada na junta em "T".....	35
Figura 16 - Corpo de prova submetido ao ensaio de flexão.	36
Figura 17 - Limite de resistência a tração x energia de soldagem das juntas soldadas com o consumível AWS ER70S-6.	36
Figura 18 - Limite de resistência a tração x energia de soldagem das juntas soldadas com o consumível AWS ER120S-G.	37
Figura 19 - Macrografias das amostras soldadas com o consumível AWS ER70S-6 atacadas com nital 5% - (1) 0,23 kJ/mm; (2) 0,62 kJ/mm; (3) 0,80 kJ/mm.....	38
Figura 20 - Macrografias das amostras soldadas com o consumível AWS ER120S-G atacadas com nital 5% - (4) 0,23 kJ/mm; (5) 0,62 kJ/mm; (6) 0,80 kJ/mm.....	38
Figura 21 - Área do metal de solda versus a energia de soldagem.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação da soldabilidade conforme nível de carbono equivalente.	20
Tabela 2 - Composição química do aço DOCOL 800 DL.	29
Tabela 3 - Propriedades mecânicas do aço DOCOL 800 DL.	29
Tabela 4 - Propriedades químicas dos consumíveis.	30
Tabela 5 - Propriedades mecânicas dos consumíveis.	30
Tabela 6 - Parâmetros utilizados na soldagem.	30
Tabela 7 - Parâmetros variados para cada corpo de prova no processo de soldagem MIG/MAG.	31

LISTA DE SIGLAS

ARBL = Alta Resistência Baixa Liga.

FCAW = Soldagem com eletrodo de alma fundente.

MB = Metal Base.

MIG/MAG = Soldagem a arco gasoso com arame contínuo.

OFF ROAD = Fora de estrada.

Overmatching = Resistência mecânica maior que a do MB.

SAW = Soldagem a arco submerso.

SG = Strain Gage.

SMAW = soldagem com eletrodo revestido.

Undermatching = Resistência mecânica menor que a do MB.

ZTA = Zona Termicamente Afetada.

E = Energia de Soldagem.

I = Corrente elétrica.

U = Velocidade.

V = Tensão.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 TEMA.....	14
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	14
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.4 JUSTIFICATIVA	15
1.5 OBJETIVOS.....	15
1.5.1 Objetivo Geral	15
1.5.2 Objetivos Específicos	15
2 REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 PROJETO BAJA SAE BRASIL – EQUIPE SINUELO.....	16
2.2 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG	16
2.2.1 Equipamentos de soldagem MIG/MAG	17
2.2.2 Consumíveis	18
2.3 AÇOS AVANÇADOS DE ALTA RESISTÊNCIA E BAIXA LIGA (ARBL).....	18
2.3.1 Soldabilidade dos aços ARBL.....	19
2.3.2 Carbono Equivalente.....	20
2.3.3 Características da Zona Termicamente Afetada (ZTA).....	21
2.3.4 Efeitos da energia de soldagem sobre a ZTA dos aços ARBL.....	22
2.3.5 Aço DOCOL 800 DL	23
2.4 FLEXÃO	24
2.4.1 Ensaio de flexão	24
2.5 CÉLULA DE CARGA	25
3 METODOLOGIA.....	27
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	27
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	28

3.2.1	Corpos de prova e parâmetros variados	30
3.2.2	Equipamento de soldagem	31
3.3	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	32
3.3.1	Célula de carga	32
3.4	ENSAIO DE FLEXÃO	34
3.5	ANÁLISE METALOGRÁFICA	35
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	36
4.1	ENSAIO DE FLEXÃO	36
4.2	ANÁLISE METALOGRÁFICA	38
5	CONCLUSÃO	40
	REFERÊNCIAS	41
	APÊNDICES	43
	ANEXOS	44

1 INTRODUÇÃO

O uso dos aços especiais cresceu consideravelmente nos últimos anos, estes aços possuem alta resistência e conseqüentemente necessita-se de menos material melhorando o agregado de peso nos produtos, tendo, em seu uso, mais vantagem sobre os aços normais encontrados na indústria, assim, reduzindo-se peso e ganhando resistência fazendo com que os produtos sejam mais viáveis gerando mais economia. Muitas indústrias estão encontrando novas vantagens e possibilidades com aços de alta resistência, que tendem sempre a crescer e a evoluir em sua manufatura e aplicações.

A utilização do aço DOCOL 800 DL permitiu um alto desempenho na produção de chassis, e componentes de carros de passeio e corrida, pois é possível a produção de perfis mais finos com capacidade de suportar cargas maiores.

Baja SAE Brasil é um projeto, que desafia estudantes a projetar, construir, testar, validar e competir com um veículo off road, visando a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos em sala de aula. A FAHOR participa do projeto Baja SAE Brasil, através do desenvolvimento de um protótipo pela Equipe Sinuelo.

O projeto é dividido em subsistemas, e sempre se busca a melhoria continua através da redução de peso, melhoria em suportar maiores esforços mecânicos e redução de custos.

Um dos aços selecionados pela Equipe Sinuelo para reduzir peso é o aço DOCOL 800 DL através de um conjunto soldado dentro do subsistema de suspensão, empregando-o nas balanças, portanto, precisa-se de um estudo sobre os consumíveis e energias de soldagem que podem ser utilizados no projeto Baja.

Este trabalho é classificado como uma pesquisa aplicada e descritiva, por realizar ensaios de flexão de juntas soldadas em uma bancada hidráulica no laboratório de ensaios mecânicos dentro da FAHOR - Faculdade Horizontina.

O objetivo do experimento é realizar um estudo estrutural dos efeitos da energia de soldagem e consumíveis sobre a resistência a flexão de juntas "T" soldadas usando um sistema de aquisição de dados e uma célula de carga, para efetuar a medição da carga aplicada sobre o corpo de prova disposto na bancada e conseqüentemente análise da zona afetada pelo calor (ZTA). O desafio é definir a energia de soldagem e consumível mais adequado para a soldagem

do aço DOCOL 800 DL onde pretende-se avaliar os resultados através dos ensaios mecânicos e análises metalográficas.

1.1 TEMA

Este trabalho tem como tema a influência da energia de soldagem e consumíveis sobre a resistência à flexão de juntas "T" soldadas do aço DOCOL 800 DL.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O tema delimita-se na soldagem do aço DOCOL 800 DL em juntas "T", variando a energia de soldagem e consumíveis, a instalação de uma célula de carga e sistema de aquisição de dados para a medição da carga aplicada sobre o corpo de prova até sua ruptura, e análises metalográficas.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A Equipe Sinuelo pretende utilizar o aço DOCOL 800 DL, mas antes disso, é necessário obter mais informações sobre a resistência a flexão do conjunto soldado, consumíveis e energia de soldagem.

A atual condição da bancada do Laboratório de Ensaios Mecânicos, apresenta um portal de ensaios e um sistema hidráulico com um atuador linear. Esse sistema, não dispõe de nenhum sistema de aquisição de dados, já que é uma bancada onde necessita-se de dados coletados para os resultados dos ensaios realizados.

Atualmente o aço DOCOL 800 DL vem sendo utilizado, principalmente pelo setor automotivo, por conta de sua alta resistência mecânica, e, conseqüentemente a necessidade de menos material visando a melhoria do peso agregado dos produtos, as informações sobre esse aço são bastante desprovidas, e não se tem um estudo aprofundado e testes específicos sobre a resistência mecânica do aço.

Com base no exposto, o problema de pesquisa caracteriza-se com a seguinte pergunta: qual o impacto da variação da energia de soldagem e consumíveis na resistência a flexão de juntas "T" soldadas do aço DOCOL 800 DL?

1.4 JUSTIFICATIVA

Este trabalho, desenvolvido em uma bancada hidráulica de ensaios mecânicos do laboratório de Ensaios Mecânicos da FAHOR, justifica-se pelo fato de se obter dados para efetuar a soldagem do aço DOCOL 800 DL e assim dimensionar conjuntos soldados corretamente, sem perda de tempo e consumíveis contribuindo para a melhoria da produção das indústrias que utilizam esse aço, principalmente do ramo automotivo.

Também se justifica pelo fato da Equipe Sinuelo pretender utilizar o aço DOCOL 800 DL na confecção das balanças de suspensão e necessita-se de maiores informações sobre a energia de soldagem e consumíveis deste material.

Dessa forma, acredita-se que este trabalho trará maiores efeitos produtivos em conjuntos soldados desse aço especial em empresas principalmente do ramo automotivo, pois haverá menos perda no processo produtivo de soldagem.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo Geral

Demonstrar qual o impacto da variação da energia de soldagem e consumíveis na resistência de juntas "T" soldadas do aço DOCOL 800 DL.

1.5.2 Objetivos Específicos

Constituirão os objetivos específicos do trabalho:

- Apresentar a diferença de limite de resistência a tração do DOCOL 800 DL e dos consumíveis.
- Conceituar o processo de soldagem MIG/MAG, aços avançados de alta resistência e baixa liga, características da zona termicamente afetada, célula de carga e ensaio de flexão.
- Adequar a bancada para os ensaios.
- Construir os corpos de prova variando os parâmetros.
- Comparar, através do ensaio de resistência a flexão e análises metalográficas, os melhores parâmetros de soldagem.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, serão abordados os embasamentos teóricos referentes ao projeto Baja SAE Brasil processo de soldagem MIG/MAG, aços avançados de alta resistência e baixa liga, características da zona termicamente afetada, ensaios de flexão, célula de carga, limite de resistência a tração do aço DOCOL 800 DL e dos consumíveis.

2.1 PROJETO BAJA SAE BRASIL – EQUIPE SINUELO

O programa Baja SAE Brasil é um uma competição entre estudantes de instituições de ensino superior, onde os estudantes de engenharia são desafiados a desenvolver um veículo *off road*, visando a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos em sala de aula (SAE BRASIL, 2017).

A Equipe Sinuelo é formada por cerca de vinte acadêmicos e um professor orientador dos cursos de engenharias da FAHOR-Faculdade Horizontina. A equipe foi criada em abril de 2006, através da iniciativa do professor Daniel Werner Zacher, na época, membro da diretoria da SAE Brasil, que incentivou alguns acadêmicos a iniciarem uma equipe de baja para participar de competições e eventos, focando principalmente a Competição SAE Brasil (EQUIPE SINUELO, 2006).

O principal objetivo das equipes participantes é projetar um protótipo visando sua comercialização. O veículo deve ser seguro, robusto, facilmente transportado e de simples manutenção e operação. Deve ser capaz de operar seguramente sobre terrenos acidentados, incluindo grandes inclinações e lâminas de água em todas as combinações e em qualquer condição climática sem apresentar danos ao protótipo (SAE BRASIL, 2017).

2.2 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG

A soldagem a arco elétrico com proteção gasosa, é um processo em que a união de peças metálicas, é realizada pelo aquecimento destas com um eletrodo metálico, nu, consumível, através de um arco elétrico pré-estabelecido, e a peça de trabalho. Para proteção contra contaminação pela atmosfera na poça de fusão, é utilizada uma mistura de gases inertes ativos. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Segundo Marques, Modenesi, Bracaranense (2009), é normalmente um processo semiautomático, onde a alimentação de arame eletrodo é mecanizada através de um alimentador

motorizado, e o operador é o responsável pela iniciação e interrupção da soldagem, e também mover a tocha no percurso da junta. A constituição do arco é garantida através pela contínua alimentação do arame, e o comprimento do arco é mantido constante pelo próprio sistema, sendo independente aos movimentos realizados pelo operador, dentro dos limites aceitáveis, entre os sistemas mais utilizados com esse processo.

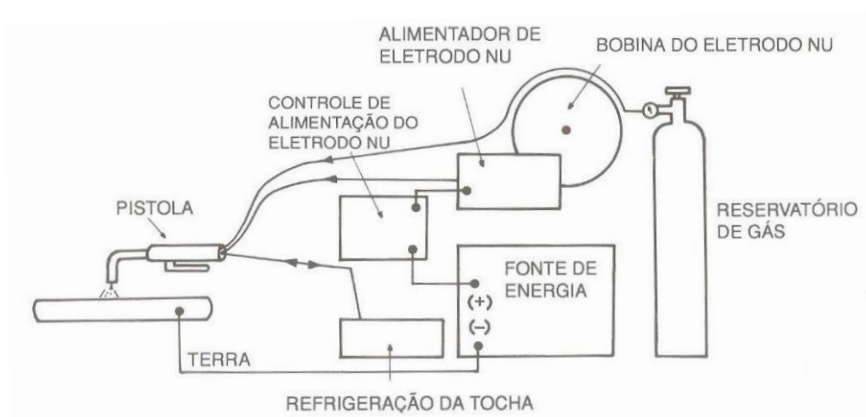
De acordo com Cunha (1989), as maiores vantagens do processo MIG/MAG, são a larga capacidade de aplicação, ausência de operações de remoção de escória, a baixa liberação de fumaça e gás, a alta versatilidade, a alta deposição e a ampla faixa de espessuras de diferentes tipos de materiais que podem ser soldados.

Ainda de acordo com Marques; Modenesi; Bracaranense (2009), a principal limitação do processo de soldagem MIG/MAG, é a sua melhor sensibilidade à variação dos parâmetros elétricos de operação no arco de soldagem, pois influenciam diretamente na deposição do cordão de solda, além da necessidade de um rigoroso ajuste de parâmetros para se obter um conjunto de características para o mesmo. A determinação destes parâmetros é limitada pela forte correlação destes e pela interferência no resultado final da operação. Outras limitações do processo são a menor variedade de consumíveis, o maior custo do equipamento e a maior necessidade de manutenção.

2.2.1 Equipamentos de soldagem MIG/MAG

Para Cunha (1989), o equipamento de soldagem MIG/MAG, consiste em um suprimento de energia, uma pistola de soldagem, um sistema de acionamento de arame e um suprimento de gás de proteção, de acordo com a Figura 1.

Figura 1 – Equipamentos básicos para soldagem MIG/MAG



Fonte: Wainer, Brandi, de Mello, 1992.

2.2.2 Consumíveis

Os principais consumíveis utilizados na soldagem MIG/MAG são o gás de proteção, o arame eletrodo e em algumas situações é empregado um líquido contra adesão de respingos na tocha e regiões adjacentes da solda. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

Segundo Infosolda (2013), o gás de proteção utilizado na soldagem MIG/MAG, interfere nas características na penetração, na transferência do metal, no arco, formato e largura do cordão de solda, custo do processo e velocidade de soldagem.

De acordo com Marques; Modenesi; Bracaranense (2009), os arames para soldagem são constituídos por metais ou ligas metálicas que possuem dureza, composição química, dimensões bem controladas e condições superficiais. Arames que não possuem essas propriedades citadas, podem produzir instabilidade no arco, falhas de alimentação e descontinuidades no cordão de solda.

O líquido contra adesão de respingos é fornecido, geralmente, em pequenas embalagens em aerosol, e é depositado em finas camadas sobre o bico de contato e o bocal da tocha de soldagem. Em algumas ocasiões, é utilizado também no metal base (MB), e em regiões próximas da junta, facilitando a remoção de respingos de solda. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

2.3 AÇOS AVANÇADOS DE ALTA RESISTÊNCIA E BAIXA LIGA (ARBL)

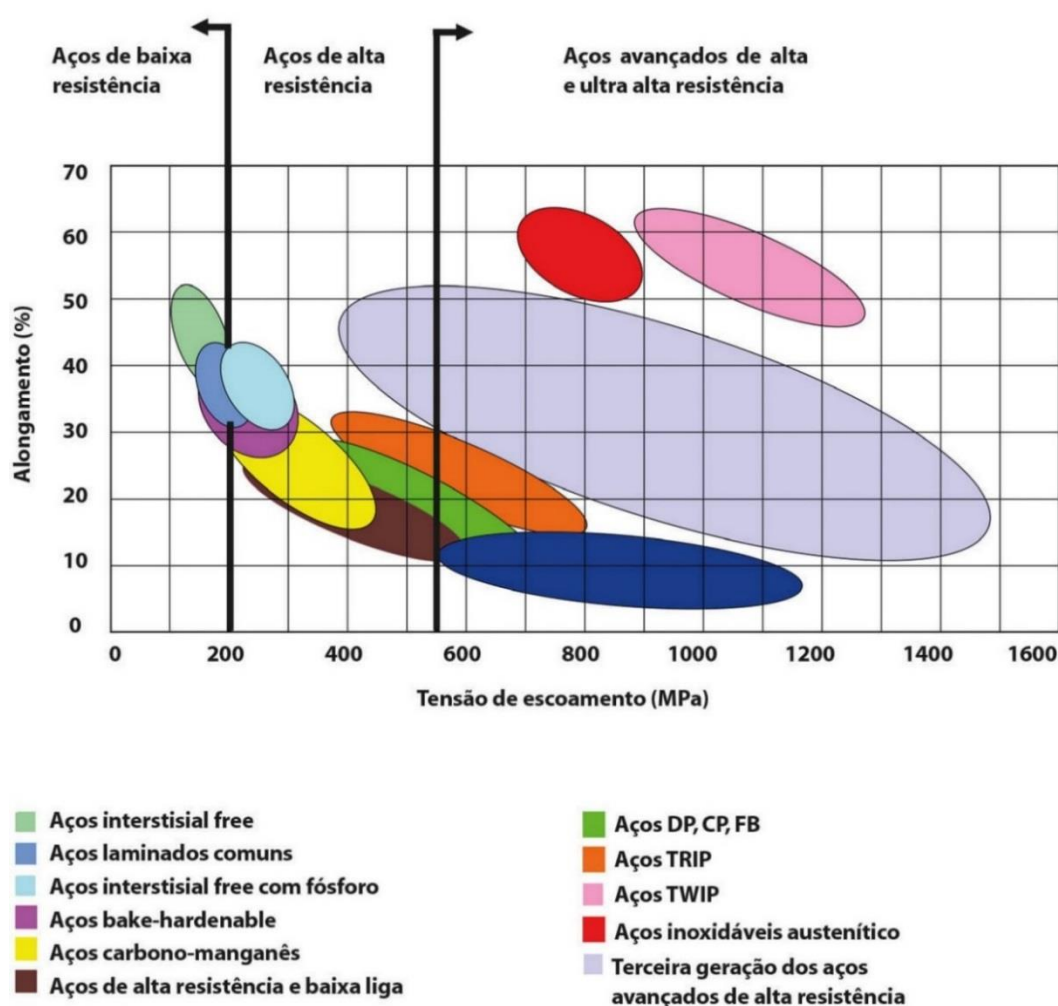
Segundo Schaeffer (2017), nos últimos anos, tem aumentado consideravelmente, a utilização dos aços avançados de alta resistência e baixa liga (ARBL). Esse perfil de aço, combina boa ductilidade e alta resistência mecânica e, até o momento, seu uso tem estado restrito a manufatura de produtos para a indústria automobilística. Sua alta resistência, permite que, em sua montagem no conjunto, sejam utilizados componentes mais leves, o que acarreta na redução do consumo de combustíveis e a consequentemente redução de emissão de gases, estes, que contribuem para o agravamento do efeito estufa.

De acordo com Worldautosteel (2014), devido à alta demanda automotiva aos aços ARBL, laboratórios de pesquisa da indústria automobilística e siderúrgica, mantem-se a procurar novos tipos de aços ou novas composições para os já existentes. A pesquisa de Worldautosteel, tem por objetivo, melhorar a capacidade de formulação dos aços para uma maior resistência de escoamento, reduzindo os custos e problemas de soldagem associados a

alta porcentagem de austenite presente na composição do material.

A Figura 2, mostra o "mapa" resistência x ductilidade para várias classes de aço. Observando o lado direito do mapa, surgem os chamados genericamente de aços de alta resistência, com tensão de escoamento entre 200 a 550 MPa e alongamento entre 10 a 25%.

Figura 2-Mapa tensão de escoamento x alongamento para diferentes classes de aços.



Fonte: Schaeffer, 2017.

2.3.1 Soldabilidade dos aços ARBL

De acordo com Cimm (2013), os aços avançados de alta resistência podem ser soldados por qualquer processo de soldagem a arco: soldagem com eletrodo de alma fundente (FCAW), soldagem com eletrodo revestido (SMAW), arco submerso (SAW), ou arco gasoso com arame contínuo (MIG/MAG).

O maior problema de soldabilidade dos aços ARBL, é a formação de trincas instigadas pelo hidrogênio, especialmente na zona termicamente afetada (ZTA). Outros problemas incluem a perda de tenacidade na ZTA e a formação de trincas de solidificação (em soldagens com aporte térmico elevado ou em peças contaminadas). Ainda, em função de um projeto ou execução incorreto, ou uma seleção inadequada de consumíveis, podem ocorrer problemas de mordeduras, corrosão, porosidade, falta de fusão, etc. (MODENESI, 2011).

2.3.2 Carbono Equivalente

A temperabilidade de um aço carbono é determinada pelos elementos de liga e pelo teor de carbono presentes no aço. É determinada por equações que representam um teor de carbono equivalente, é calculado a partir de elementos de liga mais comuns e do teor de carbono que é chamado de carbono equivalente (INFOSOLDA, 1997).

Existem várias equações para calcular o carbono equivalente, a mais empregada foi desenvolvida pelo Instituto Internacional de Soldagem, conforme Equação 1.

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

Quanto menor for o carbono equivalente, menor a probabilidade de obter-se uma microestrutura martensítica e, por consequência melhor soldabilidade do aço, assim o nível de carbono equivalente é classificado de acordo com sua soldabilidade, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação da soldabilidade conforme nível de carbono equivalente.

Nível de carbono equivalente	Soldabilidade
$C_{eq} < 0,40$	Boa soldabilidade
$0,40 \leq C_{eq} \leq 0,60$	Média soldabilidade
$C_{eq} > 0,60$	Má soldabilidade

Fonte: Infosolda, 1997.

De acordo Infosolda (1997), um nível de carbono equivalente elevado, não é indicador de que o aço não é soldável, mas sim, são necessários maiores cuidados. Segundo a classificação da Tabela 1, quanto menor o carbono equivalente melhor sua soldabilidade. Portanto, a

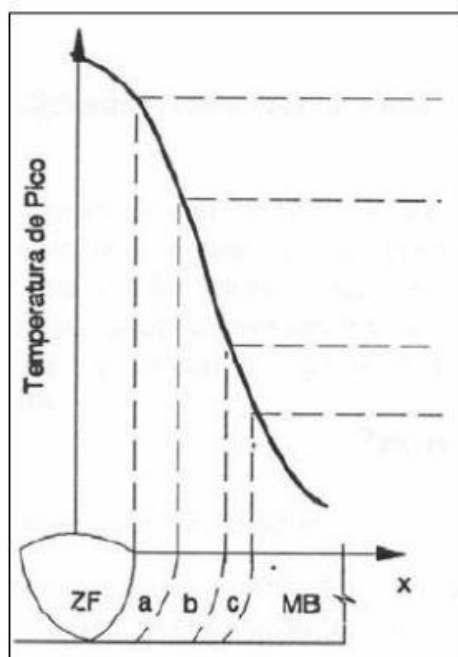
tendência é reduzir o teor de carbono no metal de solda e aumentar o teor de elementos de liga, que endurecem o aço que compõe o metal de solda, apesar de ter um menor peso no carbono equivalente.

O metal de base especificado para determinada aplicação nem sempre pode ser substituído por um aço de carbono menor. Neste caso, muitas vezes é necessário adotar algumas práticas que evitem a trinca a frio induzida por hidrogênio, como: consumível com baixo teor de hidrogênio, pré-aquecimento, controle de temperatura interpasse, pós-aquecimento e alívio de tensões pós-soldagem (INFOSOLDA, 1997).

2.3.3 Características da Zona Termicamente Afetada (ZTA)

Segundo Marques, Modenesi, Bracaranense (2009), as características da ZTA dependem do processo e procedimento de soldagem e do tipo de MB, ou seja, da repartição térmica e dos ciclos térmicos. Conforme o material soldado, os efeitos do ciclo térmico, podem ser os mais variados. No caso de metais não transformáveis, no estado recozido, a principal mudança estrutural será o crescimento de grão. Nos metais transformáveis, a ZTA, será mais complexa. Conforme a Figura 3, no caso dos aços baixa liga e aços carbono, são diversas as regiões características.

Figura 3- Estrutura da ZTA em aços ao carbono (esquemática).



Fonte: Marques, Modenesi, Bracaranense, 2009.

A região de crescimento de grão (região a na Figura 3), compreende a região do MB, mais próxima do metal de solda, que foi submetida a temperaturas entre cerca de 1.200 °C e a temperatura de fusão. Nesta circunstância, a estrutura austenítica sofre um grande crescimento de seus grãos. Este crescimento depende do tipo de aço e da energia de soldagem e, tende a ser a mais problemática da ZTA, podendo ter baixa tenacidade e problemas de fissuração. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

A região b da Figura 3, é a região de refino de grão. Corresponde a porção da junta aquecida a temperaturas normalmente utilizadas no tratamento de normalização dos aços (900 a 1000 °C). Após o procedimento de soldagem, esta região é caracterizada geralmente, por uma estrutura fina de perlita e ferrita, não sendo problemática na maioria dos casos. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

A região c, mostrada na Figura 3, é a região intercrítica. Nesta região, a temperatura de pico varia entre 727 °C e a linha de divisão entre as fases austenita e austenita mais ferrita, sendo caracterizada pela transformação parcial da estrutura primitiva do MB. A região de crescimento de grão (região a na figura 3), compreende a região do MB, mais próxima do metal de solda, que foi submetida a temperaturas entre cerca de 1.200 °C e a temperatura de fusão. Nesta circunstância, a estrutura austenítica sofre um grande crescimento de seus grãos. Este crescimento depende do tipo de aço e da energia de soldagem e, tende a ser a mais problemática da ZTA, podendo ter baixa tenacidade e problemas de fissuração. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2009).

O aumento da energia de soldagem, faz com que a extensão da ZTA aumenta também, pois a curvatura de repartição térmica, torna-se mais aberta. A região de granulação grosseira torna-se maior e apresenta a tendência de um tamanho de grão maior. Mas a velocidade de resfriamento sofre redução, e isso tem uma fundamental importância na determinação da estrutura final de ligas transformáveis, em particular dos aços (MODENESI; MARQUES; SANTOS, 2012).

2.3.4 Efeitos da energia de soldagem sobre a ZTA dos aços ARBL

A quantidade de energia imposta por uma determinada unidade de comprimento do cordão de solda pela sua transferência de sua fonte de calor, é denominada energia de soldagem, conforme Equação 2. O fluxo térmico estabelecido, faz com que a junta soldada sofra os

seguintes aspectos: crescimento de grãos, descontinuidades, deformações, transformações microestruturais e tensões residuais (WAINER; BRANDI; DE MELLO, 1992).

$$E = \frac{U \times I}{V} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

E = Energia de Soldagem, em kJ/mm;

U = Velocidade, em mm/seg;

I = Corrente elétrica, em Ampére;

V = Tensão, em volts.

As propriedades da região soldada em aços ARBL, dependem basicamente da microestrutura decorrente no metal de solda ou na zona fundida e nas diferentes regiões da ZTA, que irão depender da composição química do MB, e da variação do ciclo de térmico em que a junta está submetida durante a soldagem (MACIEL; LOPES, 2000).

Ainda de acordo Maciel; Lopes (2000), no processo de soldagem dos aços ARBL, a ZTA é basicamente constituída de uma região de grãos grosseiros (RGG), que é próxima a linha de fusão de solda, e, mais afastada desta linha, uma região de grãos finos (RGF). A RGG nos aços ARBL, é comumente constituída de martensita de alta dureza, devido a sua granulometria, as altas taxas de resfriamento e a porcentagem de elementos de liga e carbono.

Na ZTA ocorre um crescimento dos grãos, que aumenta a temperabilidade dos aços e favorecendo os microconstituintes que são formados em baixas temperaturas, inferiores a 500°C. Próximo a região de crescimento de grão, há outra região onde ocorre o refino de grão, diminuindo em uma região, a temperabilidade do mesmo aço. Essas regiões possuem diferentes velocidades de resfriamento, e por consequência, apresentam propriedades e microconstituintes diferentes (WAINER; BRANDI; DE MELLO, 1992).

2.3.5 Aço DOCOL 800 DL

Conforme SSAB (2017), o aço estudado, DOCOL 800 DL, é conceituado como aço bifásico que combina excelente conformabilidade e alta resistência. O aço, primeiramente passa por um processo de tratamento térmico especial em um sistema de recozimento contínuo,

produzindo a estrutura de duas fases. A primeira fase é representada pela ferrita, que confere propriedades de conformação únicas, e a outra fase é representada pela martensita que é responsável pela resistência.

2.4 FLEXÃO

Denomina-se flexão o tipo de elemento que apresenta um elemento com estrutura alongada em uma direção perpendicular ao seu eixo longitudinal, o termo alongado é aplicado quando uma dimensão é predominante sobre as outras. Um exemplo, são as vigas, que estão projetadas para trabalhar, principalmente por flexão, igualmente o fator flexão se estende a elementos estruturais como placas e lâminas (GARCIA; SPIN; SANTOS, 2012).

A característica mais notável da flexão, é que um objeto submetido a flexão apresenta uma superfície de pontos chamada eixo neutro, em que a distância ao longo de qualquer curva composta nela não varia em relação ao valor antes da deformação. O esforço que produz a flexão, denomina-se momento fletor (GARCIA; SPIN; SANTOS, 2012).

Em função do uso predominante e da demanda dos materiais cerâmicos, aços ferramenta e metal duro, foi desenvolvido o ensaio de flexão com o objetivo de ser utilizado para determinar a tensão, flecha de ruptura e módulo de elasticidade a flexão. (FREDEL; ORTEGA; BASTOS, 2015).

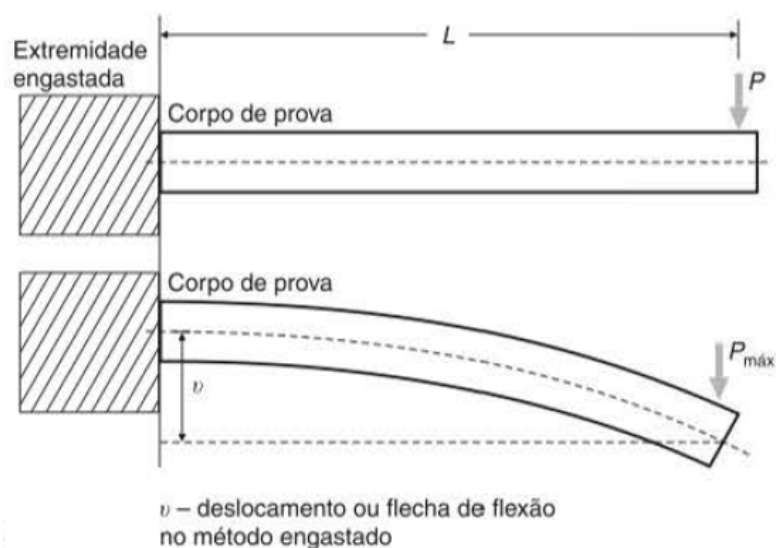
2.4.1 Ensaio de flexão

Consiste na aplicação de uma carga em determinados pontos de uma barra com geometria padronizada, onde mede-se o valor da carga aplicada *versus* a deformação máxima, que é o deslocamento dos pontos de aplicação da carga, obtida na flexão. Em contraste aos ensaios que aplicam sobre o corpo de prova tensões normais exclusivas, como a tração, compressão e cisalhamento, o ensaio de flexão atribui sobre a seção transversal níveis de tensões de tração e compressão e cisalhantes ao mesmo tempo (GARCIA; SPIN; SANTOS, 2012).

O ensaio, pelo método engastado, conforme Figura 4, baseia-se na aplicação de uma força P em uma extremidade, sendo que na extremidade oposta o corpo de prova apresenta-se engastado. A carga aplicada parte de um valor inicial igual a zero e aumenta gradativamente até a ruptura do corpo de prova. O valor do deslocamento, ou flecha, *versus* a carga aplicada, constitui o resultado e a resposta do ensaio. Os valores obtidos com esse tipo de ensaio de flexão

são úteis para analisar os efeitos de diferentes parâmetros no comportamento de materiais à flexão, como composição química, tratamentos térmicos, variáveis de soldagem, condições de soldagem, além de servir como critério de controle de qualidade dos materiais.

Figura 4- Esquema método de ensaio engastado.



Fonte: Garcia, Spin, Santos, 2012.

2.5 CÉLULA DE CARGA

Célula de carga é um equipamento transdutor de força que transforma uma grandeza física (força) em sinal eletrônico. É utilizada em soluções para pesagem industrial, balanças comerciais, controle de processos industriais e aplicações em automatização (PORTAL, 2017).

Ainda de acordo PORTAL (2017), a força é medida de forma indireta, onde normalmente é relacionada com a resposta de algum material à aplicação da carga como mudança de pressão, deformação, etc. Características importantes em uma célula de carga são o modo em que é operada, compressão e/ou tensão, o ambiente no qual ela pode operar, o intervalo de forças que é possível medir, a sobrecarga e a pressão.

As células de carga, consistem em um elemento de medição onde os *strain gages* (SGs) são fixados. Este elemento é constituído geralmente de alumínio ou aço, ou seja, é muito resistente mas possui uma resistência mínima. Sob o efeito da carga, ele é levemente deformado, mas volta a sua posição inicial, obtendo uma resposta elástica a cada carga. Estas micro deformações podem ser medidas pelos SGs e, então a deformação do SG é interpretada por um amplificador que permite determinar o peso (SCHMIDT, 2015).

A Figura 5, exibe uma célula de carga para esforços de compressão, em ensaios de flexão (SCHMIDT, 2015).

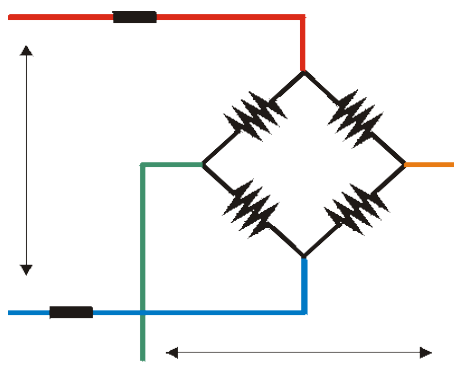
Figura 5- Célula de carga para esforços de compressão.



Fonte: Schmidt, 2015

De acordo com PORTAL (2017), normalmente utiliza-se em células de carga, quatro SGs ligados entre si, conforme a ponte de Wheatstone, mostrada na Figura 6. Esta ponte recebe uma alimentação de 12Vcc, e, o desbalanceamento da mesma, conforme a deformação dos SGs, é proporcional a força provocada. Assim, através desse desbalanceamento, é obtido o valor da força aplicada.

Figura 6- Ponte de Wheatstone.



Fonte: PORTAL, 2017.

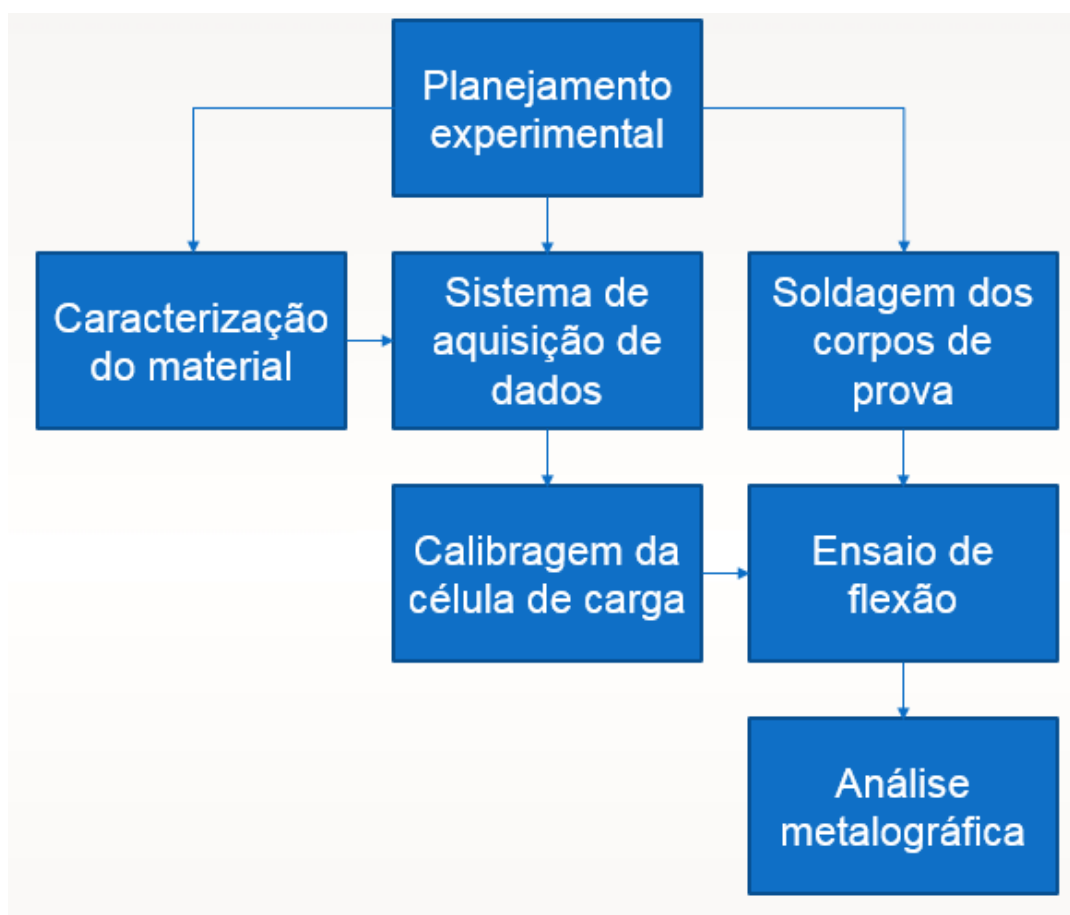
Quando um objeto é colocado sobre a célula de carga, a carga, ou peso do objeto pode ser determinado. A carga solicitada para uma célula de carga é geralmente alinhada na direção da gravidade. Assim, apenas o componente da carga deve ser mensurado (SCHMIDT, 2015).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, descreve-se a metodologia utilizada para a construção dos corpos de prova, parâmetros selecionados, calibragem da célula de carga, realização dos ensaios na bancada de hidráulica, análises metalográficas, bem como os métodos e técnicas utilizadas na elaboração do trabalho, os materiais e equipamentos, e a metodologia da coleta dos dados.

A Figura 7, demonstra uma concepção geral, desde o planejamento para os experimentos até os ensaios realizados.

Figura 7- Visão geral dos ensaios deste trabalho.



Fonte: O autor, 2017.

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Primeiramente, foi realizado um estudo teórico em artigos, livros, dissertações, internet, sobre o tema, com o objetivo de coletar as informações precedentes sobre o assunto, levando em consideração as soluções para resolver o problema de pesquisa.

Partindo deste princípio, foi estabelecido que há a necessidade de realizar a obtenção da carga a que o corpo de prova está submetido até sua ruptura, e assim obter os dados necessários para a comparação da energia de soldagem e consumíveis através dos ensaios de flexão e análises metalográficas.

Considerando o exposto, este trabalho é caracterizado como uma pesquisa aplicada e descritiva, por definir as melhores variáveis a serem aplicadas na soldagem do aço DOCOL 800 DL.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Os procedimentos de soldagem dos corpos de prova utilizados neste trabalho, foram realizados no Laboratório de Soldagem e Corte dentro da Faculdade Horizontina.

Os tubos escolhidos para a produção das amostras para o experimento, são do aço DOCOL 800 DL, com dimensões de 2 x Ø25 x 260 mm conforme Figura 8, sendo que estas foram confeccionadas pelo processo de corte manual.

Figura 8 - Amostra do tubo utilizado no experimento seccionado na transversal (a) e imagem microscópica do material (zoom 200x) (b).



(a)

(b)

Fonte: O autor, 2017.

A composição química do material foi adquirida através de consulta ao fabricante SSAB, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição química do aço DOCOL 800 DL.

Elementos Químicos	C	Si	Mn	P	S	Al	Nb+Ti
% massa (máxima)	0,16	0,40	1,80	0,020	0,010	0,015	0,10

Fonte: Adaptado de SSAB, 2017.

As propriedades mecânicas do aço DOCOL 800 DL, foram adquiridas através de informações consultadas ao fabricante SSAB, conforme demonstrado Tabela 3.

Tabela 3 - Propriedades mecânicas do aço DOCOL 800 DL.

Características Mecânicas	Resistência ao Escoamento (MPa)	Resistência à Tração (MPa)	Limite de Escoamento (%)
DOCOL 800 DL	390	800	13

Fonte: Adaptado de SSAB, 2017.

O primeiro passo foi realizar um processo de fresamento utilizando uma fresa topo de Ø25mm o encaixe dos tubos. Antes de executar a soldagem das peças, foi efetuado o ponteamto das mesmas, unindo dois tubos formando um conjunto em "T", deste modo, foi formado dezoito conjuntos para posteriormente serem soldados. A deposição dos cordões de solda foi realizada na posição de topo com tubo fixo. A Figura 8, demonstra os tubos soldados formando o conjunto em "T".

Figura 8- Tubos soldados em conjunto "T".



Fonte: O autor, 2017.

Os consumíveis utilizados para os experimentos foram dois tipos de arame sólido, o AWS ER70S-6 e o AWS ER120S-G. Marca ESAB, modelo OK Autrod ambos com diâmetro

de 1mm. O primeiro consumível é definido como *undermatching*, por apresentar resistência mecânica menor que o MB, e o segundo é definido como *overmatching*, por apresentar resistência mecânica maior que o MB. As propriedades químicas e mecânicas dos consumíveis foram adquiridas através de informações da fabricante ESAB. A Tabela 4, apresenta as propriedades químicas dos consumíveis, e a Tabela 5, apresenta as propriedades mecânicas dos consumíveis.

Tabela 4 - Propriedades químicas dos consumíveis.

Metal de adição	Elementos Químicos (% massa, máxima)							
	Ni	C	Si	Mn	P	S	Mo	Cr
AWS ER70S-6	0,015	0,08	0,90	1,50	0,025	0,035	-----	0,15
AWS ER120S-G	1,90	0,10	0,70	1,80	0,005	0,0045	0,50	0,30

Fonte: Adaptado de ESAB, 2004.

Tabela 5 - Propriedades mecânicas dos consumíveis.

Metal de adição	Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência à Tração (MPa)	Limite de Escoamento (%)
AWS ER70S-6	470	560	26
AWS ER120S-G	810	900	18

Fonte: Adaptado de ESAB, 2004.

3.2.1 Corpos de prova e parâmetros variados

Foram geradas três energias diferentes de soldagem, variando a tensão, corrente e velocidade. A Tabela 6, apresenta os parâmetros utilizados na soldagem.

Tabela 6 - Parâmetros utilizados na soldagem.

Parâmetro	Tensão (V)	Corrente (A)	Velocidade de Soldagem (mm/s)	Energia de Soldagem (kJ/mm)
1	11,2	109	5,3	0,23
2	20	166	5,3	0,62
3	21,5	209	5,6	0,80

Fonte: O autor.

Para a realização do ensaio de flexão, foram utilizados dezoito corpos de prova, sendo três corpos de prova para cada energia de soldagem. Foram construídos nove corpos de prova para o consumível AWS ER70S-6 e nove corpos de prova para o consumível AWS ER120S-G, variando três energias de soldagem para cada, conforme Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros variados para cada corpo de prova no processo de soldagem MIG/MAG.

Metal de adição	Energia de soldagem (kJ/mm)	Corpo de prova
AWS ER70S-6	0,23	1
		2
		3
	0,62	4
		5
		6
	0,80	7
		8
		9
AWS ER120S-G	0,23	10
		11
		12
	0,62	13
		14
		15
	0,80	16
		17
		18

Fonte: O autor, 2017.

3.2.2 Equipamento de soldagem

A soldagem foi efetuada com uma fonte de soldagem MAG, marca ESAB, modelo Warrior 500i, conforme Figura 9. O gás de proteção utilizado no trabalho, foi o ATAL 21, constituído por 79% de Argônio e 21% de CO₂.

Figura 9- Fonte utilizada no procedimento de soldagem.



Fonte: O autor, 2017.

3.3 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

3.3.1 Célula de carga

Para a aquisição dos valores de força aplicada, optou-se pela célula de carga Líder Balanças, modelo MC 10T que tem a capacidade para 98 Kilonewtons (kN). O Anexo A (Anexos) apresenta as especificações da célula de carga utilizada para a medição das forças (Líder Balanças). A leitura das forças da célula de carga se dá pela ponte de Wheatstone, localizada internamente na célula, que ao receber a carga, deforma-se aumentando a resistência e conseqüentemente, diminuindo a tensão.

Inicialmente, a célula de carga necessitou ser calibrada, para isso utilizou-se uma prensa hidráulica com manômetro e aferiu-se sua medição de força, conforme pode ser observado o procedimento na Figura 10.

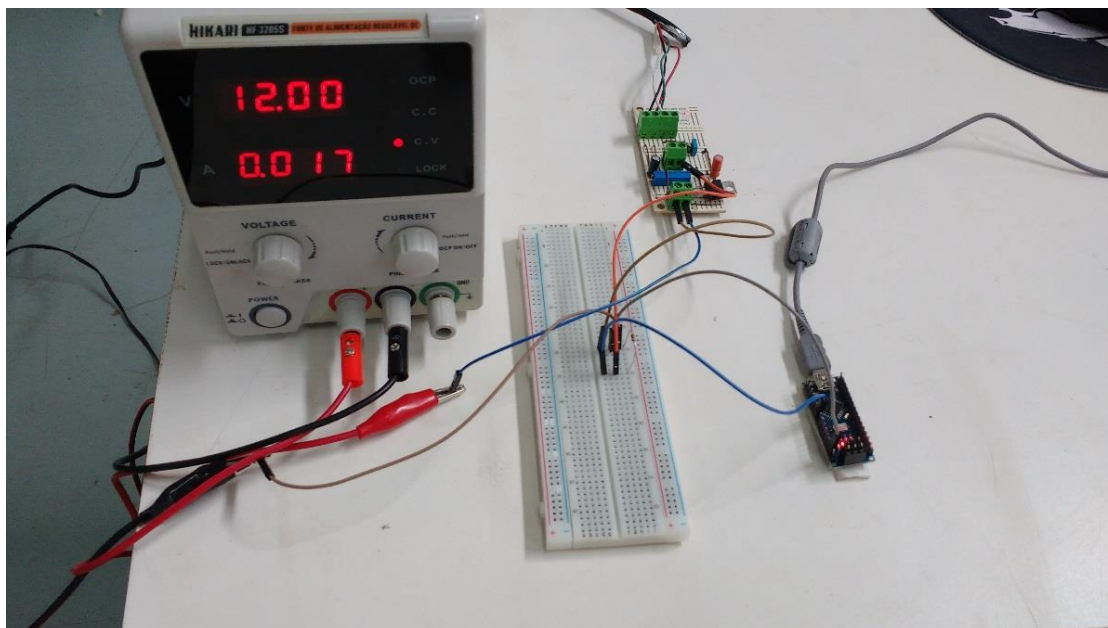
Figura 10 - Calibração da célula de carga.



Fonte: O autor, 2017.

Foi necessário montar um sistema de aquisição de dados para receber os valores emitidos pela célula de carga, que são em milivolts e transmitir a um computador transformando em kN. Para isso utilizou-se uma fonte de 12V dc, um arduino nano AT mega 328P conectado em uma placa protoboard de 830 pontos, conforme Figura 11.

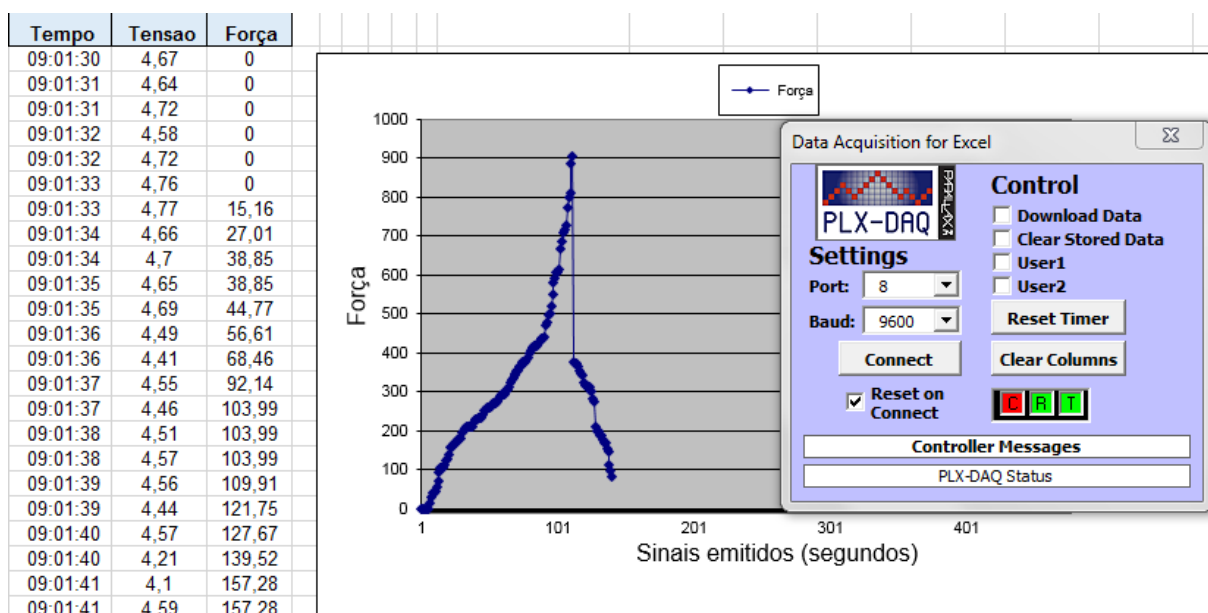
Figura 11 – Componentes eletrônicos para aquisição dos dados.



Fonte: O autor, 2017.

Os dados foram enviados pelo arduíno através de um código (Apêndice A) e convertidos para o Microsoft Excel em tempo real pelo software PLX – DAQ, constituindo um gráfico com os valores da carga aplicada em uma planilha, conforme Figura 12.

Figura 12 – Planilha de aquisição de dados com o software PLX – DAQ.



Fonte: O autor, 2017.

3.4 ENSAIO DE FLEXÃO

O ensaio de flexão foi realizado em uma banca hidráulica composta por um atuador linear com força de avanço de 583 kN, um motor de 15 Cv, uma bomba hidráulica com vazão volumétrica de 0,409 cm³/rot, um reservatório de 20 litros de óleo hidráulico, um painel elétrico de comando e um portal composto por vigas do formato em I, conforme Figura 13.

Figura 13 - Bancada hidráulica utilizada para o ensaio de flexão.



Fonte: O autor, 2017.

A Figura 14 mostra uma vista geral do sistema montado para a realização do ensaio de flexão.

Figura 14- Sistema montado para o ensaio de flexão.



Fonte: O autor, 2017.

3.5 ANÁLISE METALOGRÁFICA

Após o ensaio de flexão, as amostras foram seccionadas na junta em “T” soldada, conforme Figura 10, em uma cortadora metalográfica Arotec modelo COR - 40 e encaminhadas para o lixamento em uma máquina politriz Arotec, modelo APL - 4. Foram realizadas seis amostras metalográficas, utilizando os dois consumíveis e as três energias de soldagem.

Figura 15 - Amostra seccionada na junta em "T".



Fonte: O autor, 2017.

Para a preparação da superfície, as amostras foram submetidas a lixamento com lixas de granulometria 220, 400, 600 e 1200, consecutivamente, até se obter uma superfície com acabamento brilhante.

Após as amostras passarem pelo procedimento de lixamento, as mesmas, foram submetidas a ataque químico com nital 5% (95% de álcool isopropílico e 5% de ácido nítrico) em aproximadamente 10 segundos.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

No presente capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios de resistência a flexão das juntas soldadas em “T” e as análises metalográficas das amostras.

4.1 ENSAIO DE FLEXÃO

A Figura 16, mostra um corpo de prova sendo submetido ao ensaio de flexão pelo método engastado.

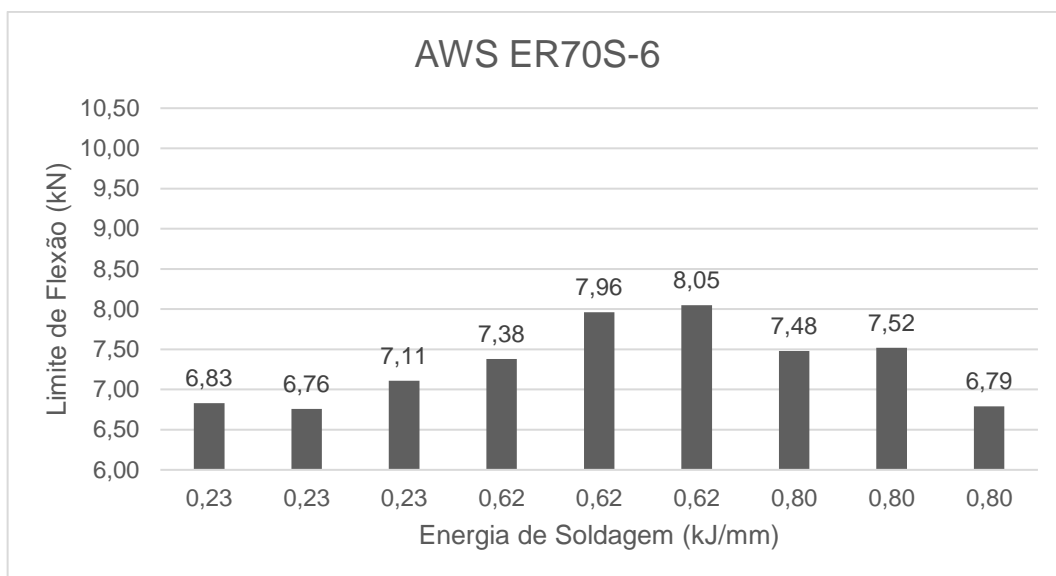
Figura 16 - Corpo de prova submetido ao ensaio de flexão.



Fonte: O autor, 2017.

Os dados obtidos através do ensaio de flexão simples pelo método engastado, que se refere a última força máxima suportada por cada experimento, são mostradas nas Figuras 17 e 18 que apresentam a relação da força máxima apresentada em kN obtida através do experimento e os valores das energias de soldagem das juntas em “T” soldadas com os consumíveis AWS ER70S-6 e AWS ER120S-G.

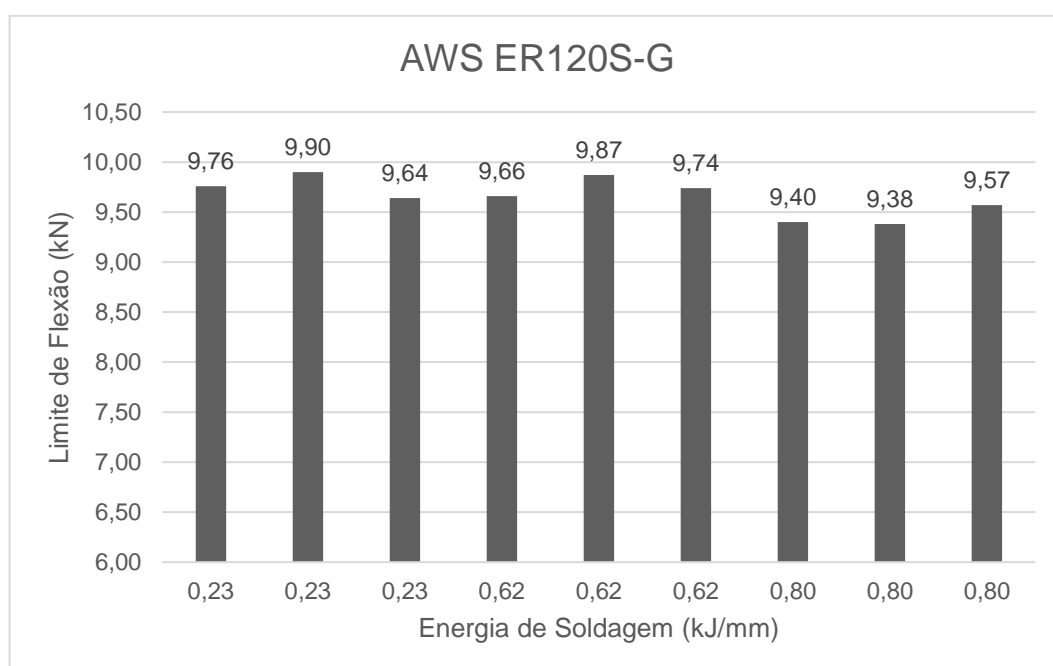
Figura 17 - Limite de resistência a tração x energia de soldagem das juntas soldadas com o consumível AWS ER70S-6.



Fonte: O autor, 2017.

Os resultados obtidos na figura 17 mostram que para o consumível AWS ER70S-6 a energia de soldagem interferiu no limite de resistência à flexão. A energia de soldagem que apresentou melhor resistência com esse consumível foi a de 0,62 kJ/mm, onde teve-se uma maior média de limite de flexão entre as três energias de soldagem.

Figura 18 - Limite de resistência a tração x energia de soldagem das juntas soldadas com o consumível AWS ER120S-G.



Fonte: O autor, 2017.

Os resultados obtidos na figura 18 mostram que para o consumível AWS ER120S-G, a energia de soldagem teve pouca influência no limite de resistência a flexão, pois as forças máximas exercidas sobre os corpos de prova mantiveram-se praticamente constantes, tendo pouca variação na média dos resultados.

A figura 18 mostra que o consumível *overatching*, além de as forças permanecerem praticamente constantes, também é possível notar a diferença no limite de resistência a flexão contra o consumível *undermatching*, onde a média geral de resistência em kN foi cerca de 24% maior no consumível *overmatching*, tendo um relevante efeito na resistência a flexão.

4.2 ANÁLISE METALOGRÁFICA

As Figuras 19 e 20, apresentam as macrografias das juntas soldadas em “T” atacadas com nital 5%, realizadas após os ensaios de flexão com os consumíveis AWS ER70S-6 e AWS ER120S-G.

Figura 19 - Macrografias das amostras soldadas com o consumível AWS ER70S-6 atacadas com nital 5% - (1) 0,23 kJ/mm; (2) 0,62 kJ/mm; (3) 0,80 kJ/mm.



Fonte: O autor, 2017.

A Figura 19 mostra que quanto maior a energia de soldagem, maior é a ZTA, também é possível notar a diferença de enchimento nos três corpos de prova, ou seja, há mais penetração da solda, e quando aumenta-se a energia de soldagem, melhora-se o enchimento sucessivamente.

Figura 20 - Macrografias das amostras soldadas com o consumível AWS ER120S-G atacadas com nital 5% - (4) 0,23 kJ/mm; (5) 0,62 kJ/mm; (6) 0,80 kJ/mm.

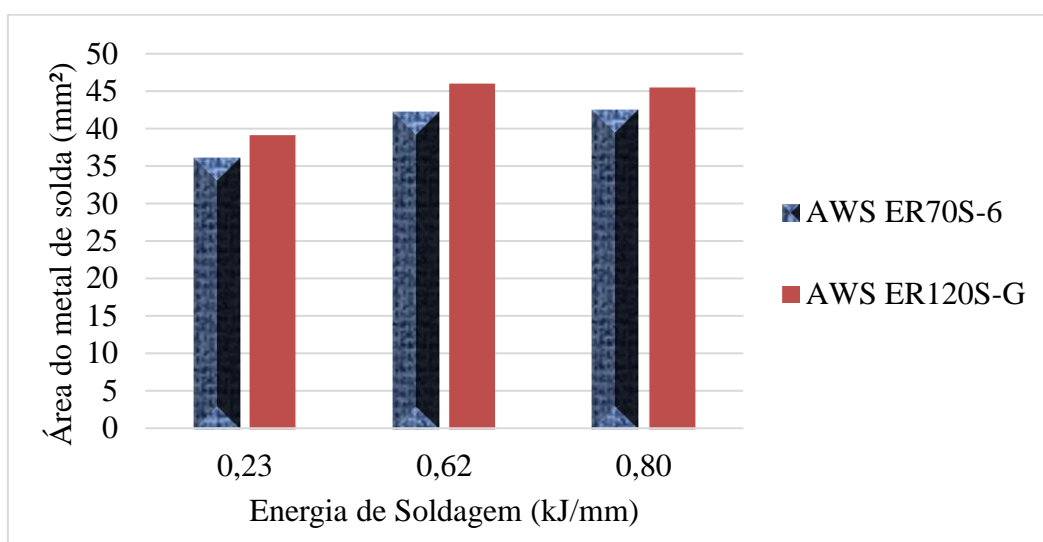


Fonte: O autor, 2017.

Através das macrografias mostradas na Figura 20, verifica-se que há um pequeno aumento na região das áreas afetadas termicamente pela solda comparadas com o consumível *undermatching*, também verifica-se que em nenhum experimento teve ruptura na área do cordão de solda, com ambos os consumíveis, mas sim, na ZTA, ocasionando o enfraquecimento do material nessa região, pois a temperatura elevada da soldagem faz com que o MB perca suas propriedades mecânicas de resistência tornando-as mais frágeis.

As áreas das juntas soldadas foram obtidas através do software “Image J” e comparadas com a energia de soldagem utilizada. A Figura 21 apresenta a área do metal de solda *versus* a energia de soldagem para os consumíveis AWSER70S-6 e para o AWS ER120S-G.

Figura 21 - Área do metal de solda *versus* a energia de soldagem.



Fonte: O autor.

Observa-se na Figura 21, que no metal de adição AWS ER70S-6 com as energias de soldagem de 0,62 kJ/mm e 0,80 kJ/mm, o tamanho das áreas foram praticamente iguais, conforme a energia de soldagem foi acrescentada, houve um aumento na ZTA, sendo a energia de soldagem de 0,80 kJ/mm que apresentou o maior valor de área. Para o metal de adição AWS ER120S-G, a energia de soldagem que apresentou maior valor de área foi de 0,62 kJ/mm sendo 8% maior que a área com a mesma energia de soldagem no consumível AWS ER70S-6.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho expôs o fenômeno de resistência a flexão em juntas soldadas “T” com dois tipos de consumíveis, o AWS ER70S-6 e o AWS ER120S-G, a partir disto podemos concluir que:

A soldagem MIG-MAG em perfis tubulares do aço DOCOL 800 DL de espessura 2 mm quando expostas a energias de soldagem relativamente mais elevadas não atuou de forma favorável para a resistência a flexão com o consumível AWS ER70S-6.

Foi possível observar que todos os corpos de prova, com ambos os consumíveis, tiveram fratura na ZTA em virtude da soldagem fazer com que o material tivesse sua resistência reduzida nesta região.

As juntas soldadas com metal de adição *overmatching* apresentaram maior resistência a flexão comparando com o metal de adição *undermatching*. Conforme o aumento da energia de soldagem, a área do metal de solda aumentou gradativamente, exceto com a energia de soldagem de 0,62 kJ/mm com o consumível *undermatching*, que se observou maior área entre as três energias de soldagem.

Com os resultados obtidos, é muito importante analisar o metal de adição e o MB que será utilizado em uma junta soldada para que não haja problemas de qualidade nos conjuntos soldados quando forem submetidos a esforços mecânicos mais elevados.

A partir destes resultados, o consumível *overmatching* combinado com o aço DOCOL 800 DL se mostrou uma opção segura e confiável para a Equipe Sinuelo confeccionar, através de conjuntos soldados, suas balanças de suspensão, podendo variar três energias de soldagem, e mantendo pouca variação na resistência mecânica quando comparado ao consumível *undermatching*.

REFERÊNCIAS

- CIMM, PORTAL. **Soldagem a arco de aços estruturais de alta resistência baixa liga (ARBL, BLAR ou AHSS)**. Disponível em: <<https://www.cimm.com.br/portal/material-soldagem-a-arco-de-acos-estruturais-de-alta-resistencia-baixa-liga-arbl-blar-ou-ahss>>. Acesso em 08 ago. 2017.
- CUNHA, LELIS JOSÉ G. da. **Solda: Como, Quando e Por Quê**. 2. Ed. D.C. Luzzatto Editores Ltda, 1989.
- EQUIPE SINUELO. **A Equipe**, 2016. Disponível em: <<http://sinuelo.fahor.com.br/>>. Acesso em 14 set. 2017.
- ESAB. **Soldagem MIG/MAG**. São Paulo: ESAB Soldagem e Corte, 2004. (Relatório técnico de soldagem).
- FREDEL, M.; ORTEGA, P.; BASTOS, E. **Propriedades Mecânicas: Ensaios Fundamentais – VOL.1**. Cermat Cerâmica. Disponível em: <<http://cermat.ufsc.br/wp-content/uploads/2015/03/APOSTILA-DO-LABORATORIO-DE-PROPRIEDADES-MEC-160315.pdf>>. Acesso em 01 set. 2017.
- GARCIA, A.; SPIN, J. A.; SANTOS, C. D. S. **Ensaio dos materiais**. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- INFOSOLDA. **Processo MIG/MAG – Consumíveis**. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/176-processo-mig-mag-consumiveis.html>>. Acesso em: 09 ago. 2017.
- INFOSOLDA. **Metalurgia – Carbono Equivalente 1997**. Disponível em: <<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/metalurgia/130-carbono-equivalente.html>>. Acesso em: 09 nov. 2017.
- LÍDER BALANÇAS. Disponível em: <<http://liderbalancas.com.br/pdfs/celula-mcf-especificacoes.pdf>> Acesso em 12 set. 2017.
- MACIEL, M. T.; LOPES, C. M. F. **Influência dos parâmetros de soldagem sobre a microestrutura de juntas soldadas de aços ARBL**. [Artigo científico]. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/cbecimat/2000/Docs/TC301-082.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2017.
- MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem Fundamentos e Tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009.
- MODENESI, PAULO J. **Soldabilidade de algumas ligas metálicas**, Universidade Federal de Minas Gerais, p.6, jan. 2011.
- MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V.; SANTOS, D. B.; **Introdução à Metalurgia da Soldagem**, Universidade Federal de Minas Gerais, p.152, jan. 2012.
- PORTAL. **CÉLULA DE CARGA**. Disponível em: <http://www.celuladecarga.com.br/portal/?page_id=8>. Acesso em 02 out. 2017.

SAE BRASIL. **Regras e relatórios** (2017). Disponível em: <<http://portal.saebrasil.org.br/Portals/0/PE/Baja%20Nacional%202018/RATBSB.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2017.

SCHAEFFER, LIRIO. **Aços avançados de alta resistência-AHSS**, 2017. Disponível em: <<http://revistaforge.com.br/acos-avancados-de-alta-resistencia-ahss/>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

SCHMIDT, STEFAN. **Como Uma Célula de Carga Realmente Trabalha?**, HBM – Soluções em Medição, 2015.

SSAB, **DOCOL 800 DL**. Disponível em: <<http://www.ssab.com.br/products/brands/docol/products/docol-800dl>>. Acesso em: 10 set. 2017.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; DE MELLO, F. D. H. **Soldagem: processos e metalurgia**. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 1992.

WORLD AUTOSTEEL ASSOCIATION. **Special Process and Evolving AHSS Types**. Disponível em: <<http://www.worldautosteel.org/steel-basics/steel-types/evolving-ahss-types/>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

APÊNDICES

Apêndice A - Código do Arduíno

```
#include<stdio.h>

#include<Time.h>

int sinal = 0;

float volts = 0;

float kg = 0;

int LABEL = 1;

void setup() {
    Serial.begin(9600);

    Serial.println("CLEARDATA");

    Serial.println("LABEL, Data, Tempo, Tensao, Forca");
}

void loop() {
    sinal = analogRead(A3);

    volts = sinal*0.00488281;

    kg = (4.70-volts)/0.0008245614;

    if (kg <= 0){
        kg = 0;
    }

    Serial.print("DATA, DATE, TIME,");

    Serial.print(volts);

    Serial.print(",");

    Serial.println(kg);

    delay(500);
}
```

ANEXOS

Anexo A – Especificações da célula de carga.

CÉLULA DE CARGA MODELO - MC	
Capacidade Nominal	100, 200, 500kg / 1, 2, 5, 10, 20, 30, 50t.
Sensibilidade da Célula de Carga em mV/V	2mV / V +/- 0,1%
Erro Máximo	0,05%
Histerese	0,03%
Não Linearidade	0,02%
Temperatura de Trabalho	-10° à +60°C
Excitação VDC ou VCA	Máxima: 15V
Impedância de entrada em ohms Ω	800 +/- 15
Impedância de Saída em ohms Ω	700 +/- 3
Número de Divisões	5.000
Resistência de Isolação	> 5.000 Megaohms Ω
Sobrecarga sem danos, capacidade nominal	150%
Sobrecarga de Ruptura	300%
Sistema de Trabalho	Compressão
Tratamento Superficial	Níquel Químico
Material	Aço Liga
Grau de Proteção	IP67