



Cristiane Mariele Schneiders

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ENSAIOS MECÂNICOS ENTRE JUNTAS
SOLDADAS DE PERFIL “T” PARA UTILIZAÇÃO NO CHASSI DE UM VEÍCULO
“OFF ROAD”**

Horizontina - RS

2019

Cristiane Mariele Schneiders

**ANÁLISE COMPARATIVA DE ENSAIOS MECÂNICOS ENTRE JUNTAS
SOLDADAS DE PERFIL “T” PARA UTILIZAÇÃO NO CHASSI DE UM VEÍCULO
“OFF ROAD”**

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. Me. Jonathan Felipe Camargo

Horizontina - RS

2019

FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

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

**“Análise comparativa de ensaios mecânicos entre juntas soldadas de perfil “T”
para utilização no chassi de um veículo *off road*”**

Elaborada por:
Cristiane Mariele Schneiders

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


Aprovado em: 06/12/2019
Pela Comissão Examinadora



Mestre. Jonathan Felipe Camargo
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador



Mestra. Eliane Garlet
FAHOR - Faculdade Horizontalina



Mestre. Paulo Marcos Flores
FAHOR – Faculdade Horizontalina

Dedico este trabalho a toda minha família, em especial aos meus pais, Dari e Elenice Schneiders, meu irmão Cristian e meu namorado William, que me apoiaram durante a graduação e foram fonte de força para que eu nunca desistisse dos meus sonhos.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida.

A minha família, em especial aos meus Pais, pelos ensinamentos, educação, apoio, incentivo e por nunca terem desistido de mim.

Ao meu namorado e companheiro durante boa parte da graduação, obrigada pelo apoio, compreensão, ajuda em muitas noites de estudo, sem você eu não teria conseguido.

Ao orientador deste estudo, Mestre Jonathan Felipe Camargo, por sua disposição para ajudar, dedicação e apoio durante a orientação.

Ao amigo Bernardo Scheunemann pela ajuda com a montagem e funcionamento do sistema de aquisição de dados.

A FAHOR que oportunizou esta pesquisa, e a todos os professores que não mediram esforços para passar todo o conhecimento necessário durante a graduação.

“Lembre-se: Você é do tamanho dos seus sonhos”.

(Roberto Schinyashiki)

RESUMO

A busca por materiais mais resistentes para utilização em veículos “off road” cria a necessidade de conhecer seu desempenho. Esse tipo de material faz com que os veículos baixos sejam mais eficientes, pois materiais mais resistentes garantem um ganho no agregado de peso, e assim fazem com que os veículos tenham um melhor desempenho durante as competições. Para a Equipe Sinuelo FAHOR, que participa de competições de veículos “off road” não é diferente, para a construção do seu próximo protótipo, a equipe deseja utilizar tubos do aço SAE 4130 no chassi do veículo, mas, para isso é necessária a realização de ensaios mecânicos com este aço comparando com o material usado atualmente no chassi do veículo, que é o aço SAE 1020, com o intuito de validar a aplicação. Este trabalho teve como objetivo a realização de ensaios mecânicos de flexão pelo método engastado e de dureza pelo método *Rockwell*, bem como análises metalográficas nos corpos de prova, o que caracteriza este trabalho como uma pesquisa-ação. O ensaio de dureza foi realizado utilizando um durômetro e tem como objetivo mostrar a dureza do material. O ensaio de flexão pelo método engastado foi realizado em uma bancada de ensaios de flexão, com um atuador linear e uma célula de carga para aquisição de dados e visa trazer o limite máximo de flexão de cada material. A análise metalográfica, realizada através do ataque químico com nital 5%, faz a verificação da zona termicamente afetada de cada material. Três ensaios de dureza foram feitos para cada material, onde o aço SAE 4130 apresentou uma dureza superior ao aço SAE 1020. Seis corpos de prova de cada material foram submetidos ao ensaio de flexão, onde o aço SAE 4130 atingiu um limite de resistência a flexão de $6,4kN$ quando rompeu o material na zona termicamente afetada. Já o aço SAE 1020 não atingiu um limite de resistência a flexão assim como o outro material, chegou no limite máximo de $0,58kN$ e deformou, não sendo possível dar continuidade ao ensaio. Por ser um aço de baixo carbono, o aço SAE 1020 está suscetível a esse acontecimento. O aço SAE 4130 se mostra uma opção confiável para utilização no chassi do protótipo da equipe Sinuelo, porém, com um custo bastante elevado, que se justifica pela qualidade e resistência do material.

Palavras-chave: Ensaios mecânicos. Aço SAE 1020. Aço SAE 4130.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Baja Sinuelo 01 (a) e Baja Sinuelo 05 (b).	16
Figura 2 - Relação entre características dos materiais e seu comportamento mecânico.....	18
Figura 3 - Peça indentada	19
Figura 4 - Estágios do ensaio de dureza	20
Figura 5 - Esquema método engastado.	21
Figura 6 - Equipamentos para soldagem MIG/MAG.....	22
Figura 7 - Repartição térmica de uma solda.....	24
Figura 8 - Célula de carga para esforços de compressão.....	26
Figura 9 - Ponte de <i>Wheatstone</i>	27
Figura 10- Visão geral dos ensaios	28
Figura 11 - Amostra tubo de aço SAE 4130 seccionado na transversal (a) e imagem microscópia do material (zoom 200x) (b).	29
Figura 12 - Amostra tubo de aço SAE 1020 seccionado na transversal (a) e imagem microscópica do material (zoom 200x) (b).....	29
Figura 13 – Durômetro	30
Figura 14 - Juntas soldadas de perfil "T" dos aços SAE 4130 (a) e SAE 1020 (b)....	31
Figura 15 - Fonte de soldagem MAG	32
Figura 16 - Prensa hidráulica com manômetro.....	33
Figura 17 – Componentes eletrônicos do sistema de aquisição de dados.....	33
Figura 18 - Planilha para aquisição de dados com o <i>software</i> PLX - DAQ.	34
Figura 19 - Bancada hidráulica para o ensaio de flexão.	35
Figura 20 - Cortadora metalográfica (a) e máquina politriz (b).	35
Figura 21 - Amostra seccionada.....	36
Figura 22 - Corpo de prova submetido ao ensaio de flexão.....	38
Figura 23 - Limite de resistência a flexão do aço SAE 4130	39
Figura 24 - Corpo de prova do aço SAE 4130.....	39
Figura 25 - Limite de resistência a flexão do aço 1020.	40
Figura 26 - Deformação dos tubos do aço 1020.	40
Figura 27 - Gráfico comparativo do limite de resistência a flexão dos materiais	41
Figura 28 – Macrografia das juntas soldadas em "T" do aço SAE 4130.	41
Figura 29 – Macrografias das juntas soldadas em "T" do aço SAE 1020.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do aço SAE 4130	16
Tabela 2 - Composição química do aço SAE 4130	17
Tabela 3 - Propriedades mecânicas do aço SAE 1020	17
Tabela 4 - Composição química do aço SAE 1020	18
Tabela 5 – Classificação da soldabilidade	25
Tabela 6 - Propriedades químicas do consumível.....	31
Tabela 7 - Propriedades mecânicas do consumível.....	31
Tabela 8 - Parâmetros de soldagem	32
Tabela 9 - Resultados do ensaio de dureza.....	37
Tabela 10 - Conversão para escala <i>Vickers</i>	37
Tabela 11 - Custo dos materiais.....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 TEMA	13
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA.....	13
1.3 PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.4 JUSTIFICATIVA	13
1.5 OBJETIVOS	14
1.5.1 Objetivo Geral	14
1.5.2 Objetivos Específicos	14
2 REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 PROJETO BAJA SAE BRASIL – EQUIPE SINUELO	15
2.2 CARACTERISTICAS DOS AÇOS ESTUDADOS.....	16
2.2.1 AÇO SAE 4130	16
2.2.2 Aço SAE 1020	17
2.3 ENSAIOS DOS MATERIAIS	18
2.3.1 Ensaio de dureza	18
2.3.2 Ensaio de Flexão	20
2.4 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG.....	21
2.4.1 Equipamentos de soldagem MIG/MAG	22
2.4.2 Consumíveis	23
2.4.3 Zona termicamente afetada (ZTA)	23
2.4.4 Carbono Equivalente	25
2.5 CÉLULA DE CARGA.....	26
3 METODOLOGIA	28
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS.....	28
3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS	29
3.2.1 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	37
4.1 ENSAIO DE DUREZA	37

4.2 ENSAIO DE FLEXÃO.....	38
4.3 ANÁLISE METALOGRÁFICA.....	41
4.4 CUSTO DOS MATERIAIS.....	42
CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS.....	44
APÊNDICE A	46

1 INTRODUÇÃO

A utilização de aços especiais cresceu muito nos últimos anos, devido a estes aços possuírem uma alta resistência mecânica, o que reduz o agregado de peso nos produtos e conseqüentemente os tornam mais eficientes e competitivos.

A utilização destes aços no projeto Baja SAE Brasil torna os veículos mais leves e competitivos. Baja SAE é um projeto que visa alinhar o que é estudado em sala de aula com a prática, desafiando as equipes de estudantes participantes a projetar, construir, testar, validar e competir com um veículo “*off road*”. A FAHOR – Faculdade Horizontina participa do projeto Baja SAE Brasil através do desenvolvimento de um protótipo realizado por atividades extracurriculares dos alunos que compõem a equipe Sinuelo.

O projeto é dividido em subsistemas e sempre busca a melhoria continua através de novas tecnologias, redução de peso, redução de custos e melhorias relacionadas ao suporte de maiores esforços mecânicos.

Olhando para redução de peso e também para possíveis melhorias no suporte a maiores esforços mecânicos é que a equipe Sinuelo buscou a utilização de um aço especial para a construção do chassi do seu próximo protótipo. O aço escolhido foi o aço SAE 4130. Com a utilização deste aço, a equipe busca uma redução do peso do protótipo e também obter ganhos em relação à eficiência e competitividade do veículo. Mas, para isso, será necessária a realização de ensaios mecânicos que comprovem a superioridade deste aço em relação ao utilizado atualmente que é o SAE 1020.

Este trabalho classifica-se como uma pesquisa aplicada e descritiva, por realizar ensaios mecânicos no laboratório de soldagem e de metalografia da FAHOR.

O objetivo é realizar ensaios mecânicos em juntas soldadas de perfil “T” dos aços SAE 4130 e 1020 coletando dados destes materiais a partir de uma célula de carga e de um durômetro para realizar um comparativo entre os dois materiais com o desafio de definir se o aço SAE 4130 é adequado para aplicação no chassi de um veículo “*off road*”.

1.1 TEMA

Este trabalho tem como tema a realização de ensaios mecânicos em tubos de perfil “T” dos aços 1020 e 4130.

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O tema desta pesquisa delimita-se na soldagem de tubos de aço SAE 1020 e 4130 em perfil “T”, instalação de uma célula de carga e um sistema de aquisição de dados para medição da carga aplicada sobre o corpo de prova até sua ruptura, análise metalográfica, análise de dureza e análise de custos.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

O laboratório de soldagem possui um portal para ensaios mecânicos de flexão em juntas soldadas e um sistema hidráulico composto por um atuador linear com sistema de aquisição de dados instalado junto dele. Porém, não existe um banco de dados referentes aos materiais em questão, sendo necessária a realização dos ensaios para coleta de dados.

A equipe Sinuelo pretende utilizar o aço SAE 4130, para a construção do chassi do seu novo protótipo, mas, antes disso, é necessário obter mais informações sobre esse aço e fazer uma comparação com o aço SAE 1020, material usado atualmente, para saber se o aço proposto apresenta melhores resultados, e se é viável para a aplicação proposta.

Com base no exposto, o problema de pesquisa se caracteriza com a seguinte pergunta: o aço SAE 4130 é realmente melhor do que o material usado atualmente considerando a aplicação no chassi do Baja Sinuelo FAHOR?

1.4 JUSTIFICATIVA

Este trabalho, desenvolvido em uma bancada hidráulica de ensaios mecânicos, existente no laboratório de soldagem da FAHOR, justifica-se pela necessidade em obter dados a respeito dos aços SAE 1020 e 4130 a partir de ensaios mecânicos realizados em juntas soldadas de perfil “T” e assim, realizar a comparação entre os dois materiais.

Também, justifica-se pelo fato de que a Equipe Sinuelo pretende utilizar o aço SAE 4130 na fabricação do chassi de seu próximo protótipo sendo necessária a

realização de uma análise comparativa com o aço SAE 1020 utilizado no protótipo atual.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo Geral

Realização de ensaios mecânicos a fim de coletar dados referente os aços SAE 4130 e 1020, e analisar se o material proposto é o mais adequado para a utilização na confecção do chassi do Baja Sinuelo FAHOR.

1.5.2 Objetivos Específicos

Constituiu-se os objetivos específicos do trabalho:

- a) Construir os corpos de prova;
- b) Comparar os dois materiais através dos ensaios de flexão, dureza e análises metalográficas;
- c) Apresentar o custo de cada material.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo abordou-se os embasamentos teóricos referentes ao projeto Baja SAE Brasil, características dos aços SAE 1020 e 4130, processo de soldagem MIG/MAG, características da zona termicamente afetada, ensaio de flexão, ensaio de dureza e célula de carga.

2.1 PROJETO BAJA SAE BRASIL – EQUIPE SINUELO

O programa Baja SAE Brasil é uma competição entre estudantes do ensino superior que desafia os acadêmicos de engenharia a desenvolver um veículo *off road* com a intenção de que sejam aplicados na prática todos os conhecimentos adquiridos em sala de aula (SAE BRASIL, 2018).

As equipes participantes precisam projetar um veículo protótipo visando sua comercialização. Este veículo deve ser robusto, seguro, de simples manutenção e operação e também facilmente transportado. Deve ser capaz de operar em terrenos acidentados e com grandes inclinações e em qualquer condição climática oferecendo segurança ao piloto e sem danos no protótipo (SAE BRASIL, 2018).

A Equipe Sinuelo FAHOR é formada por vinte e cinco acadêmicos voluntários dos cursos de engenharia mecânica, engenharia de produção e engenharia de controle e automação da FAHOR, juntamente com um professor orientador. A equipe nasceu no ano de 2006, através da iniciativa do professor Daniel Werner Zacher que na época era membro da diretoria da SAE Brasil que incentivou alguns alunos a montarem uma equipe e participarem de eventos e competições, focando principalmente na competição SAE Brasil – Petrobrás de Baja. (EQUIPE SINUELO, 2019).

A Figura 1 (a) e Figura 1 (b) apresenta, respectivamente, o primeiro e o último protótipo da equipe Sinuelo, Baja Sinuelo 01 e Baja Sinuelo 05. O protótipo Baja Sinuelo 01 foi construído no ano de 2006, participou da competição regional de SAE Brasil na cidade de Gravataí – RS e conquistou o 10º lugar na classificação geral da competição com um total de dezessete equipes competidoras. O protótipo Baja Sinuelo 05 foi construído no ano de 2015, participou nos anos de 2015 e 2016 da etapa regional e nacional da competição SAE Brasil onde é possível destacar a participação na etapa regional na cidade de Passo Fundo – RS onde a equipe conquistou o 1º lugar no enduro de resistência, 1º lugar em tração & suspensão e 6º

lugar na classificação geral da competição com um total de vinte e cinco equipes participantes.

Figura 1 - Baja Sinuelo 01 (a) e Baja Sinuelo 05 (b).



(a)

(b)

Fonte: Equipe Sinuelo (2019).

2.2 CARACTERÍSTICAS DOS AÇOS ESTUDADOS

2.2.1 AÇO SAE 4130

O aço SAE 4130 é uma liga de baixa a média dureza quando submetida a tratamento térmico de tempera e revenimento. As propriedades deste aço podem ser adaptadas de acordo com sua aplicação a partir de tratamentos térmicos. Os principais tratamentos utilizados são recozimento, normalização, têmpera e revenimento e esferoidização. Este material é utilizado principalmente na indústria automotiva e aeronáutica (AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1990).

A Tabela 1 apresenta as propriedades mecânicas do aço SAE 4130.

Tabela 1 - Propriedades mecânicas do aço SAE 4130

Propriedades mecânicas do aço SAE 4130		
Resistencia a tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Dureza (HB)
670	435	197

Fonte: Adaptado de Gerdau (2003).

Conforme American Society for Metals (1990), os principais elementos de liga deste material são o cromo e o molibdênio, e suas características são a alta resistência mecânica e boa resistência à corrosão, podendo ser utilizado em altas temperaturas, por volta de 370°C. Quando utilizado em processo a quente, mantém

consideravelmente suas propriedades mecânicas, mas possui propriedade de impacto baixo em temperaturas criogênicas.

A Tabela 2 apresenta a composição química do aço SAE 4130.

Tabela 2 - Composição química do aço SAE 4130

Composição química aço SAE 4130 (%)						
C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo
0,28-0,33	0,40-0,60	0,035	0,04	0,15-0,35	0,80-1,10	0,15-0,25

Fonte: Adaptado de Infomet (1998).

Em tratamentos a quente, as estruturas martensíticas formam-se facilmente após o resfriamento e, como resultado disto, pode ser obtido uma dureza maior e melhor do que em outros aços. Porém, a dureza deste aço deve ser limitada para espessuras superiores a 12,7 mm, conforme indica a *Aerospace Materials Specification (AMS)* (LEE; CHUNG; LEE; E CHIEN, 2012).

2.2.2 Aço SAE 1020

O aço carbono SAE 1020 é um dos aços com a mais ampla e variada utilização, devido a sua baixa temperabilidade, excelente soldabilidade e forjabilidade. É um aço que pode ser cementado com excelente relação custo benefício quando comparado com aços utilizados para o mesmo propósito. A microestrutura presente neste aço no estado de normalização é perlita fina e ferrita. (AÇOSPORTE, 2017).

A Tabela 3 apresenta as propriedades mecânicas do aço SAE 1020.

Tabela 3 - Propriedades mecânicas do aço SAE 1020

Propriedades mecânicas do aço SAE 1020		
Resistencia a tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Dureza (HB)
440	345	131

Fonte: Adaptado de Gerdau (2003).

Conforme Colpaert (2008), o aço SAE 1020 é um aço hipoeutetóide que apresenta baixo teor de carbono, e também contém em sua composição os elementos manganês, fósforo e enxofre. A presença destes elementos na composição propicia alterações nas propriedades, onde os efeitos causados pelo fósforo e enxofre são semelhantes e indesejáveis, pois em concentrações não controladas, fragilizam o material deixando-o quebradiço.

A Tabela 4 apresenta a composição química do Aço SAE 1020.

Tabela 4 - Composição química do aço SAE 1020

Composição química aço SAE 1020 (%)			
C	Mn	P máx.	S máx.
0,28-0,33	0,40-0,60	0,035	0,04

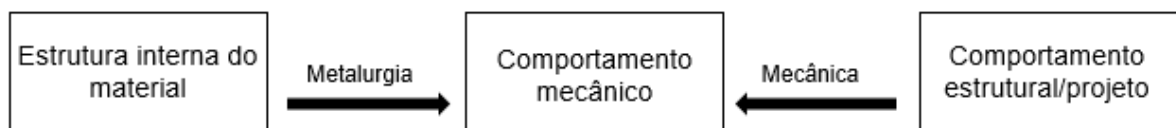
Fonte: Adaptado de Infomet (1998).

O carbono causa um aumento na dureza e na temperabilidade como o aumento da concentração. O manganês reduz a fragilidade causada pelo enxofre e promove o endurecimento acentuado (COLPAERT, 2008).

2.3 ENSAIOS DOS MATERIAIS

Para viabilização de um projeto de engenharia, é requerido um vasto conhecimento das características, propriedades e comportamentos dos materiais em que vai se trabalhar. Os ensaios mecânicos permitem a determinação das propriedades mecânicas dos materiais e seu comportamento sob a ação de esforços. É função da estrutura interna e da aplicação em projeto o comportamento mecânico de qualquer material utilizado em engenharia, as relações existentes entre as diferentes características que influenciam no desempenho de determinado material e a parte da ciência que estuda estas relações são mostradas na Figura 2 (GARCIA; SPIM E SANTOS, 2017).

Figura 2 - Relação entre características dos materiais e seu comportamento mecânico



Fonte: Adaptado de Garcia; Spim; Santos (2012).

2.3.1 Ensaio de dureza

Segundo Garcia, Spim e Santos (2012) a dureza é uma propriedade mecânica cujo conceito é a resistência que um material apresenta ao ser pressionado por outro material ou por marcadores padronizados. O ensaio de dureza consiste na impressão de uma pequena marca na superfície do material pela aplicação de pressão com uma ponta de penetração.

A dureza do material é medida a partir da correlação de um valor numérico e a medida da marca formada na superfície do material. Essa correlação é baseada

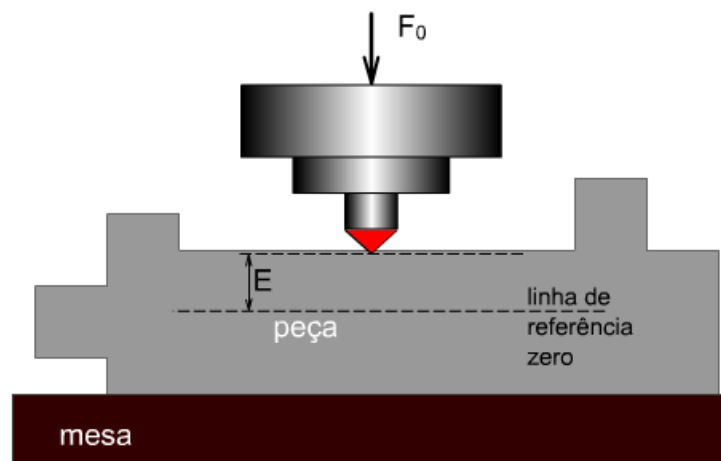
na tensão que o penetrador necessita para vencer a resistência da superfície do material. A dureza depende diretamente das forças de ligação entre átomos, íons ou moléculas, do escorregamento de planos atômicos assim como da resistência mecânica (GARCIA; SPIM E SANTOS, 2012).

De acordo com Callister Jr. e Rethwisch (2016) os ensaios de dureza são realizados com maior frequência, comparados a outros ensaios mecânicos, por serem simples e baratos já que nenhum corpo de prova especial precisa ser preparado. O ensaio não é destrutivo, pois o corpo de prova não é fraturado e nem deformado. O limite de resistência à tração bem como outras propriedades podem ser estimadas a partir dos dados de dureza.

2.3.1.1 DUREZA ROCKWELL

Segundo Callister Jr. e Rethwisch (2016) os ensaios *Rockwell* constituem o método mais utilizado para medir a dureza, pois são de simples execução e não exigem habilidades especiais. Podem ser aplicadas várias escalas diferentes a partir de combinações possíveis de vários indentadores e diferentes cargas, que permitem que o ensaio seja realizado com praticamente todas as ligas metálicas e alguns polímeros. A Figura 3 representa uma peça indentada.

Figura 3 - Peça indentada



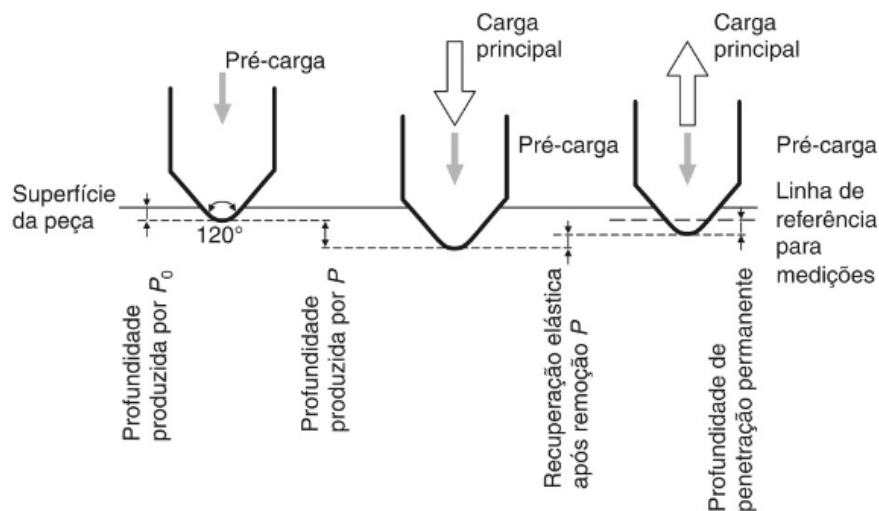
Fonte: CIMM (2017).

Esse método tem como base a profundidade de impressão provocada pela ação de um penetrador de diamante esférico com ângulo de 120° e ponta com raio de 0,2 mm ou com penetrador de aço de elevada dureza ou preferencialmente

esfera de carboneto de tungstênio com diâmetro de 1,59 mm conforme a norma ASTM E18 – 2007, (GARCIA; SPIM E SANTOS, 2012).

De acordo com Garcia, Spim e Santos (2012) o ensaio de dureza Rockwell se dá por meio de uma carga aplicada em dois estágios, onde o primeiro é uma pré-carga e o segundo uma carga complementar, que, quando somados formam a carga total aplicada. A Figura 4 mostra os dois estágios do ensaio de dureza.

Figura 4 - Estágios do ensaio de dureza



Fonte: Garcia, Spim e Santos (2012).

Conforme Davin e Magalhães (2010) o primeiro estágio tem como objetivo ajustar a ponta do penetrador na superfície do material sob ensaio, para que sejam eliminadas interferências no resultado que possam ser causadas por possíveis defeitos na superfície do corpo de prova e ajudar na fixação do corpo de prova no aparelho.

A finalidade do segundo estágio é provocar a penetração do indentador na superfície da amostra para promover a deformação plástica do material. Logo após a retirada da carga irá ocorrer a recuperação elástica parcial da região que foi penetrada, deixando uma profundidade de impressão que pode ser medida diretamente no mostrador do equipamento (SOUZA, 1982).

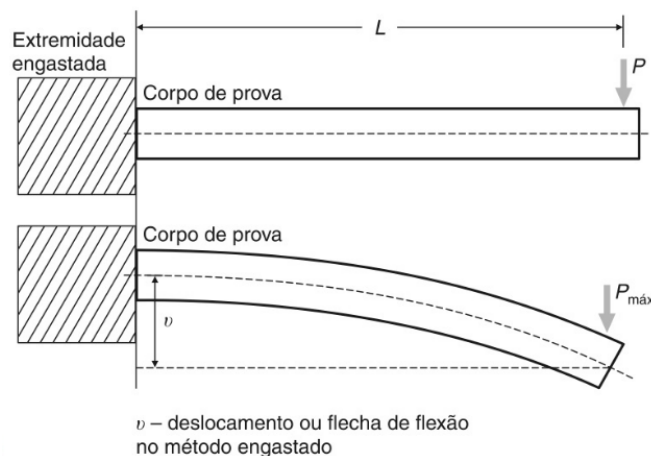
2.3.2 Ensaio de Flexão

O ensaio de flexão consiste na aplicação de uma carga crescente no centro de um corpo de prova, onde é medido o valor da carga aplicada *versus* a

deformação máxima, que é o deslocamento dos pontos de aplicação de carga obtida na flexão. Ao contrário dos ensaios que aplicam no corpo de prova tensões normais exclusivas, como a tração, compressão e cisalhamento, o ensaio de flexão atribui sobre a secção transversal níveis de tensões de tração, compressão e cisalhantes ao mesmo tempo (GARCIA; SPIM E SANTOS, 2012).

Conforme Garcia, Spim e Santos (2012) o ensaio, pelo método engastado, conforme Figura 5, é baseado na aplicação de uma força P em uma extremidade e na extremidade oposta o corpo de prova apresenta-se engastado. A carga aplicada inicialmente é zero e aumenta gradativamente até o momento de ruptura do corpo de prova. O valor do deslocamento ou flecha de flexão *versus* a carga aplicada é apresentado como resultado do ensaio.

Figura 5 - Esquema método engastado.



Fonte: Garcia, Spim e Santos, 2012.

2.4 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG

Segundo Marques, Modenesi e Bracaranse (2009) a soldagem a arco elétrico com proteção gasosa é um processo de união de metais realizada pelo aquecimento dos materiais com a utilização de eletrodo metálico, sem revestimento e consumível, através de um arco elétrico. Para proteção contra contaminação pela atmosfera na poça de fusão, é utilizada uma mistura de gases inertes ativos.

O processo de soldagem MIG/MAG pode ser categorizado como automático ou semiautomático de acordo como é realizado o deslocamento da tocha. Quando a tocha é deslocada por um equipamento, o processo de soldagem é categorizado

como automático, já, quando a tocha é deslocada pelo operador (soldador) o processo é semiautomático (SANTOS, 2015)

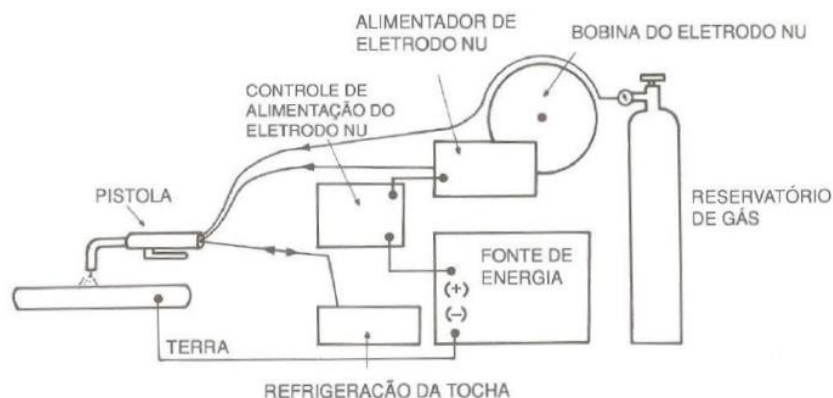
Para Wainer, Brandi e Mello (1992) as vantagens do processo de soldagem MIG/MAG é a versatilidade, pois pode ser semiautomático ou adaptado facilmente para automático, o eletrodo é alimentado continuamente, a soldagem pode ser executada em todas as posições. A velocidade de soldagem e a taxa de deposição são elevadas. Também não há formação de escória e a poça de fusão é facilmente visualizada. É um processo de fácil execução, e com isso o operador é facilmente treinado para executar a soldagem.

Já as limitações do processo é a maior velocidade de resfriamento por não haver escória, o que aumenta a possibilidade de ocorrer trincas principalmente, em aços temperados. A soldagem precisa ser protegida de correntes de ar, e tem grande emissão de raios ultravioletas. Em locais de difícil acesso a soldagem pode ser dificultada, uma vez que o bocal da pistola precisa ficar próximo do metal a ser soldado (WAINER; BRANDI E MELLO, 1992).

2.4.1 Equipamentos de soldagem MIG/MAG

Para Santos (2015), o equipamento para soldagem MIG/MAG consiste em uma fonte de energia, um transportador de arames, uma pistola ou tocha de soldagem, cabos, arame-eletrodo, gás de proteção e material de proteção, conforme pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 - Equipamentos para soldagem MIG/MAG



Fonte: Wainer, Brandi e Mello, 1992.

2.4.2 Consumíveis

Segundo Marques, Modenesi e Bracarense (2009) os principais consumíveis utilizados no processo de soldagem MIG/MAG são o gás de proteção, o arame-eletrodo, e, em alguns casos, a utilização de um líquido contra adesão a respingos na tocha e regiões próximas da solda.

Os arames de soldagem são constituídos de metais ou ligas metálicas, onde sua composição química, dureza, condições superficiais e dimensões são bem controladas. Arames que não possuem controle sobre suas propriedades podem produzir falhas no processo, como má alimentação de arame, instabilidade do arco e descontinuidades no cordão de solda (MARQUES; MODENESI E BRACARENSE, 2009).

Conforme Santos (2015) o arame de soldagem, além de ser o metal de adição, age como polo positivo no circuito de soldagem, em que a energia de soldagem gerada forma o arco elétrico. Como a temperatura do arco elétrico é maior do que o ponto de fusão do consumível, ele se funde e é depositado na poça de fusão.

De acordo com Marques, Modenesi e Bracarense (2009) o líquido antirrespingos é fornecido em embalagens do tipo aerossol e, geralmente, é depositado em finas camadas sobre o bico de contato e o bocal da tocha de soldagem. Em algumas situações, este líquido é utilizado em regiões próximas a junta, com a finalidade de facilitar a remoção dos respingos de solda no metal de base.

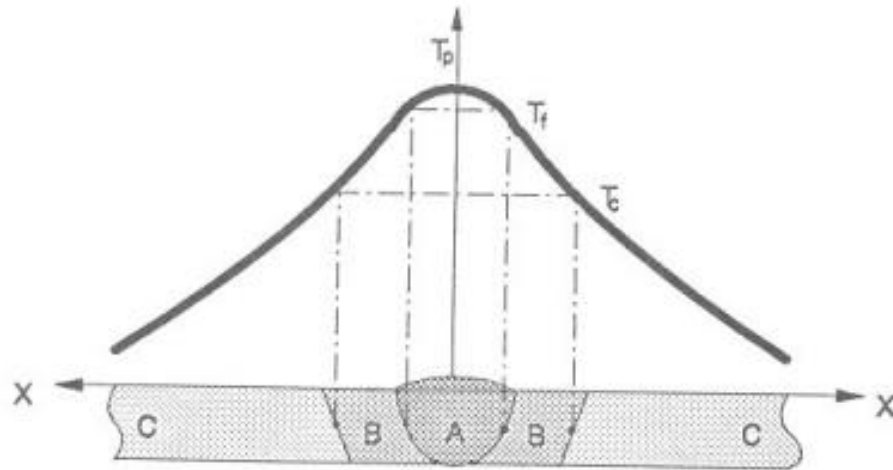
2.4.3 Zona termicamente afetada (ZTA)

Segundo Villani, Modenesi e Bracarense (2011) a maior parte dos processos de soldagem é acompanhada de um aquecimento localizado e/ou deformação plástica. Como resultado disso, ocorre a formação de estruturas ou mudanças estruturais que nem sempre são desejáveis pra a junta soldada. A maioria destas transformações depende da solidificação e do resfriamento após o processo de soldagem e, por isso, o entendimento destes fenômenos metalúrgicos é muito importante para a realização de um processo de soldagem.

Após a realização da solda, a temperatura de pico (T_p) de cada ponto da peça depende da distância do ponto até o centro do cordão de solda. Quanto mais

longe do cordão de solda o ponto estiver, menor será a sua temperatura. Então, é possível colocar em um gráfico as temperaturas de pico em função da distância do ponto ao centro do cordão de solda, e esta curva é chamada de repartição térmica, conforme pode ser observado na Figura 7 (ESAB, 2004).

Figura 7 - Repartição térmica de uma solda



Fonte: ESAB, 2004.

Conforme Machado (1996), a velocidade de resfriamento depende apenas da temperatura inicial da peça a ser soldada, quanto maior a temperatura, mais larga será a curva de repartição térmica. Já, a repartição térmica depende de alguns fatores, sendo eles:

- Tipo de material de base – especificamente a capacidade de condução térmica do mesmo;
- Geometria da junta – geometrias de perfil T possuem mais direções para condução de calor do que uma junta de topo, portanto, a velocidade de resfriamento neste tipo de junta será mais rápida;
- Espessura da junta – quanto maior a espessura, maior a velocidade de transferência de calor até a espessura crítica, onde a taxa de transferência de calor passa a ser independente da espessura.

Conforme Weman (2012) a ZTA é a região do material de base que não sofreu fusão durante a soldagem, mas que teve suas propriedades mecânicas e arranjos estruturais modificados. Em um ponto muito próximo do material que sofreu fusão, a região da ZTA teve um grande aumento de temperatura que possibilita a formação de austenita, e após a solda, há um rápido resfriamento possibilitando a formação de martensita na soldagem de aços.

Nas regiões da ZTA em que houve uma alta temperatura, há o crescimento de grãos, e em uma região mais distante do centro do cordão de solda, onde houve energia suficiente para transformações, porém não ocorreu formação de austenita, houve refino de grãos. Em regiões mais distantes ainda, onde a temperatura foi menor, não há alteração no tamanho de grão, porém foi recebido calor o suficiente para reduzir a dureza de região e eliminar os efeitos do encruamento (WEMAN, 2012).

2.4.4 Carbono Equivalente

De acordo com Infosolda (2013), a temperabilidade dos aços carbono é determinada pelo teor de carbono existente em sua estrutura e por seus elementos de liga. A determinação do carbono equivalente é feita a partir de equações que representam um teor de carbono equivalente, sendo calculado a partir dos elementos de liga mais comuns e do teor de carbono. Existem diversas equações para o cálculo do carbono equivalente, porém, a mais utilizada é a equação desenvolvida pelo Instituto Internacional de Soldagem (IIW), conforme Equação:

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%N + \%Cu}{15}$$

Em resumo, quanto menor for o carbono equivalente menor a possibilidade de ser obter uma microestrutura martensítica, e com isso é possível obter uma qualidade melhor da soldabilidade do material. A qualidade da soldabilidade é mostrada em faixas conforme a Tabela 6 (SITE DA SOLDAGEM, 2019).

Tabela 5 – Classificação da soldabilidade

Faixas	Carbono Equivalente	Classificação
1	$C_{eq} < 0,4$	Boa soldabilidade
2	$0,4 < C_{eq} < 0,5$	Razoável soldabilidade
3	$C_{eq} > 0,5$	Baixa soldabilidade

Fonte: Adaptado de SITE DA SOLDAGEM (2019).

Estas faixas estão relacionadas com o grau de temperabilidade da liga a ser soldada, uma vez que é esperado uma relação entre o valor do carbono equivalente

e as condições de fabricação, transformações de fase e a dureza da zona termicamente afetada (SITE DA SOLDAGEM, 2019).

Conforme Infosolda (2013), um nível alto de carbono equivalente não indica que o aço não será soldável, mas sim, que serão necessários cuidados adicionais. Conforme a Tabela 5, quanto menor o nível de carbono equivalente melhor é a soldabilidade do material. Sendo assim, a melhor opção atualmente é reduzir o carbono do metal de solda e aumentar o teor de elementos de liga que compõem o metal de solda apesar de ter um menor peso no carbono equivalente.

2.5 CÉLULA DE CARGA

A célula de carga é um equipamento transdutor de força, que converte uma grandeza física, como a força, em sinal eletrônico. É utilizada para pesagem industrial, balanças comerciais, controle de processos industriais e automatizações (PORTAL, 2017).

A Figura 8 exibe uma célula de carga para esforços de compressão, utilizada para medição de força aplicada em ensaios de flexão (PORTAL, 2017).

Figura 8 - Célula de carga para esforços de compressão



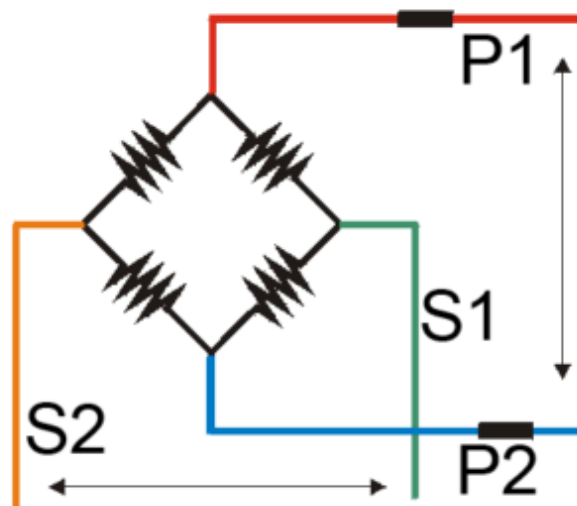
Fonte: PORTAL, 2017.

Segundo Schmidt (2015), as células de carga possuem um elemento de medição onde *strain gages* são fixados. Este elemento é geralmente feito de aço ou alumínio, e, isso significa que é muito resistente e possui uma elasticidade mínima. O elemento é levemente deformado sob o efeito da carga e retorna a sua posição inicial com uma resposta elástica a cada carga. Estas mudanças extremamente pequenas, também chamadas de micro deformações, são medidas pelos *strain*

gages e, na sequência, interpretadas por um amplificador que permite então determinar o peso.

De acordo com Portal (2017), nas células de carga geralmente são utilizados quatro *strain gages* ligados entre si, formando a chamada ponte de *Wheatstone*. Esta ponte recebe uma alimentação de 12V e, conforme acontece a deformação dos *strain gages* ocorre também o desbalanceamento da ponte, através deste desbalanceamento é obtida a força aplicada. A figura 9 representa a ponte de *Wheatstone*.

Figura 9 - Ponte de *Wheatstone*



Fonte: PORTAL, 2017.

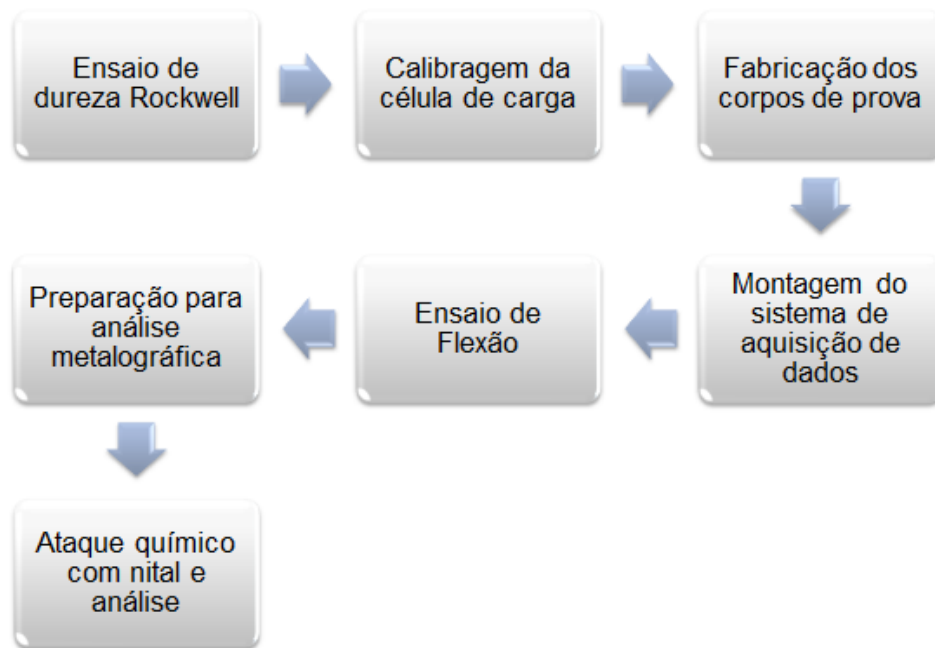
A ponte de *Wheatstone* com quatro *strain gages* é chamada de ponte completa. Esta configuração aumenta muito a sensibilidade do circuito e oferece uma medição mais exata (NATIONAL INSTRUMENTS, 2013).

3 METODOLOGIA

Neste capítulo, descrevem-se os métodos e técnicas utilizados para a construção dos corpos de prova, ensaio de dureza, calibragem da célula de carga e sistema de coleta de dados, ensaio de flexão na bancada hidráulica e análise metalográfica.

A Figura 10 demonstra a visão geral dos ensaios realizados neste trabalho.

Figura 10- Visão geral dos ensaios



Fonte: A autora, 2019.

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

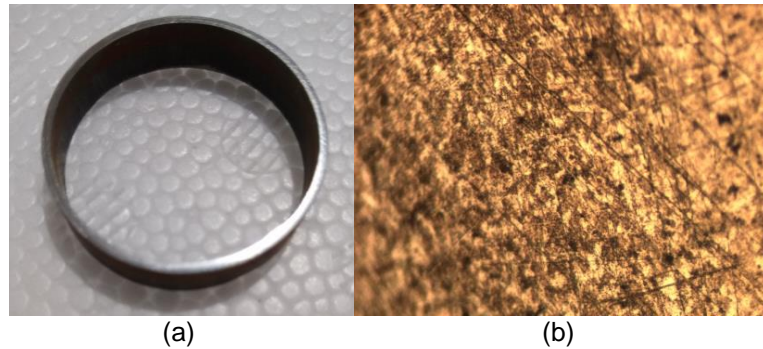
Foi realizado um estudo teórico em livros, artigos, dissertações e *internet* com o objetivo de coletar as informações sobre o assunto, levando em consideração as soluções para o problema de pesquisa. Partindo deste princípio, foi estabelecido que existe a necessidade de coletar dados dos dois materiais para realizar a comparação entre eles.

Considerando o exposto, este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa-ação, por realizar ensaios mecânicos em juntas soldadas dos aços SAE 4130 e SAE 1020.

3.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Os tubos escolhidos para a produção das amostras para o experimento, foram dos aços SAE 4130 e SAE 1020. Para o aço SAE 4130, as dimensões escolhidas foram $\varnothing 31,75 \times 100 \times 1$ mm, conforme Figura 11.

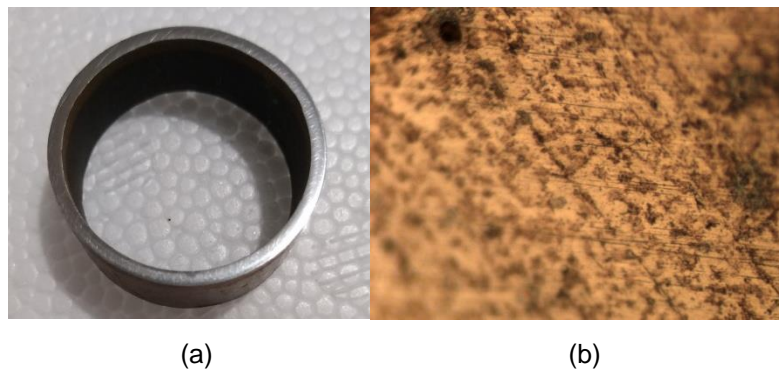
Figura 11 - Amostra tubo de aço SAE 4130 seccionado na transversal (a) e imagem microscópica do material (zoom 200x) (b).



Fonte: A autora, 2019.

Para o aço SAE 1020 as dimensões escolhidas foram $\varnothing 31,75 \times 100 \times 1,6$ mm, conforme Figura 12. As amostras foram confeccionadas por processo de corte manual.

Figura 12 - Amostra tubo de aço SAE 1020 seccionado na transversal (a) e imagem microscópica do material (zoom 200x) (b).



Fonte: A autora, 2019.

Primeiramente, foi realizado o ensaio de dureza do material utilizando o durômetro marca Pantec modelo RASN-T localizado no laboratório de metalografia da FAHOR - Faculdade Horizontina. O ensaio de dureza utilizado foi o de *Rockwell* que é caracterizado pela impressão de uma pequena marca na superfície do material pela aplicação de pressão com uma ponta de penetração. A Figura 13 mostra durômetro utilizado no ensaio de dureza.

Figura 13 – Durômetro



Fonte: A autora, 2019.

Para o aço SAE 4130, foi utilizada a ponta de penetração de diamante de 120° que permite obter o valor da dureza em HRC, já para o aço SAE 1020 foi necessário utilizar a ponta de penetração de esfera 1/16 uma vez que o aço 1020 é considerado um material mole e permite obter o valor da dureza em HRB.

Foram feitos três ensaios de dureza para cada material e assim ser possível gerar um valor de dureza média. Para obter os valores da dureza em uma mesma escala, o resultado final de cada ensaio foi convertido para a escala *Vickers*.

Após o ensaio de dureza, foi feita a fabricação dos corpos de prova onde os tubos foram soldados em perfil “T” utilizando o processo de soldagem MIG/MAG.

A construção dos corpos de prova iniciou com o processo de fresamento utilizando uma fresa de topo para fazer o encaixe dos tubos e também a realização de um ponteamto dos tubos para uni-los a fim de formar as juntas de perfil “T” e, posteriormente foi feita a solda final destes conjuntos. Foram produzidos 6 corpos de prova para cada material, totalizando 12 corpos de prova. A Figura 14 mostra uma junta soldada de perfil “T” para cada material utilizado.

Figura 14 - Juntas soldadas de perfil "T" dos aços SAE 4130 (a) e SAE 1020 (b).



(a)

(b)

Fonte: A autora, 2019.

O consumível utilizado para soldagem dos corpos de prova foi o arame sólido AWS ER70S-6 marca ESAB, modelo OK *Autrod* com diâmetro de 1 mm. Através das informações do fabricante ESAB foram obtidas as propriedades químicas e mecânicas do consumível.

A Tabela 7 apresenta propriedades químicas do consumível.

Tabela 6 - Propriedades químicas do consumível.

Elementos químicos (% massa, máxima)						
Ni	C	Si	Mn	P	S	Cr
0,015	0,08	0,90	1,50	0,025	0,035	0,15

Fonte: Adaptado de ESAB, 2004.

A Tabela 8 mostra as propriedades mecânicas do consumível.

Tabela 7 - Propriedades mecânicas do consumível.

Limite de Escoamento (MPa)	Limite de Resistência a Tração (MPa)	Limite de Escoamento (%)
470	560	26

Fonte: Adaptado de ESAB, 2004.

3.2.1 Equipamento de Soldagem

A soldagem foi efetuada utilizando uma fonte de soldagem MAG, marca ESAB, modelo *Warrior 500i*, conforme Figura 15.

Figura 15 - Fonte de soldagem MAG



Fonte: A autora, 2019.

O gás de proteção utilizado é o ATAL 21, constituído por 79% de Argônio e 21% de CO₂. Os parâmetros de soldagem utilizados para cada material constam na Tabela 9.

Tabela 8 - Parâmetros de soldagem

Material	Tensão (V)	Corrente (A)
SAE 4130	11,2	109
SAE 1020	20	166

Fonte: A autora, 2019.

3.3 SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Para a realização do ensaio de flexão, foi necessário realizar a montagem do sistema de aquisição de dados a partir de uma célula de carga. A célula de carga escolhida é a modelo MC 10T da Líder Balanças, com capacidade de 98 *Kilonewtons (kN)*. Juntamente com a célula de carga foi montado todo o sistema eletrônico para transferência dos dados da célula de carga para o Microsoft Excel.

3.3.1 Célula de carga

A célula de carga faz a leitura das forças pela ponte de *Wheatstone* que fica localizada internamente na parte interna da célula, a ponte de *Wheatstone* ao receber a carga, deforma-se aumentando a resistência e diminuindo a tensão.

Para certeza do bom funcionamento da célula de carga, foi necessário executar a calibração da mesma, para isso, utilizou-se uma prensa hidráulica com manômetro, conforme Figura 16, e aferiu-se sua medição de força.

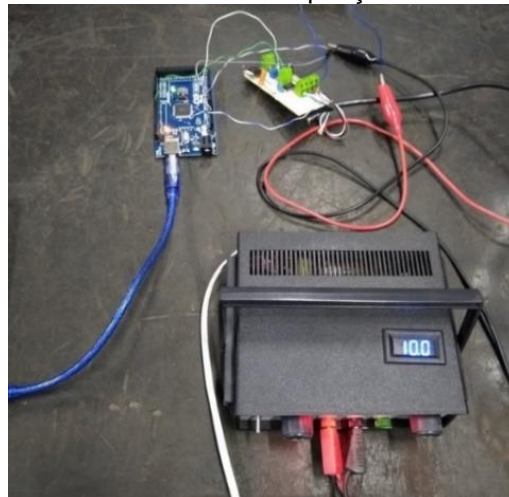
Figura 16 - Prensa hidráulica com manômetro



Fonte: A autora, 2019.

Como a célula de carga emite valores em milivolts, para montar o sistema de aquisição de dados foi preciso utilizar uma fonte de 10V dc e um arduíno Mega 2560 para transferir os valores obtidos a um computador, e transformá-los em *kN*, conforme Figura 17.

Figura 17 – Componentes eletrônicos do sistema de aquisição de dados



Fonte: A autora, 2019.

Os dados foram enviados pelo arduíno Mega 2560 através de um código de transferência de dados (Apêndice A) e convertidos para o Microsoft Excel pelo *software* PLX-DAQ, conforme Figura 18.

Figura 18 - Planilha para aquisição de dados com o *software* PLX - DAQ.

Tempo	Tensao	Forca	millis
8:16:23 PM	854	0	
8:16:24 PM	854	0	
8:16:24 PM	854	0	
8:16:25 PM	854	0	
8:16:25 PM	854	0	
8:16:26 PM	854	0	
8:16:26 PM	855	18,11	
8:16:27 PM	861	54,33	
8:16:27 PM	861	54,33	
8:16:28 PM	861	54,33	
8:16:28 PM	861	54,33	
8:16:29 PM	866	72,44	
8:16:29 PM	866	72,44	
8:16:30 PM	866	72,44	
8:16:30 PM	871	90,55	
8:16:31 PM	871	90,55	
8:16:31 PM	879	108,66	
8:16:32 PM	879	108,66	
8:16:32 PM	884	126,77	
8:16:33 PM	884	126,77	
8:16:33 PM	884	126,77	
8:16:34 PM	884	126,77	
8:16:34 PM	884	126,77	
8:16:35 PM	891	144,88	



Fonte: A autora, 2019.

No momento em que a célula de carga capturava os valores de força aplicada o *software* PLX-DAQ fazia a transferência dos dados, em tempo real, para o Microsoft Excel.

3.4 ENSAIO DE FLEXÃO

O ensaio de flexão foi realizado em uma bancada hidráulica localizada no laboratório de soldagem da FAHOR – Faculdade Horizontina, que é 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 em formato “I”.

A Figura 19 mostra a bancada hidráulica juntamente com a célula de carga do sistema de aquisição de dados.

Figura 19 - Bancada hidráulica para o ensaio de flexão.



Fonte: A autora, 2019.

O painel elétrico possui um botão que liga e outro que desliga o motor da bancada, e mais dois botões que fazem o atuador linear subir e descer, respectivamente. A velocidade de descida ou subida do atuador pode ser controlada a partir da regulagem da vazão da bomba hidráulica.

3.5 ANÁLISE METALGRÁFICA

Após o ensaio de flexão, as amostras foram seccionadas na junta soldada em “T”, utilizando a cortadora metalográfica Arotec modelo COR – 40, conforme Figura 20 (a), e encaminhadas para o lixamento em uma máquina politriz Arotec modelo APL – 4, conforme Figura 20 (b).

Figura 20 - Cortadora metalográfica (a) e máquina politriz (b).



(a)

(b)

Fonte: A autora, 2019.

Para preparação da superfície foram utilizadas lixas de granulometria 100, 220, 400, 600 e 1200 respectivamente, até se obter uma superfície com acabamento brilhante. Foram realizadas 6 amostras metalográficas, sendo três de cada material. A Figura 21 mostra uma amostra seccionada na junta “T”.

Figura 21 - Amostra seccionada



Fonte: A autora, 2019.

Após as amostras terem passado pelo processo de lixamento, elas foram submetidas a ataque químico com nital 5% (95% álcool isopropílico e 5% de ácido nítrico) por aproximadamente 10 segundos, após o ataque com nital as amostras foram rapidamente lavadas com álcool e secadas com ar quente.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios de dureza, do ensaio de flexão das juntas soldadas em perfil “T” bem como das análises metalográficas das amostras do aço SAE 1020 e aço SAE 4130, para fins de comparação.

4.1 ENSAIO DE DUREZA

Após a realização das três medições de dureza pelo método Rockwell, foi obtida a dureza média de cada material. Os resultados podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 9 - Resultados do ensaio de dureza.

	Aço SAE 1020	Aço SAE 4130
Ensaio	Dureza HRB	Dureza HRC
1	66	28
2	70	37,7
3	69	39
Média	69	37,7

Fonte: A autora, 2019.

Como, em virtude das características de cada material, não foi possível obter diretamente os resultados em uma mesma escala, e como o objetivo do estudo é realizar a comparação entre os dois materiais, a dureza média encontrada para cada material foi convertida para a escala *Vickers* (HV) a partir da tabela de conversão disponível no Laboratório de Metalografia. Como pode ser visto na Tabela 11.

Tabela 10 - Conversão para escala *Vickers*

	Aço SAE 1020	Aço SAE 4130
Dureza HRB	69	-
Dureza HRC	-	37,7
Dureza HV	124	370

Fonte: A autora, 2019.

A partir da escala *Vickers*, podemos observar uma dureza média de 124 HV para o aço SAE 1020 e 370 HV para o aço SAE 4130. Estes resultados estão dentro da faixa de valores disponibilizada pelos fabricantes.

4.2 ENSAIO DE FLEXÃO

A Figura 22 mostra um corpo de prova sendo submetido ao ensaio de flexão pelo método engastado. Os balões indicativos mostram cada componente utilizado no ensaio de flexão, o balão 1 indica a amostra em flexão, o 2 indica a célula de carga e o 3 o atuador hidráulico linear.

Figura 22 - Corpo de prova submetido ao ensaio de flexão

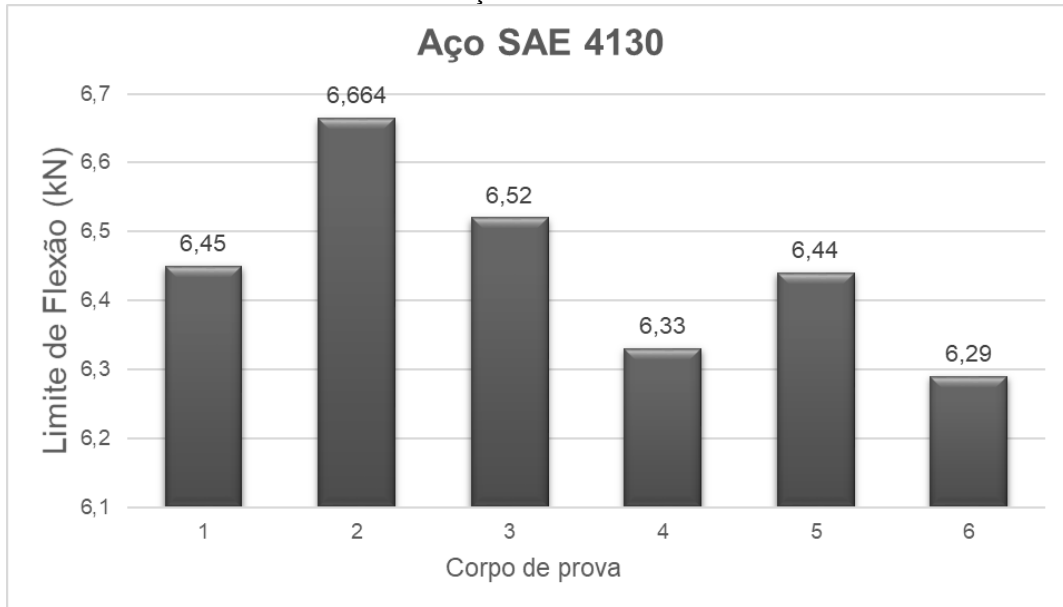


Fonte: A autora, 2019.

Os resultados obtidos através do ensaio de flexão pelo método engastado para os materiais em estudo são mostrados nos gráficos das Figuras 23 e 25. O valor encontrado para cada corpo de prova se refere a força máxima suportada pelo material em *kN* obtida através do experimento para cada corpo de prova ensaiado.

Os resultados apresentados na Figura 23 mostram que o aço SAE 4130 atingiu um alto limite de resistência à flexão em média 6,4 *kN*, que vai de acordo com as suas propriedades, foi possível verificar que o material rompeu na zona termicamente afetada.

Figura 23 - Limite de resistência a flexão do aço SAE 4130



Fonte: A autora, 2019.

A Figura 24 mostra um corpo de prova do aço SAE 4130 após o ensaio de flexão. Pode-se observar o rompimento do material na ZTA.

Figura 24 - Corpo de prova do aço SAE 4130

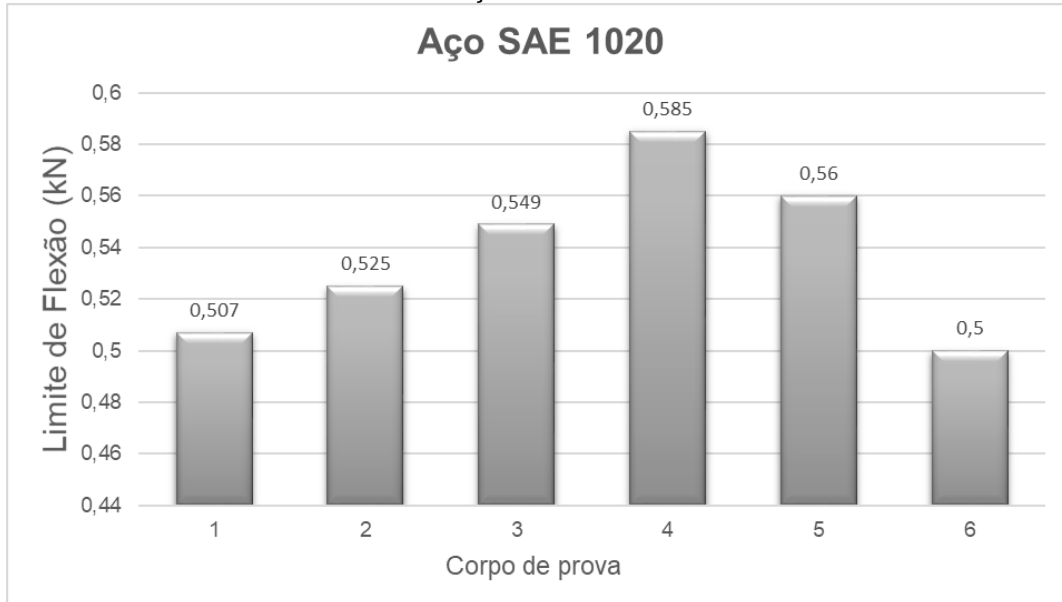


Fonte: A autora, 2019.

Os resultados apresentados na Figura 25 mostram que o aço SAE 1020 não atingiu um limite de resistência à flexão como o aço SAE 4130, deformando antes mesmo de chegar ao seu limite, não sendo possível aplicar a carga máxima que o

faria romper. Isso acontece por conta de o aço SAE 1020 ser um aço de baixo carbono, e isso o faz deformar com maior facilidade.

Figura 25 - Limite de resistência a flexão do aço 1020.



Fonte: A autora, 2019.

A deformação dos tubos do aço SAE 1020 pode ser vista na Figura 26.

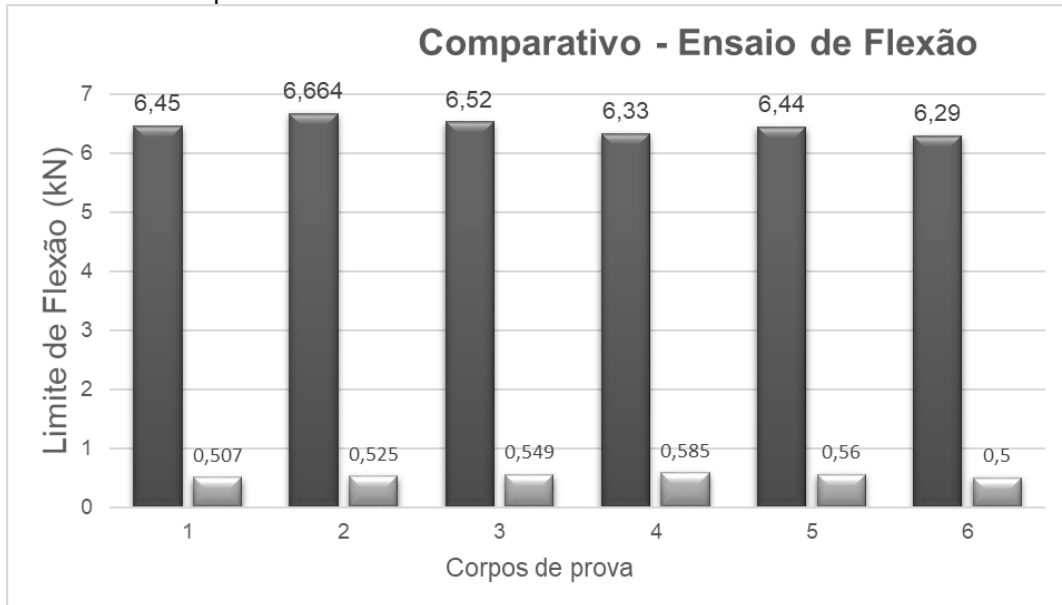
Figura 26 - Deformação dos tubos do aço 1020.



Fonte: A autora, 2019.

A partir dos resultados obtidos no ensaio de flexão, realizou-se o comparativo entre os dois materiais, assim como mostra o gráfico da Figura 27.

Figura 27 - Gráfico comparativo do limite de resistência a flexão dos materiais



Fonte: A autora, 2019.

Na Figura 27 é possível perceber que o aço SAE 4130 é cerca de 12 vezes mais resistente a esforços de flexão do que o aço SAE 1020.

4.3 ANÁLISE METALOGRÁFICA

As Figuras 28 e 29 apresentam as macrografias das juntas soldadas em "T" dos aços SAE 1020 e 4130, contendo três amostras de cada material, após os ensaios de flexão e atacadas com nital 5%.

Figura 28 – Macrografia das juntas soldadas em "T" do aço SAE 4130.

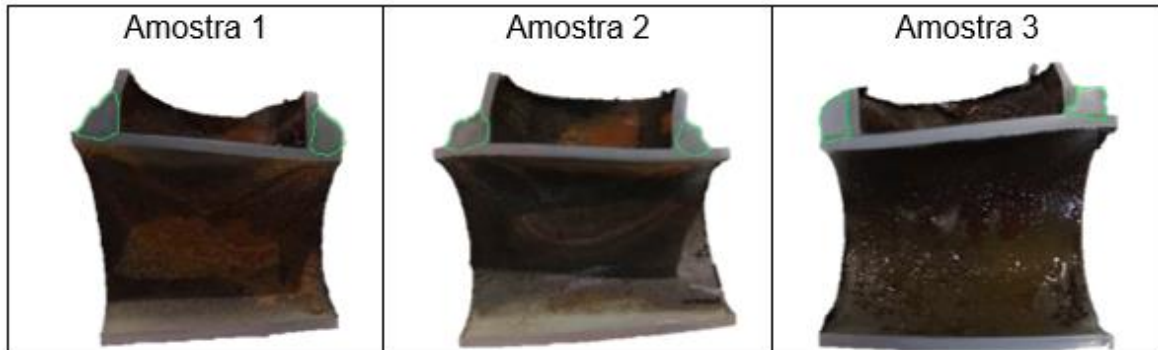


Fonte: A autora, 2019.

Pela macrografia realizada nas amostras do aço SAE 4130 foi possível observar a zona termicamente afetada, conforme demarcação na Figura 26. Os parâmetros utilizados para soldagem deste material não ocasionaram poros ou trincas na área da solda e também não faltou penetração. Outra observação

possível de notar é que todas as amostras acima tiveram rompimento na zona termicamente afetada.

Figura 29 – Macrografias das juntas soldadas em “T” do aço SAE 1020.



Fonte: A autora, 2019.

A macrografia das amostras do material SAE 1020, conforme Figura 27, mostra a zona termicamente afetada em destaque. Os parâmetros de soldagem utilizados não ocasionaram trincas ou poros na solda e não houve falta de penetração. Porém, o material não teve rompimento, apenas uma deformação próxima da zona termicamente afetada como mostrou a Figura 26.

4.4 CUSTO DOS MATERIAIS

Um ponto importante que deve sempre ser analisado antes da construção de um protótipo, é o custo do material a ser utilizado. Mas, não se deve esquecer da qualidade do material, que muitas vezes justifica o seu preço um pouco mais elevado. A Tabela 12 apresenta o custo por metro de cada material.

Tabela 11 - Custo dos materiais.

Custo dos materiais			
Material	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)	Preço/metro (m)
SAE 4130	31,75	1	R\$ 245,00
SAE 1020	31,75	1,6	R\$ 23,00

Fonte: O autor, 2019.

É possível observar que o aço SAE 4130 tem um custo consideravelmente maior do que o aço SAE 1020, isso por conta das suas propriedades mecânicas e por ser considerado um aço aeronáutico de alta resistência, também é um aço difícil de ser encontrado no mercado pois não são muitos os fabricantes. Já o aço SAE 1020 é um aço fácil de ser encontrado no mercado, são muitos os seus fabricantes e isso justifica o seu baixo preço.

CONCLUSÃO

O presente trabalho mostrou um comparativo de ensaios mecânicos de dureza e flexão em juntas soldadas “T” nos aços SAE 1020 e SAE 4130.

No ensaio de dureza do aço SAE 4130, verificou-se que o mesmo é amplamente superior, quando comparada ao aço SAE 1020, com uma dureza cerca de 3 vezes maior.

O ensaio de flexão realizado nas juntas soldadas de perfil “T” mostrou que o aço SAE 4130 tem uma resistência a flexão alta, ele resistiu em média a uma força aplicada de até 6,4kN. Já para o aço SAE 1020 não foi possível coletar os dados relacionados ao limite máximo de resistência a flexão pois o material apresentou uma deformação antes do rompimento do material, em virtude de o material em questão ser um aço de baixo carbono e por isso deformar com mais facilidade.

A micrografia dos materiais mostrou que os parâmetros de soldagem foram adequados, pois não geraram trincas nem porosidade e também não houve falta de penetração, para os dois materiais. O aço SAE 4130 apresentou o rompimento na zona termicamente afetada, já o aço SAE 1020 não apresentou rompimento, mas deformou próximo da zona termicamente afetada.

A partir destes resultados, o aço SAE 4130 se mostrou uma opção confiável para a utilização no chassi do próximo protótipo da equipe Sinuelo, por suas propriedades mecânicas serem superiores ao aço SAE 1020, conforme mostrado nos ensaios, garantindo uma redução do peso do veículo já que a espessura utilizada no aço SAE 4130 foi de 1mm em quanto a do aço SAE 1020 era de 1,6mm, melhorando o desempenho do mesmo e tornando-o mais competitivo.

O aço SAE 1020 não deixa de ser uma opção confiável, suas propriedades mecânicas são boas, e se for levado em consideração a questão custo de material, o mesmo se torna uma opção interessante por ser mais barato do que o material SAE 4130.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante uma pesquisa referente a quanto iria diminuir o peso do protótipo utilizando o aço SAE 4130, considerando também a possibilidade de utilizar menos material. Outra possibilidade também seria a realização de outros ensaios mecânicos, como de impacto, uma vez que o protótipo passa por esforços de impacto durante as competições, bem como análise de elementos finitos com objetivo de eliminar concentrações de tensão.

REFERÊNCIAS

- AÇOSPORTE. **Comercial de aços LTDA.** Disponível em: <<http://www.acosporte.com.br/aco-sae-1020>>. Acesso em: 02 jul. 2019.
- AMERICAN SOCIETY FOR METALS. **Metals Handbook.** v. 1, Metals Park, Ohio, 1990.
- CALLISTER, W. D. Jr.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** 9 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2016.
- CENTRO DE INFORMAÇÕES METAL MECÂNICA - CIMM. **Teste de Dureza Rockwell.** Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6556-teste-de-dureza-rockwell#.XcK9uChKj4Y>. Acesso em: 31 out. 2019.
- COLPAERT, Hubertus. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns.** São Paulo: Editora Blucher, 2008.
- DAVIN, J. P.; MAGALHÃES, A. G. **Ensaaios Mecânicos e Tecnológicos.** 3 ed. Porto: Editora Publindústria, 2010.
- ESAB. **Apostila de Metalurgia de Soldagem.** Contagem: ESAB Soldagem e Corte, 2004.
- EQUIPE SINUELO. **A equipe,** 2019. Disponível em: <<http://sinuelo.fahor.com.br/>>. Acesso em 07 mai. 2019.
- GARCIA, A.; SPIM J.A; SANTOS, C.D.S. **Ensaio dos materiais.** 2 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- GERDAU, Aços Finos Piratini. **Manual de Aços.** Disponível em:<https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo_acos_gerdau.pdf> Acesso em: 28 jun. 2019.
- INFOMET. **Composição química – aços carbono e baixa liga.** Disponível em: <<https://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=254>> Acesso em 02 jul. 2019.
- INFOSOLDA. **Metalurgia – Carbono Equivalente.** Disponível em: <<https://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/metalurgia-livros-senai/130-carbono-equivalente>>. Acesso em 06 nov. 2019.
- LEE, I. K.; CHUNG, C. L. I.; LEE, Y. T.; CHIEN, Y. T. **Effect of thermal refining on mechanical properties of annealed AISI 4130 by multilayer GTAW.** *Journal of Iron and Steel Research, International.* Vol 19, 2012.
- MACHADO, I. G. **Soldagem e técnicas conexas: Processos.** Porto Alegre: [s.n.], 1996.
- MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem Fundamentos e Tecnologia.** 3 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009.

NATIONAL INSTRUMENTS. **Medições de carga: Guia prático.** 2013. Disponível em: < <http://www.ni.com/tutorial/7138/pt/>>. Acesso em 09 dez. 2019.

PORTAL. **Célula de Carga.** 2017. Disponível em: <http://www.celuladecarga.com.br/portal/?page_id=8>. Acesso em 18 jun. 2019.

SAE BRASIL. **Regras e relatórios.** 2018. Disponível em: <<http://portal.saebrasil.org.br/Portals/0/PE/Baja%20Nacional%202018/RATBSB.pdf>> Acesso em 07 mai. 2019.

SANTOS, C. E. F. dos. **Processo de Soldagem: conceitos, equipamentos e normas de segurança.** São Paulo: Editora Érica Ltda, 2015.

SCHMIDT, S. **Como uma célula de carga realmente trabalha?**, HBM – Soluções em Medição. Disponível em: < <https://www.hbm.com/pt/6768/como-uma-celula-de-carga-trabalha/>>. Acesso em 18 jun. 2019.

SITE DA SOLDAGEM. **Carbono Equivalente e Soldabilidade.** Disponível em: <<https://www.sitedasoldagem.com.br/vagas-e-eventos/carbono-equivalente-ceq-e-soldabilidade>>. Acesso em 06 nov. 2019.

SOUZA, S. A de. **Ensaio Mecânicos de Materiais Metálicos: Fundamentos Teóricos e Práticos.** 5 ed. São Paulo: Editora Blucher, 1982.

VILLANI, P. M.; MODANESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia.** 3 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011.

WEINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F.D.A. **Soldagem: processos e metalurgia.** São Paulo: Editora Edgard Blucher LTDA, 1992.

WEMAN, K. **Welding processes handbook.** 2 ed. Philadelphia: Woodhead Publishing, 2012.

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;
  kg = (1023-sinal)*8.5;*/
  kg = (861-sinal)*18.11;
  /*5 TON 585
  0 861

  861-SINAL
  861-585

  276
```

```
0,05

2,7
3,91
*/

if (kg <= 0){
kg = 0;
}
Serial.print("DATA, DATE, TIME,");
/*Serial.print(volts);*/
Serial.print(sinal);
Serial.print(",");
Serial.println(kg);
delay(500);
}
```