

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JORGE PHELIPE NICODEMOS

CARACTERIZAÇÃO DO AÇO CA-50 DISPONÍVEL NO COMÉRCIO DE JATAÍ-
GO

Jataí
2022

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico/Tecnológico - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Jorge Phelipe Nicodemos

Matrícula: 20171020260061

Título do Trabalho: Caracterização do aço CA50 disponível no comércio de Jataí-GO

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

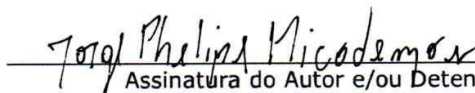
- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Jataí, 28/03/2022.


Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

JORGE PHELIPE NICODEMOS

**CARACTERIZAÇÃO DO AÇO CA-50 DISPONÍVEL NO COMÉRCIO DE JATAÍ-
GO**

Trabalho apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Prof. Dr. Fabrício Ribeiro Bueno

Jataí
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação na (CIP)

Nicodemos, Jorge Phelipe.

Caracterização do aço CA-50 disponível no comércio de Jataí-GO [manuscrito] / Jorge Phelipe Nicodemos. -- Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, 2022.

76. ; il.

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Ribeiro Bueno.

Bibliografias.

1. Aço. 2. Construção civil. 3. Tração. I. Bueno, Fabrício R.. II. IFG, Câmpus Jataí. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Téc.: Aquisição e Tratamento da Informação.
Bibliotecária - Rosy Cristina O. Barbosa - CRB 1/2380 – C. Jataí. Cód. F031/2022-1.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

JORGE PHELIPE NICODEMOS

CARACTERIZAÇÃO DO AÇO CA-50 DISPONÍVEL NO COMÉRCIO DE JATAÍ- GO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel e Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovada, em 05 de fevereiro de 2022, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fabrício Ribeiro Bueno
Presidente da banca/ Orientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Me. Jerônimo Otoni de Carvalho Neto
Membro Interno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Eng. Civil Leonardo Balieiro dos Santos Meneses
Membro Externo
L. C. ENGENHARIA

Jataí - GO
2022

Documento assinado eletronicamente por:

- Jorge Phelipe Nicodemos, 20171020260061 - Discente, em 23/03/2022 16:54:21.
- Leonardo Balieiro dos Santos Meneses, Leonardo Balieiro dos Santos Meneses - 214205 - Engenheiro civil - Lc Engenharia (14942182000124), em 24/02/2022 08:47:48.
- Jeronimo Otoni de Carvalho Neto, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 23/02/2022 12:46:49.
- Fabricio Ribeiro Bueno, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 11/02/2022 03:40:53.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 31/01/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 241020

Código de Autenticação: 5e199f8af0



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Rua Maria Vieira Cunha, nº 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3605-0837 (ramal: 837)

RESUMO

Desde a sua descoberta, o aço é um material que vem sofrendo mudanças na sua fabricação, composição química e propriedades ao longo dos anos, para obter características satisfatórias e atender determinadas utilidades entregues a ele. O aço CA-50 é um material de muita valia no ramo da construção civil, que abriu as portas para um amplo mercado da construção civil e arquitetura, podendo executar projetos de obras de arte consideradas impossíveis antes da descoberta do concreto armado. Este presente trabalho busca avaliar algumas das marcas de aço CA-50 corriqueiras nas obras da cidade de Jataí-GO, podendo assim contribuir para a construção civil local, revelando quais as características físicas e mecânicas dos aços usuais nas obras da localidade. O comportamento mecânico das barras será revelado a partir de ensaios de tração e os seus resultados serão apresentados ao leitor em forma de relatórios e gráficos, deste modo podendo ser facilmente comparados entre si e com a NBR 7480:2007, especificações para aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado.

Palavras-chave: Aço. Construção civil. Tração.

ABSTRACT

Since its discovery, steel is a material that has undergone changes in its manufacture, chemical composition and properties over the years, in order to obtain satisfactory characteristics and meet certain utilities delivered to it. CA-50 steel is a very valuable material in the field of civil construction, which opened the doors to a wide market of civil construction and architecture, being able to execute projects of works of art considered impossible before the discovery of reinforced concrete. This present work seeks to evaluate some of the common CA-50 steel brands in the works of the city of Jataí-GO, thus being able to contribute to the local civil construction, revealing the physical and mechanical characteristics of the usual steels in the works of the locality. The mechanical behavior of the bars will be revealed from tensile tests and their results will be presented to the reader in the form of reports and graphs, thus being able to be easily compared with each other and with the NBR 7480:2007, specifications for steel intended for reinforcement for reinforced concrete structures.

Keywords: Steel. Construction. Traction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fornos tipo poço aberto e tipo poço fechado	19
Figura 2.2 - Forno de Soleira.....	20
Figura 2.3 - Forno de Brescia, o primeiro alto forno	21
Figura 2.4 - Classificação dos grãos	24
Figura 3.1 - Barra CSN com marca e categoria do material em alto relevo.....	34
Figura 3.2 - Barra CSN com diâmetro nominal de 10mm exposto em alto relevo.....	35
Figura 3.3 - Marcas de oxidação em barras Gerdau	36
Figura 3.4 - Escova de aço carbono.....	37
Figura 3.5 - Barra Gerdau 10mm com marcas de oxidação	37
Figura 3.6 - Barra Gerdau 10mm após escovação	38
Figura 3.7 - Exibição nervura longitudinal e nervuras transversais oblíquas.....	41
Figura 3.8 - Paquímetro digital.....	42
Figura 3.9 - Detalhes nervuras transversais oblíquas e nervuras longitudinais	43
Figura 3.10 - Especificações da prensa de tração	44
Figura 3.11 - Prensa de tração	45
Figura 3.12 - Barras Gerdau 12,5mm com marcação de giz.....	46
Figura 3.13 - Relatório de ensaio de tração 8mm	66
Figura 3.14 - Relatório de ensaio de tração 10mm.....	68
Figura 3.15 - Relatório de ensaio de tração 12,5mm	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Características das barras e fios de acordo com a NBR-7480.....	30
Tabela 3.1 - Tabela B.1 da NBR 7480.....	39
Tabela 3.2 – Especificação dos corpos de prova defeituosos	51
Tabela 3.3 - Identificação dos corpos de prova	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C. – Antes de Cristo

C – Carbono

CA 25 – Aço para concreto armado com resistência característica de 250MPa

CA 50 - Aço para concreto armado com resistência característica de 500MPa

CA 60 - Aço para concreto armado com resistência característica de 600MPa

cm – Centímetro

CP – Corpo de prova

Cr – Cromo

CSN – Companhia Siderúrgica Nacional

Cu – Cobre

d.C. – Depois de Cristo

h - Altura

kg – Quilograma

kN – Quilonewton

m – Metro

mm – Milímetro

Mn – Manganês

MPa – Mega Pascal

Nb – Nióbio

NBR – Norma técnica brasileira

Ni – Níquel

O – Oxigênio

P - Fósforo

S – Enxofre

x – Diâmetro do vergalhão com duas nervuras transversais oblíquas

y – Diâmetro do vergalhão sem nervuras

LISTA DE SÍMBOLOS

% - Porcentagem

°C – Grau Celsius

‰ – Permilagem

A - Área

L° - Comprimento de medida inicial

l° - Comprimento inicial

M – Massa

Ø – Diâmetro

S° - Área da seção transversal da barra de aço

α – Densidade do aço

π – Pi

ρ – Massa linear nominal

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS.....	10
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	11
LISTA DE SÍMBOLOS	13
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	17
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo Geral	17
1.2.2 Objetivos Específicos	18
CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1 HISTÓRICO DO AÇO.....	18
2.2 A FABRICAÇÃO DO AÇO	23
2.2.1 Processo de extração do minério de ferro.....	23
2.2.2 Processo siderúrgico	24
2.2.2.1 Preparação dos materiais	24
2.2.3 Influência dos elementos de ligas nas propriedades mecânicas dos aços.....	27
2.3 AÇO ESTRUTURAL	28
2.3.1 Aços-carbono.....	28
2.3.1.1 Aço de baixo carbono	29
2.3.1.2 Aço de médio carbono.....	29
2.3.1.3 Aço de alto carbono.....	29
2.3.2 Aço liga.....	29
2.4 AÇO PARA CONCRETO ARMADO	29
2.4.1 Propriedades do aço CA50	32
2.4.1.1 Ductilidade.....	32
2.4.1.2 Soldabilidade	32
2.4.1.3 Corrosão.....	33
2.4.1.4 Configuração geométrica.....	33
2.4.1.5 Resistência característica de escoamento	33
2.4.1.6 Limite de resistência.....	33
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA	34

3.1 Verificação de Imperfeições	35
3.2 Características das barras.....	38
3.2.1 Cálculo da área e diâmetro efetivo	40
3.2.2 Configuração geométrica de barras nervuradas.....	40
3.3 Ensaio de tração.....	43
3.3.1 Resultados esperados.....	46
3.4 Análise dos resultados	47
3.4.1 Defeitos.....	47
3.4.1.1 ArcelorMittal	47
3.4.1.2 CSN	48
3.4.1.3 Gerdau	49
3.4.1.4 Quantidade total de defeitos encontrados	50
3.4.2 Densidade linear	51
3.4.3 Diâmetro efetivo	54
3.4.4 Altura das nervuras transversais oblíquas	57
3.4.5 Espaçamento médio das nervuras transversais oblíquas	59
3.4.6 Projeção das nervuras transversais oblíquas.....	61
3.4.7 Ensaios de tração	65
3.4.7.1 Resultado dos corpos de prova ensaiados de 8mm.....	66
3.4.7.2 Análise dos corpos de prova ensaiados de 8mm	67
3.4.7.3 Resultado dos corpos de prova ensaiados de 10mm.....	68
3.4.7.4 Análise dos corpos de prova ensaiados de 10mm	69
3.4.7.5 Resultado dos corpos de prova ensaiados de 12,5mm.....	70
3.4.7.6 Análise dos corpos de prova ensaiados de 12,5mm	71
3.4.7.7 Alongamento após ruptura.....	71
CAPÍTULO 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
REFERÊNCIAS	77

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

O solo brasileiro é um dos maiores reservatórios de ferro do mundo, são cerca de 30 bilhões de toneladas que ficaram escondidos debaixo da terra, até que os primeiros ferreiros as descobrissem no século 16, e começaram a usufruir deste minério. (Valdemir Cunha, 2016).

O uso do ferro e aço sempre deteve um papel importante na evolução da humanidade como um todo, e a partir de 1779 as portas se abriram para o uso do aço estrutural na construção civil, com a execução da ponte Iron bridge, na Inglaterra, com grande parte dela sendo feita de ferro fundido, (Cleiton Schlindwein, 2019) e assim chamando a atenção de engenheiros de vários lugares do mundo, surpreendidos com a inovação, e desta forma dando um passo importante para a evolução do aço na construção civil.

No Brasil, o aço se tornou ainda mais indispensável nas obras a partir do século 19, momento em que surgiu o concreto armado, (Rafael Passos Novelli) a combinação perfeita entre o concreto e o aço que revolucionou a construção civil. O concreto armado trouxe grandes benefícios para as construções e seus engenheiros, mas desde que seja fabricado e aplicado da forma correta, seguindo suas devidas normas técnicas.

O uso do aço na construção civil está mais relacionado na sua utilização como armaduras nas estruturas de concreto armado, mas vale ressaltar a sua importante presença em ferramentas presentes na obra, pequenos componentes utilizados em instalações elétricas, escoras para lajes, vigas e vários outros materiais que auxiliam no desenvolvimento da construção do início ao fim.

De acordo com o Instituto Aço Brasil (2020), o Brasil foi 9º no ranking mundial de produção de aço e 1º na América Latina, sendo responsável por 1,7% da produção mundial em 2019. Ainda com dados de 2019, só a construção civil brasileira consumiu cerca de 2,5 milhões de toneladas de aço no ano, sendo um dos principais setores consumidores dos produtos siderúrgicos.

A qualidade do aço é dependente principalmente da sua forma de fabricação e sua composição química final, para que produza um produto final com excelência, é fundamental que possua um controle de qualidade rigoroso. O aço para concreto armado dispõe de uma enorme responsabilidade na construção civil, diante disto é preciso que ele seja fabricado, verificado e utilizado de forma responsável, para que não ocorra riscos indesejados.

1.1 JUSTIFICATIVA

Realizar ensaios de tração em vergalhão para concreto armado já fabricado, consiste em submeter o material a situações que simulam os esforços que eles iriam sofrer em condições reais de uso, podendo desta forma observar de forma segura seu desempenho através de dados quantitativos fornecidos pela máquina de tração e verificar se o material obedece aos requisitos determinados pela norma técnica.

Informar-se das propriedades mecânicas de um material é um encargo relevante para poder avaliar a sua eficiência em determinado uso, sendo possível conferir sua eventual periculosidade no trabalho.

Ao longo do tempo o controle de qualidade presente nas indústrias vem se intensificando, tornando mais seguro a atividade com os materiais industrializados, mas ainda assim é comum ocorrer imperfeições em suas características que passam despercebidos, podendo acontecer devido a imprecisão da matéria prima, equívoco no momento da fabricação, problemas técnicos e etc.

Ensaio de tração em barras de aço CA-50 irá proporcionar a verificação do gráfico tensão-deformação do vergalhão, sendo capaz de detalhar a sua fase elástica e plástica no momento da deformação e ruptura.

As obras presentes na cidade de Jataí-GO costumam utilizar sempre as mesmas marcas de aço, contando com pouca variação de fornecedores. As marcas que mais aparecem nessas obras da região serão verificadas e analisadas, podendo desta forma contribuir para as obras da cidade, identificando a segurança ou insegurança que determinada marca aplica.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analisar, avaliar e descrever o desempenho mecânico e físico de barras de aço CA-50 comercializadas na cidade de Jataí-GO, além de verificar o diagrama tensão-deformação através de ensaios de tração.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Verificar o desempenho de barras de aço CA-50 comercializadas na cidade de Jataí-GO, através de ensaios de tração e comparar com as exigências da NBR 7480 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificações;
- Comparar o desempenho mecânico e físico das barras entre as marcas selecionadas;
- Analisar o diagrama tensão-deformação.

CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 HISTÓRICO DO AÇO

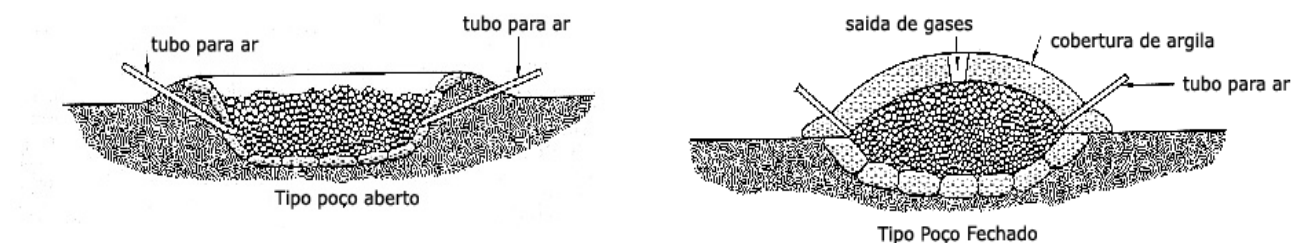
“Metal que veio do céu”, este é o termo expressado em algumas línguas para nomear aquilo que chamamos de ferro, já que os primeiros contatos que o homem teve com o metal ferro foi a partir de meteoritos que atingiram a superfície da Terra; minério que tem participações constantes na evolução da humanidade, principalmente na fabricação de ferramentas e armas. Impérios que conseguiam obter o domínio da fabricação do ferro dominavam a sua região, pois combatiam as tribos vizinhas com o uso de armas fabricadas a partir do ferro, que foi o caso do Império Hitita, que tinham o monopólio do segredo da fabricação do ferro em 1400 a.C. e usou este segredo para estender seus domínios pela Mesopotâmia (MOURÃO e GENTILE, 2007), deixando nítido a influência do metal ferro na história da humanidade.

Por volta de 1200 a.C. se inicia a Idade do Ferro, que apesar de seu nome, ela não está rigorosamente relacionada apenas ao desenvolvimento da siderurgia, visto que o ferro já era conhecido em outras regiões, como na Mesopotâmia e Egito; mas é uma época que marcou modificações também nas tradições e práticas associadas a seus antecedentes temporais (HERÓDOTO, 2019). A Idade do Ferro se inicia após a Idade do Bronze, e teve origem no Oriente e se disseminando pela Europa anos depois; China, Índia e África não tiveram a Idade do Bronze, mas tiveram a Idade do Ferro de forma independente, diferente da Oceania e das Américas que tiveram contato com a metalurgia do ferro apenas com a chegada dos europeus (MOURÃO e GENTILE, 2007).

O processo siderúrgico que consiste em transformar o minério ferro em aço, vem evoluindo junto com a civilização, porém, sua estrutura é a mesma: fonte de carbono (carvão vegetal ou coque), que reage com um sopro de ar para extrair o ferro do minério e dar energia para o

processo (MOURÃO e GENTILE, 2007). Diferentes tipos de fornos foram elaborados ao longo do tempo, todos com a intenção de aprimorar a extração do ferro; segundos os arqueólogos, os primeiros fornos utilizados para o processo, são os fornos tipo poço aberto e tipo poço fechado conforme a figura 2.1.

Figura 2.1 - Fornos tipo poço aberto e tipo poço fechado

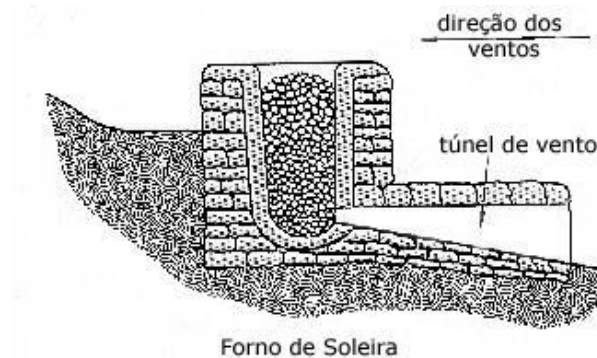


Fonte: MCGANNON (1971)

Esses tipos de forno eram formados por um buraco na terra revestido com pedras, tubos para a injeção de ar e colocando no interior do buraco o minério de ferro misturado com o carvão vegetal. Os resultados obtidos a partir desses fornos não eram o ideal, o teor de carbono presente no ferro obtidos nesses fornos varia de 0 a 0,8%, considerado um ferro doce, com baixo teor de carbono e baixa dureza, com uma resistência mecânica também baixa, sendo este ferro obtido usado para fabricar objetos de decorações e utensílios (MOURÃO e GENTILE, 2007), não sendo útil para armamentos, porém, pela dificuldade do processo para a fabricação do ferro, objetos feitos com este material eram de grande valor para a época.

Ao longo dos séculos os fornos de redução foram se aperfeiçoando, nas regiões onde hoje situa-se a Áustria e Espanha, a metalurgia do ferro começou a crescer em grande escala, mas a tecnologia usada na redução do minério ainda não apresentava grandes evoluções. Foi criado o forno de soleira que permitia atingir temperaturas superiores ao forno de poço, apresentando um teor de carbono pouco acima de 0,3% (MOURÃO e GENTILE, 2007).

Figura 2.2 - Forno de Soleira

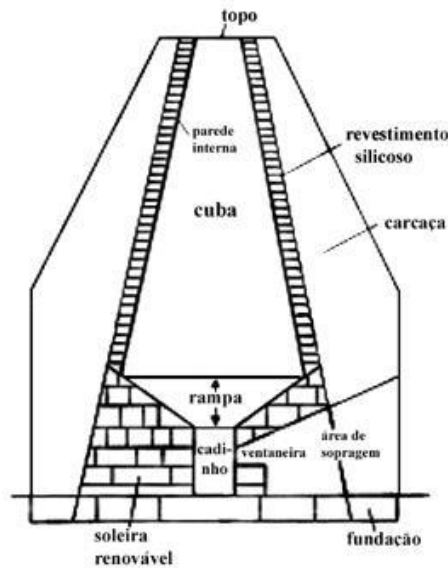


Fonte: MCGANNON (1971)

Com as disputas internas, invasões bárbaras, divisão entre ocidente e oriente, crise econômica, e crescimento do cristianismo, o Império Romano não suportou a pressão e teve a sua queda em 476 d.C. (BEZZERA, 2019), desta forma gerando uma grande redução na atividade de metalurgia no Oriente Médio e Europa, devido à baixa demanda do comércio regional; mas na Índia a metalurgia do ferro estava bem estabelecida, apresentando um pilar de ferro com 7 metros de altura datado no ano 300 d.C. que está presente no local até hoje, com aproximadamente 1700 anos de existência (MOURÃO e GENTILE, 2007).

Em cada região existiam processos de produção diferentes, surgindo diferentes tipos de fornos, como a forja Corsa, forja Catalã e o forno Osmund, novas tecnologias vinham aparecendo, porém, ainda consumiam uma quantidade excessiva de carvão mineral e produziam uma quantidade pequena de ferro, a eficiência desses fornos medievais ainda eram baixas. Devido à alta necessidade da fabricação de ferro fundido, principalmente para ser usado na fabricação de balas e canhões, visto que as regiões viviam em constantes guerras e a demanda de armas era bastante alta, o alto forno foi finalmente desenvolvido na Europa em 1450, chamado forno de Brescia. Esses processos medievais para alcançar o ferro eram enormes consumidores de carvão vegetal, e a fabricação do carvão vegetal é proveniente da carbonização da madeira, entretanto, a madeira era o material mais importante da época, tanto para construção de casas e navios, quanto para o uso industrial, desta forma começou a haver uma escassez de madeira para a fabricação de carvão, pois leis restritivas a seu uso foram editadas em localidades que já haviam grandes devastações, consequentemente acontecendo uma queda na atividade siderúrgica inglesa (MOURÃO e GENTILE, 2007).

Figura 2.3 - Forno de Brescia, o primeiro alto forno



Fonte: SINGER (1956)

No século XVII, alguns cervejeiros faziam experimentos para melhorar a qualidade de seus produtos, e nesta ocasião estava sendo utilizado o carvão mineral para secar o malte, entretanto, o enxofre presente no carvão alterou o gosto da cerveja, desta forma, queimaram o carvão e se livraram do enxofre, este carvão queimado foi chamado de coque, que viria a se transformar em um novo carvão combustível. Com a escassez de carvão vegetal, os fabricantes de ferro viram o coque como uma oportunidade para aumentar o ritmo de suas indústrias, e a primeira experiência de sucesso veio com Abraham Darby, em 1709 na Inglaterra. A utilização do coque como combustível elevou a tecnologia do ferro, disputando com a máquina a vapor o título de maior componente na Revolução Industrial europeia (GOUCHER e WALTON, 2011).

No decorrer do século XVIII, as ferramentas utilizadas para levar o ar até a parte interna do forno evoluíram bastante, os tubos que eram feitos de madeira foram substituídos por tubos de ferro, e principalmente, as rodas d'água que eram utilizadas para acionar os foles foram trocadas por motores a vapor, em decorrência disto, a produção média que era de 1 tonelada/dia, passou a ser 5 toneladas/dia. Futuramente, o ar injetado nos fornos passaria por um pré-aquecimento, graças a uma tecnologia fabricado por Neilson, em 1828 na Escócia, aumentando a produção dos altos fornos e diminuindo bastante o consumo de combustível (MOURÃO e GENTILE, 2007).

Nos Estados Unidos, William Kelly constatou que o carbono do ferro gusa poderia ser “queimado” com ar, com a reação oxigênio e carbono, desta forma diminuindo o teor de carbono até a conversão para aço, com isso houve um grande aumento na produção mundial de aço. De 1870 a 1900 a produção de aço aumentou quase 60 vezes, sendo utilizado na fabricação de ferrovias, navios e construção civil, surgindo a construção da Torre Eiffel em 1889 que é um marco na história. Simultaneamente, os Estados Unidos vinham se tornando o maior produtor de aço do mundo, com cerca de 180 toneladas/dia, destacando também o Japão, que passava por um processo de modernização na sua siderurgia (MOURÃO e GENTILE, 2007).

A produção de ferro no Brasil teve início só após a colonizações dos portugueses, quando Afonso Sardinha e seu filho encontraram ferro no momento em que estavam à procura de ouro em São Paulo, por volta de 1589. Como ambos já entendiam de mineração, construíram em 1591 uma forja que se tornou a primeira usina siderúrgica reconhecida no Brasil, representando o início da indústria de ferro. A indústria pai e filho não prosperou, e as atividades foram encerradas em 1628, conseqüentemente, a siderurgia brasileira ficou parada durante anos. Mesmo com as descobertas de reservas de minério de ferro de alta qualidade em várias regiões brasileiras, principalmente em Minas Gerais, e a abundância de florestas para a fabricação de carvão vegetal, a corte portuguesa freava a industrialização brasileira, tornando ilegal novas fábricas produtoras de ferro na colônia, focando apenas na exploração de minérios que vinham gerando lucros para Portugal.

Dom João VI assumindo o comando de Portugal em 1792, além de suspender a ordem que proibia a produção de ferro, estimulou a criação de fábricas e o processamento de ferro. Aproximadamente em 1813 foi construído o primeiro alto forno, que fabricava ferro fundido gusa líquido. A Primeira Guerra Mundial influenciou bastante na elevação da produção de ferro gusa, indo de 3 mil toneladas para 10 mil toneladas/ano, entretanto, os laminados de aço ainda eram importados, e a indústria brasileira ainda estava bastante atrasada. Em 1921 teve início da criação da Companhia Siderúrgica Mineira, se tornando a Belgo-Mineira posteriormente, mas foi na década de 30 que obteve grandes avanços com a inauguração da usina Monlevade, com potencial de fabricar 50 mil toneladas de aço por ano, além da criação da Companhia Siderúrgica de Barra Mansa e a Companhia Metalúrgica de Bárbara. Até 1939 haviam sido fundadas 25 empresas no ramo da siderurgia, empregando mais de 11 mil pessoas e produzindo 160 mil toneladas/ano de ferro gusa, 114 mil de aço e 100 mil de laminados.

A produção de laminados ainda era muito baixa para o consumo do mercado interno, sendo obrigados a importar cerca de 76% dos laminados utilizados. No dia 9 de julho de 1941 foi fundada a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), com um acordo diplomático entre Brasil e EUA, dispondo a atender as necessidades de desenvolvimento industrial brasileira e a demanda de aço dos aliados para a Segunda Guerra Mundial. Com a criação da CSN, a produção nacional de aço bruto alcançou 788 mil toneladas/ano, e na década de 70, conseguiu alcançar 5,5 milhões de toneladas/ano.

Atualmente o Brasil possui o maior parque industrial da América do Sul, sendo o maior produtor da América Latina, além de possuir cerca de 13% da reserva mundial do minério, o próprio possui um alto teor de ferro, com 62% enquanto a média mundial tem aproximadamente 51,6% (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2016), no ano de 2019 o Brasil foi 9º no ranking mundial de produção de aço, sendo responsável por 1,7% da produção mundial, nesse mesmo ano a construção civil brasileira consumiu aproximadamente 2,5 milhões de toneladas de aço, ficando entre os principais setores consumidores de produtos siderúrgicos do país (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2020).

2.2 A FABRICAÇÃO DO AÇO

O aço é uma liga ferro-carbono, que contém de 0,008% até 2,11% de carbono aproximadamente, além de outros elementos residuais, que são frutos do seu processo de fabricação (Chiaverini, 1996).

2.2.1 Processo de extração do minério de ferro

O ferro não é encontrado na forma metálica na crosta terrestre, apenas em sua forma oxidada e em minérios, esses minérios precisam ser extraídos do solo e tratados para a obtenção do ferro. O processo para a obtenção de ferro e aço a partir do minério consiste em sucintamente quatro etapas, são elas: extração do minério bruto, tratamento e beneficiamento, processamento do minério, extração e tratamento do minério bruto.

Na primeira etapa será necessário localizar uma região onde há abundância do minério e começar a recolhe-lo com ajuda de centenas de máquinas de trabalhadores, fazendo a extração de forma segura e tentar minimizar os danos que este processo causa a natureza.

2.2.2 Processo siderúrgico

Para a produção do aço existem dois caminhos como alternativas, as usinas integradas e as semi-integradas. Nas usinas integradas são feitos todos os processos para a produção do aço, desde a redução do minério nos altos-fornos até a laminação, já nas usinas semi-integradas, o processo se inicia na aciaria, não participando da preparação do minério e nem da redução.

2.2.2.1 Preparação dos materiais

Obtendo o minério bruto, o mesmo passará pela segunda etapa, que é o processo de beneficiamento, o beneficiamento tem as seguintes fases: britamento, classificação, moagem, concentração e aglomeração.

Na sua primeira fase, o minério é transportado através de correias para o britador primário, local onde será segmentado em partículas menores; a segunda fase é a classificação, onde os grãos serão divididos em três classes: granulado, sinter-feed, e pellet-feed. Os grãos classificados como granulados já estão aptos para serem utilizados no alto forno, sinter-feed e pellet-feed são grãos muito pequenos para serem utilizados na última etapa, desta forma, sendo necessário passarem pelo processo de aglomeração, que fará com que seu rendimento aumente.

O processo de aglomeração ocorre nas mineradoras e siderúrgicas, nas mineradoras os minérios de ferro pellet-feed são transformados em pelotas, e nas siderúrgicas o minério sinter-feed passa pelo processo de sinterização, dando origem às partículas sinter.

Os grãos classificados como granulados são grãos com diâmetro entre 6,3mm e 50mm; os grãos sinter-feed ficam entre 0,150mm e 6,3mm; e pellet-feed são os grãos com diâmetro inferior a 0,150m.

Figura 2.4 - Classificação dos grãos



Fonte: Companhia siderúrgica nacional (2020)

Dois tipos de combustíveis podem ser utilizados nos altos-fornos, o carvão vegetal que é obtido por meio da carbonização da madeira, que é o mais utilizado no Brasil, devido a riqueza em áreas florestais, e o carvão mineral que é formado através da matéria orgânica soterrada. Este carvão mineral ainda pode passar por um processo de beneficiamento, transformando-o em coque pelo processo de coqueificação.

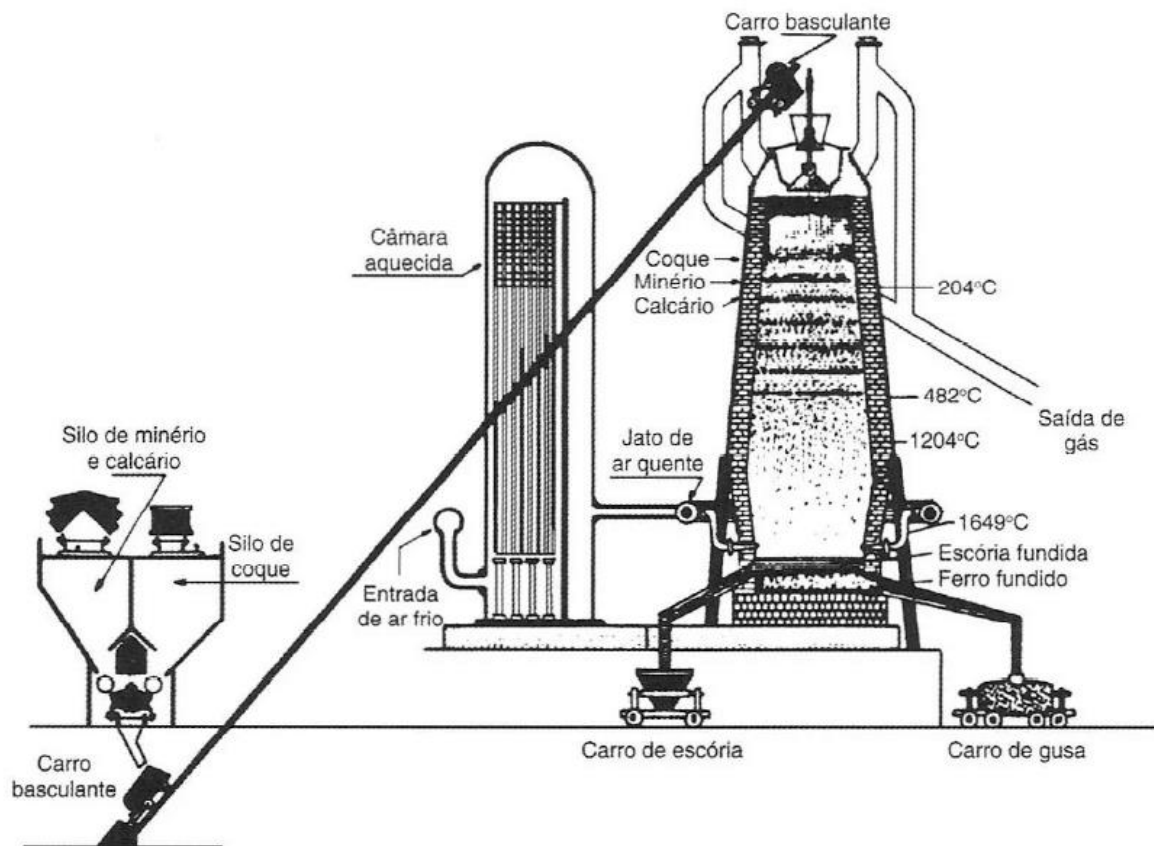
2.2.2.2 Redução do minério de ferro

É no alto forno que ocorre o processo de redução do minério de ferro, processo em que tem como função principal a retirada do oxigênio do óxido de ferro. Coloca-se no alto forno o minério de ferro que já passou pelo preparo adequado, o calcário, e o coque ou carvão vegetal.

A queima do carvão que é rico em carbono, do calcário e do minério de ferro, irá dar consequência a reações químicas que terão dois resultados importantes, são eles: a formação do ferro-gusa líquido, que é um ferro que contém cerca de 2% a 5% de carbono, e a escória, que é fruto das reações com as impurezas contidas no minério.

No alto forno, o ferro gusa e a escória saem por condutos separados, o ferro-gusa passará por etapas para a fabricação do aço, e a escória não necessariamente será descartada, pois pode ser utilizada na fabricação de cimento.

Figura 2.5 - Detalhes do alto forno



Fonte: PFEIL (2008)

2.2.2.3 Refino

A etapa do refino é necessária para a transformação do ferro-gusa líquido em aço nas aciarias, tendo seu teor de carbono diminuído a níveis desejados, para isso precisam passar por duas etapas, refino primário e secundário. No refino primário ocorre a injeção de oxigênio para fornecimento de energia química e ajuste da composição, além do calcário que também é injetado no ferro-gusa para formar a escória e remove-la (VILELA, 2008). O refino secundário irá acertar a composição química do aço e ajuste da temperatura.

2.2.2.4 Lingotamento

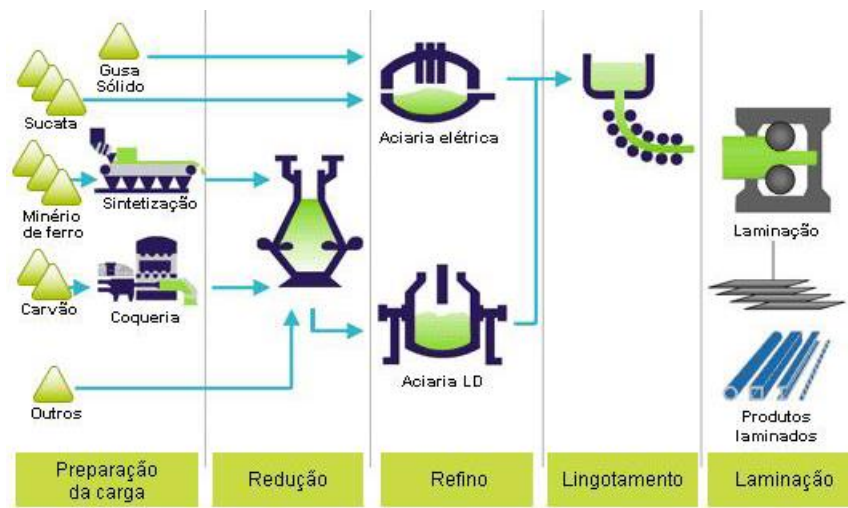
Nesta etapa, o aço já possui sua composição química desejada e irá ser solidificado, passando por uma conformação mecânica, a última etapa com o aço ainda líquido. Há dois tipos de lingotamento, o convencional e o contínuo; no lingotamento convencional o aço é vazado nas lingoteiras, local onde será resfriado até tomar a forma dos lingotes e depois passar por um

processo de aquecimento para posteriormente ir para a fase de laminação. No lingotamento contínuo o aço não será aquecido, da aciaria irá diretamente para a fase de laminação.

2.2.2.5 Laminação

A última etapa da fabricação do aço consiste em deformação mecânica para dar um formato ideal ao material, como barras laminadas circulares, quadradas, retangulares, chapas, perfis estruturais e etc. Este processo ocorre com a passagem do material entre cilindros que rotacionam na mesma velocidade, passando entre os cilindros, o material sofrerá deformação plástica, e desta forma adquirindo o formato exigido após várias passagens entre os cilindros. Este processo pode ser feito através de laminação a quente ou laminação a frio (MOURÃO, 2007).

Figura 2.6 - Etapas para a produção do aço



Fonte: Instituto Aço Brasil (2020)

2.2.3 Influência dos elementos de ligas nas propriedades mecânicas dos aços

As composições químicas presentes no aço são um dos principais fatores que interferem nas suas propriedades mecânicas, além do carbono, existem outros elementos químicos que podem contribuir ou prejudicar seu desempenho estrutural, dependendo da quantidade presente. Os principais elementos de liga e suas características, são:

- Carbono (C): A presença do carbono aumenta a resistência mecânica do aço, atuando principalmente no limite de resistência, porém, prejudica a ductilidade e a tenacidade.

- Manganês (Mn): Melhora a resistência mecânica, atuando no limite de escoamento e resistência à fadiga.
- Enxofre (S): Elemento que prejudica o aço, desfavorecendo a ductilidade e soldabilidade, além de diminuir a tenacidade.
- Fósforo (P): Assim como o enxofre, sua presença desfavorece a ductilidade e a soldabilidade, mas por outro lado, aumenta o limite de resistência e a dureza.
- Cobre (Cu): Aumenta a resistência à fadiga e reduz a ductilidade, soldabilidade e tenacidade.
- Níquel (Ni): O níquel reduz a soldabilidade, mas aumenta a resistência à corrosão, tenacidade e resistência mecânica.
- Cromo (Cr): Melhora o desempenho do aço a temperaturas elevadas, mas reduz a soldabilidade.
- Nióbio (Nb): Além de aumentar a resistência mecânica e soldabilidade, pode aumentar o limite de escoamento, mas também pode diminuir a ductilidade.
- Oxigênio (O): Torna o aço mais frágil, por isso, mais difícil de trabalhar.

2.3 AÇO ESTRUTURAL

Entre os materiais de construção, o aço ocupa uma posição prestigiada, dado que combina resistência mecânica, trabalhabilidade, disponibilidade e baixo custo em um único material (Chiaverini, 1996). Os aços estruturais são divididos em dois grupos, segundo a composição química: aços-carbono e aços de liga, e ambos podem receber tratamento térmico que modificam suas propriedades mecânicas (PFEIL, 2008).

2.3.1 Aços-carbono

Os aços-carbono são ligas de ferro carbono que contém de 0,008% até 2% de carbono, além de outros elementos de ligas utilizados para melhorarem sua composição. Esse tipo de aço é o aço estrutural mais utilizado e se distingue em relação ao teor de carbono presente na sua composição, então em três categorias: baixo carbono, médio carbono e alto carbono.

2.3.1.1 Aço de baixo carbono

São classificados como aço de baixo carbono aqueles que possuem teor de carbono inferior a 0,29% e tem como característica principal a sua alta ductilidade e facilidade para trabalho mecânico e soldagem.

2.3.1.2 Aço de médio carbono

Os aços de médio carbono são aqueles em que seu teor de carbono é superior a 0,30% e inferior a 0,59%, esse tipo de aço podem atingir uma boa tenacidade e resistência.

2.3.1.3 Aço de alto carbono

Teor de carbono superior a 0,6% e inferior a 2,0%. São aços que podem adquirir elevada dureza e resistência.

2.3.2 Aço liga

Os aços liga são aços-carbono, porém com a inserção de elementos de liga (cromo, manganês, molibdênio, níquel, fósforo, vanádio e zircônio), estes elementos de liga irão aumentar algumas de suas propriedades mecânicas. Esse tipo de aço é classificado em duas formas, aços de baixa liga e aços de alta liga. Os aços de baixa liga contém elementos de liga inferior a 8%, e os de alta liga contém acima de 8%.

2.4 AÇO PARA CONCRETO ARMADO

O aço e o concreto são bastante utilizados em conjuntos na construção civil pelo fato de seu trabalho solidário um com o outro, enquanto o concreto se comporta bem em relação a compressão o aço é um bom resistente à tração, além do coeficiente de dilatação térmica de ambos serem bem próximos, o aço não oxida com o ambiente alcalino no concreto. Os aços para concreto armado utilizados no Brasil são estabelecidos pela NBR 7480, e é um material com teor de carbono entre 0,4% e 0,6% aproximadamente. Esses aços são classificados como barras ou fios, as barras são obtidas exclusivamente por laminação a quente, e seu diâmetro varia entre 6,3mm e 40mm, os fios são obtidos por laminação a frio ou trefilação, e seu diâmetro pode variar entre 2,4mm e 10mm.

Para efeitos da NBR 7480, é estabelecido que se classifica como barra os produtos com diâmetro de 6,3mm ou superior e que seja obtido por laminação a quente; e se classifica

como fio aqueles com diâmetro de 10mm ou inferior e obtido a partir de fio-máquina por trefilação ou laminação a frio.

Além da classificação através da forma de laminação, os aços também são classificados de acordo com o valor característico da resistência de escoamento, resistência que tem ligação direta com a quantidade de carbono presente no material, essa classificação é feita pelas categorias CA-25, CA-50 e CA-60. As letras CA são referentes a Concreto Armado, e os números na sequência indicam a resistência característica do aço, que sinaliza o valor em que o aço irá escoar em kN/cm². As barras de aço estão na categoria CA-25 e CA-50, enquanto os fios estão na categoria CA-60.

O vergalhão da classe CA-25 é constituído por um aço mais flexível e desprovido de nervuras, ou seja, é uma barra lisa e que é menos utilizada na construção civil. O aço da classe CA-50 é o mais utilizado na construção civil, pelos motivos de ser obrigatoriamente provido de nervuras transversais oblíquas, e desta forma possuindo uma boa aderência com o concreto, além de ser um material dúctil e suportar alta concentração de carga. Os fios da categoria CA-60 podem ser lisos, entalhados ou nervurados, aqueles com diâmetro de 10mm deverão ser obrigatoriamente nervurados, é a categoria mais resistente e muito utilizada em estribos e telas. Na tabela 2.4.1 indicam-se as características das barras e fios, normatizados pela NBR-7480. A massa linear da barra ou do fio (kg/m) é obtido através do produto da área da seção nominal (m²) pela massa específica do aço, que é 7850kg/m³.

Tabela 2.1 - Características das barras e fios de acordo com a NBR-7480

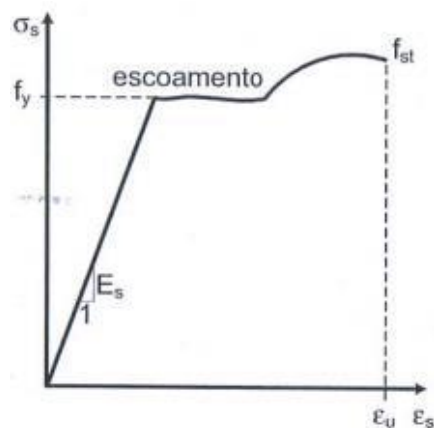
FIOS	BARRAS	DIÂMETRO NOMINAL (mm)	ÁREA DA SEÇÃO (cm ²)	MASSA LINEAR (kg/m)	PERÍMETRO (cm)
2,4	-	2,4	0,045	0,036	0,75
3,4	-	3,4	0,091	0,071	1,07
3,8	-	3,8	0,113	0,089	1,19
4,2	-	4,2	0,139	0,109	1,32
4,6	-	4,6	0,166	0,130	1,45
5	-	5,0	0,196	0,154	1,75
5,5	-	5,5	0,238	0,187	1,73
6	-	6,0	0,283	0,222	1,88
-	6,3	-	0,312	0,245	1,98
6,4	-	6,4	0,322	0,253	2,01
7	-	7,0	0,385	0,302	2,20
8	8,0	8,0	0,503	0,395	2,51
9,5	-	9,5	0,709	0,558	2,98
10	10	10,0	0,785	0,617	3,14
-	12,5	12,5	1,227	0,963	3,93
-	16	16,0	2,011	1,578	5,03

-	20	20,0	3,142	2,466	6,28
-	22	22,0	3,801	2,984	6,91
-	25	25,0	4,909	3,853	7,85
-	32	32,0	8,042	6,313	10,05
-	40	40,0	12,566	9,865	12,57

Fonte: ARAÚJO (2010)

Através de um ensaio de tração simples em aços obtidos exclusivamente por laminação a quente, é possível observar um diagrama tensão-deformação dos aços, este diagrama irá apresentar o exato momento em que o aço deixou de se deformar de forma elástica e começou a se deformar de forma plástica, além do exato momento em que houve a ruptura do material, indicando as forças necessárias para ocorrer estas transições, que são conhecidas como escoamento e ruptura respectivamente. Observe na figura 2.4.1. que estes tipos de aço possuem um patamar de escoamento, indicado pelo diagrama.

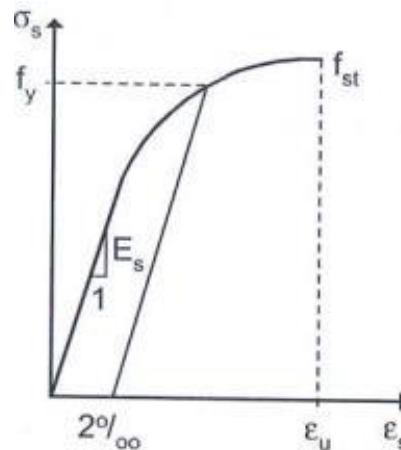
Figura 2.7 - Diagrama tensão-deformação de aços laminados a quente



Fonte: ARAÚJO (2010)

Já os fios obtidos por trefilação, não possuem um patamar de escoamento definido, assim como os aços obtidos por trefilação a quente, eles escoam e rompem, mas a sua transição da deformação elástica para plástica depende da deformação permanente do material. Neste tipo de aço, a tensão de escoamento do aço será exatamente a tensão que faz com que o material se deforme permanente por 0,02%. Observe na figura 2.4.2 o diagrama tensão deformação dos aços trefilados.

Figura 2.8 - Diagrama tensão-deformação de aços trefilados



Fonte: ARAÚJO (2010)

2.4.1 Propriedades do aço CA50

O aço é um material que pode obedecer a funções estruturais variadas, e para obter êxito em cada função é necessário adquirir propriedades adequadas no momento de sua fabricação. O aço para concreto armado exige alguns requisitos em suas propriedades, sendo as principais: ductilidade, soldabilidade, resistência a corrosão, configuração geométrica, limite de resistência e resistência característica de escoamento.

2.4.1.1 Ductilidade

Capacidade do material se deformar sob ações de cargas. Quando sujeitos a tensões locais elevadas, sofrem deformações plásticas capazes de redistribuir as tensões. Com uma ductilidade ideal, o aço sofre grandes deformações antes de seu rompimento, desta forma, havendo um aviso prévio da ruptura.

2.4.1.2 Soldabilidade

Facilidade que o metal tem de se unir com outro, por meio de soldagem, sem alterar suas propriedades mecânicas. É bem comum a soldagem entre vergalhões nas construções civis, já que seu comprimento máximo encontrado no mercado é de 12 metros em exigências da NBR7480, e para aumentar o seu tamanho é bem comum soldar mais de uma peça.

2.4.1.3 Corrosão

A corrosão é denominada como um processo de reação do aço com alguns elementos presentes no ambiente. Este tipo de reação diminui a vida útil do aço, necessitando ser sempre evitada.

2.4.1.4 Configuração geométrica

As configurações geométricas para barra de CA-50 são importantes para melhorar a aderência entre o aço e concreto, e impedir o giro da barra dentro do concreto. De acordo com a NBR7480 também é necessário marcas de laminação em relevo nessas barras, constando nome e/ou marca do produtor, diâmetro e categoria do material.

2.4.1.5 Resistência característica de escoamento

A resistência característica de escoamento já consta no nome do aço para concreto armado, o aço CA-50 possui uma resistência de escoamento de 500MPa que equivale 50kN/cm². O escoamento do aço é definido como a passagem da deformação elástica para a deformação plástica, o aço deformado elasticamente pode voltar ao seu formato original após a retirada da carga, a deformação plástica é permanente e não permitida nas estruturas.

2.4.1.6 Limite de resistência

Este é o limite em que o aço irá romper, e mencionado na NBR7480. O aço CA-50 deve ter seu limite de resistência 8% superior ao seu limite de escoamento, como seu limite de escoamento é de 500MPa, consequentemente seu limite de resistência mínimo é de 540MPa.

CAPÍTULO 3 METODOLOGIA

A fim de satisfazer os objetivos propostos neste trabalho, serão realizados ensaios de tração em barras de aço CA 50 de algumas marcas usuais nas obras da cidade de Jataí-GO. Os ensaios irão seguir as normativas da NBR ISO 6892-1 - Materiais metálicos – Método de ensaio de tração à temperatura ambiente, que tem por fundamento atingir resultados favoráveis expostos na NBR 7480 – Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado - Especificações.

Os corpos-de-prova de aço para concreto armado que serão utilizados nestes ensaios de caracterização física, são fabricados pelas siderúrgicas CSN, ArcelorMittal e Gerdau, marcas bastante encontradas nas construções civis da região. Além das marcas, os ensaios contarão com uma variação nos diâmetros dos vergalhões, sendo eles de 8mm, 10mm e 12,5mm, valores bem comuns nos dimensionamentos de estruturas de concreto armado.

Os vergalhões que serão ensaiados foram adquiridos em distribuidoras de aço da cidade de Jataí-GO, todas as barras contêm marcas em alto relevo indicando a marca do produtor, diâmetro nominal e categoria do material conforme a figura 3.1 e 3.2.

Figura 3.1 - Barra CSN com marca e categoria do material em alto relevo



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Figura 3.2 - Barra CSN com diâmetro nominal de 10mm exposto em alto relevo



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

São totalizados 27 corpos-de-prova para a realização dos ensaios, esses ensaios de tração irão ocorrer no Laboratório de Engenharia Civil do Instituto Federal de Goiás, campus Jataí, instruído por um técnico competente a manusear a prensa de tração e assistida pelo aluno. No momento dos ensaios, todas as normas de utilização do laboratório serão empegadas, assim como a norma para a realização do ensaio de tração em barras de aço.

3.1 VERIFICAÇÃO DE IMPERFEIÇÕES

Antes dos ensaios serem realizados, é necessário verificar se os corpos-de-prova apresentam algum defeito ou mais, para que desta forma seja possível verificar se o defeito apresentado tem alguma relação com os resultados encontrados a partir dos ensaios.

O item 4.3 da NBR 7480 salienta os defeitos toleráveis e intoleráveis nas barras e fios, após analisar este item será feito averiguações nos corpos-de-prova para relatar os possíveis defeitos, este item da norma destaca como principais defeitos nas barras, as manchas de óleo, esfoliação, corrosão, redução de seção, fissuras transversais e oxidação.

Com uma breve análise, já pôde ser observado que todos os três diâmetros da marca Gerdau possuem marcas de oxidação, com destaque a barra de 10mm que possui um nível de oxidação

maior que as demais, como pode ser observado na figura 3.3, diante disto, foi realizada a retirada da oxidação superficial de todas as barras com auxílio de uma escova de aço carbono ilustrada na figura 3.4. Feita a escovação, será possível fazer uma melhor análise dos defeitos das barras Gerdau, podendo observar nas figuras 3.5 e 3.6 o antes e depois da escovação.

Não foi apresentada manchas de óleo em nenhum vergalhão, a verificação destes possíveis danos físicos fora analisada a olho nu e posteriormente com ajuda de uma lupa de mão para maior precisão.

Figura 3.3 - Marcas de oxidação em barras Gerdau



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Figura 3.4 - Escova de aço carbono



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Figura 3.5 - Barra Gerdau 10mm com marcas de oxidação



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Figura 3.6 - Barra Gerdau 10mm após escovação



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Com as barras bem escovadas, é possível perceber que se tratava de uma oxidação superficial, que não comprometem sua conformação geométrica, desta forma não contrariando o item 4.3 da NBR 7480. Todos os defeitos que forem encontrados serão relatados em uma planilha, com uma distinção de cada marca, diâmetro e número do corpo-de-prova.

3.2 CARACTERÍSTICAS DAS BARRAS

De acordo com a NBR7480, a massa (M) real das barras de aço expressa em kg deve ser igual à sua massa linear nominal (ρ) expressa em kg/m, com algumas pequenas tolerâncias no cálculo. A massa linear nominal é o valor que representa a massa por unidade de comprimento (m) da barra por um diâmetro ($\emptyset$) específico, a tabela 3.1 esclarece a massa e tolerância por unidade de comprimento de cada diâmetro.

Tabela 3.1 - Tabela B.1 da NBR 7480

Diâmetro nominal ^a (mm)	Massa e tolerância por unidade de comprimento		Valores nominais	
Barras	Massa nominal ^b (kg/m)	Máxima variação permitida para massa nominal	Área da seção (mm ²)	Perímetro (mm)
6,3	0,245	± 7%	31,2	19,8
8,0	0,395	± 7%	50,3	25,1
10,0	0,617	± 6%	78,5	31,4
12,5	0,963	± 6%	122,7	39,3
16,0	1,578	± 5%	201,1	50,3
20,0	2,466	± 5%	314,2	62,8
22,0	2,984	± 4%	380,1	69,1
25,0	3,853	± 4%	490,9	78,5
32,0	6,313	± 4%	804,2	100,5
40,0	9,865	± 4%	1256,6	125,7
^a Outros diâmetros nominais podem ser fornecidos a pedido do comprador, mantendo-se as faixas de tolerância dos diâmetros mais próximos ^b A densidade linear de massa (em quilogramas por metro) é obtida pelo produto da área da seção nominal e metros quadrados por 7 850kg/m ³ .				

Fonte: NBR 7480 – AÇO DESTINADO A ARMADURAS PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO (2007)

A massa linear nominal é calculada através da equação 3.1.

Equação 3.1

$$\rho \text{ (kg/m)} = A \text{ (m}^2\text{)} \cdot \alpha \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

O valor de α representa a densidade do aço, que é expresso por um valor fixo de 7850 kg/m³. Conhecendo o valor de α , é necessário apenas o valor da área efetiva do vergalhão para obter a massa linear nominal do mesmo. Os diâmetros que são expressos na NBR 7480 e que consequentemente também são expressos em alto relevo nos vergalhões, como foi mostrado na figura 3.2, representam o diâmetro nominal do vergalhão, que é um valor próximo do diâmetro efetivo da barra, logo, para obter o resultado exato da massa linear nominal (equação 3.1) é necessário calcular a área e diâmetro efetivo da barra de aço.

3.2.1 Cálculo da área e diâmetro efetivo

Para encontrar a área efetiva é necessário primeiramente descobrir a massa linear nominal, como indica a equação 3.1, entretanto, nesta equação existem duas incógnitas, área e massa linear nominal, desta forma, é utilizado a equação 3.2 para solucionar o problema.

Equação 3.2

$$\rho \text{ (kg/m)} = \frac{m \text{ (kg)}}{l_o \text{ (m)}}$$

Pela equação 3.2, a massa linear nominal é a razão entre a massa (kg) do vergalhão pelo comprimento inicial (m), com uma balança de precisão e uma fita métrica, é possível encontrar estes dois valores e podendo assim descobrir o valor de ρ .

Por fim, voltando na equação 3.1 e possuindo o valor da massa linear (ρ) do vergalhão e da densidade do aço (α), é exequível encontrar a área efetiva (A) do mesmo.

Já com a área efetiva (A) identificada, pode-se utilizar a equação 3.3 para descobrir o diâmetro ($\emptyset$) efetivo do vergalhão.

Equação 3.3

$$\emptyset = \sqrt[2]{\frac{4A}{\pi}}$$

3.2.2 Configuração geométrica de barras nervuradas

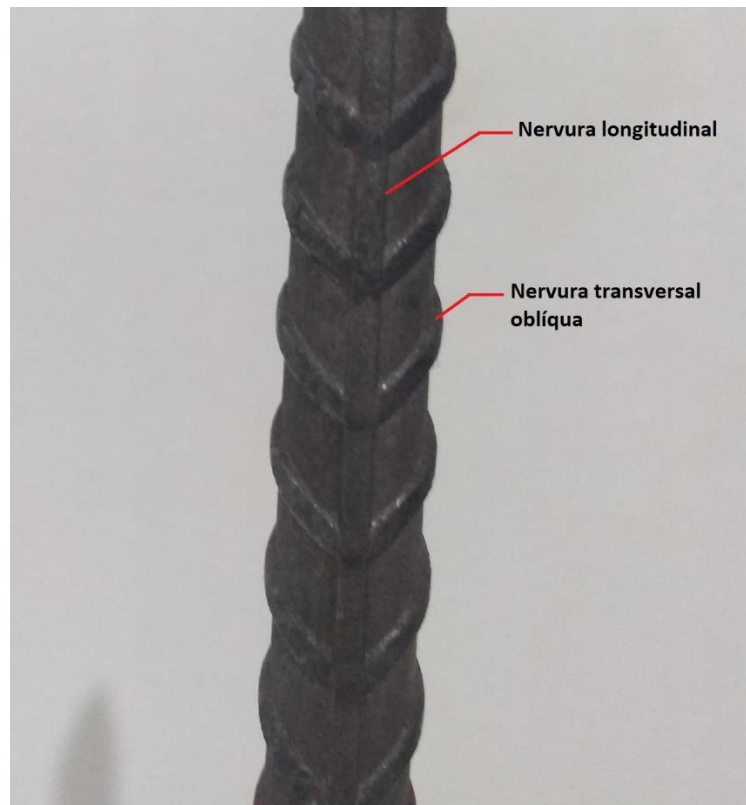
O item 4.2.1 da NBR 7480 cita as exigências que as nervuras das barras CA-50 precisam obedecer. Antes de realizar os ensaios, todas as barras passaram por verificações para averiguar se as mesmas obedecem a este item da norma. Por falta de equipamento necessário, não foi viável verificar o item 4.2.1.2, o que se diz respeito sobre o ângulo das nervuras transversais da barra, embora este tenha ficado em falta, todos os outros itens foram averiguados.

O item 4.2.1.1 afirma que todas as barras da categoria CA-50 devem ser obrigatoriamente providas de nervuras transversais oblíquas. A olho nu é possível verificar e constatar que todos os corpos de prova adquiridos estão de acordo com o item. Na figura 3.7 é possível visualizar as características dessas nervuras que são exigidas em todas as barras.

O item 4.2.1.2 menciona que os eixos dessas nervuras transversais oblíquas devem formar, com a direção da barra, um ângulo entre 45° e 75° . Na figura 3.9 é possível visualizar detalhadamente esse ângulo que a nervura deve formar, mas como foi dito anteriormente, não foi possível verificar estes ângulos, portanto este item ficou indefinido.

O item 4.2.1.3 diz respeito sobre as nervuras longitudinais, que devem ser contínuas e diametralmente opostas. A olho nu também é possível verificar a presença dessas nervuras, e todas as barras constaram tal característica. A figura 3.7 esclarece como estas nervuras ficam posicionadas no vergalhão.

Figura 3.7 - Exibição nervura longitudinal e nervuras transversais oblíquas



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

O item 4.2.1.4 discorre sobre a altura mínima das nervuras transversais oblíquas. Barras com diâmetro nominal maiores ou igual a 10mm, a altura das nervuras deve ser igual ou superior a 4% do seu diâmetro nominal. Barras com diâmetro nominal inferior a 10mm, a altura deve ser igual ou superior a 2% do seu diâmetro nominal. Esse requisito foi verificado com a ajuda de um paquímetro digital, como exibe a figura 3.8, onde é possível medir o diâmetro da barra com as nervuras e posteriormente sem as nervuras, desta forma obtendo a diferença e adquirindo a

altura de duas nervuras, em seguida obtém a média e é encontrado a altura de uma só nervura. Estes resultados serão organizados em planilhas e expostos em forma de gráficos mais adiante.

Figura 3.8 - Paquímetro digital



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Para maior clareza de como foi encontrado a altura média de uma nervura do vergalhão, segue a equação 3.4.

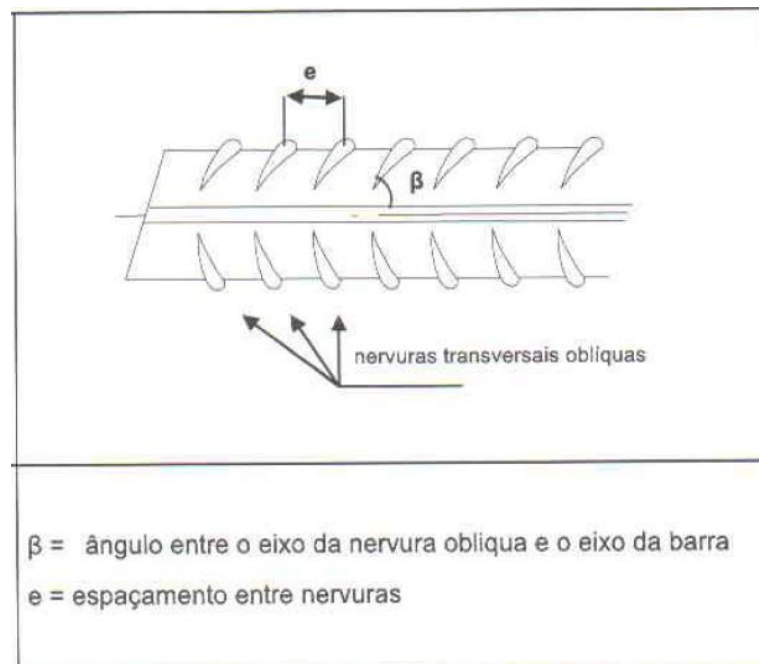
Equação 3.4 - Altura das nervuras transversais oblíquas

$$h = \frac{x - y}{2}$$

Onde a altura da nervura (h) é igual ao diâmetro da barra com duas nervuras, subtraído pelo diâmetro da barra sem nervuras, dividido por dois.

O item 4.2.1.5 determina que os espaçamentos médios das nervuras transversais oblíquas, medido ao longo de uma mesma geratriz, deve estar entre 50% e 80% do seu diâmetro nominal. A figura 3.9 também mostra o detalhe deste espaçamento, como pode observar, o espaçamento entre nervuras é considerado de uma crista a outra.

Figura 3.9 - Detalhes nervuras transversais oblíquas e nervuras longitudinais



Fonte: NBR 7480 – AÇO DESTINADO A ARMADURAS PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO (2007)

O item 4.2.1.6 diz respeito também sobre as nervuras transversais oblíquas, na qual a projeção delas na seção transversal da barra deve abranger no mínimo 85% do perímetro nominal do vergalhão. Diferentemente de como mostra a figura 3.9, e igualmente como exhibe a figura 3.7, as nervuras transversais oblíquas de todos os corpos de prova encostam nas nervuras longitudinais, então para obter o valor que ocupa no perímetro, basta subtrair a largura das duas nervuras longitudinais que existem na barra. Desta forma é possível perceber que a largura das nervuras longitudinais deve possuir um valor máximo, este valor não é ditado na norma, mas caso a largura seja muito grande, a projeção das nervuras não atingirá os 85% do perímetro nominal exigido na norma.

3.3 ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio será baseado na NBR ISO 6892-1, com auxílio da NBR 7480. O modelo da prensa utilizada é a EMIC GR048, com capacidade máxima de 300kN, como mostram as figuras 3.10 e 3.11. Serão utilizados os seguintes materiais e equipamentos para auxiliar neste ensaio:

- a) 27 corpos-de-prova identificados
- b) Balança de precisão

- c) Calculadora científica
- d) Escalímetro 30cm
- e) Etiquetas adesivas de papel
- f) Giz branco
- g) Lixadeira profissional
- h) Luvas de algodão
- i) Máquina para ensaios mecânicos de tração (EMIC GR048)
- j) Óculos de segurança
- k) Paquímetro digital
- l) Pincel atômico preto
- m) Trena metálica 5 metros

Figura 3.10 - Especificações da prensa de tração



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Figura 3.11 - Prensa de tração



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Para melhores resultados, os corpos-de-prova serão cortados em tamanhos específicos apontados na norma. A NBR 7480 impõe que o comprimento de medida inicial (L_0) do corpo-de-prova é dependente do seu diâmetro, este comprimento será 10 vezes o valor do diâmetro do vergalhão que será ensaiado.

O valor de L_0 será marcado com giz branco em cada vergalhão, e o comprimento livre entre as garras da prensa deve ser suficiente para que essas marcações do comprimento de medida inicial estejam a uma distância razoável das garras, não havendo uma distância específica.

A figura 3.12 exhibe como ficou a marcação dos corpos de prova da marca Gerdau de 10mm, as garras da prensa são posicionadas nas duas marcas de giz, e a distância entre elas é dada como L_0 .

Figura 3.12 - Barras Gerdau 12,5mm com marcação de giz



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Após a conclusão dos ensaios, serão feitos relatórios e gráficos com base nos resultados obtidos que são fornecidos pelo software Tesq versão 3.04, que está interligado com prensa de tração, podendo verificar se os vergalhões CA-50 destas marcas são compatíveis com a norma e quais as semelhanças e dessemelhanças do desempenho mecânico entre si, além de obter a deformação mecânica de cada barra.

3.3.1 Resultados esperados

Levando em consideração o controle de qualidade nas indústrias, a qualidade dos materiais devido a constante progressão das tecnologias utilizadas e por se tratar de marcas que são referências no mercado nacional, espera-se que os resultados dos ensaios de tração em todos os corpos-de-prova superem as exigências da NBR 7480. Entre os defeitos encontrados nos vergalhões, não surgiu nenhum grave que possa influenciar negativamente nos resultados finais, desta forma é esperado resultados positivos.

3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

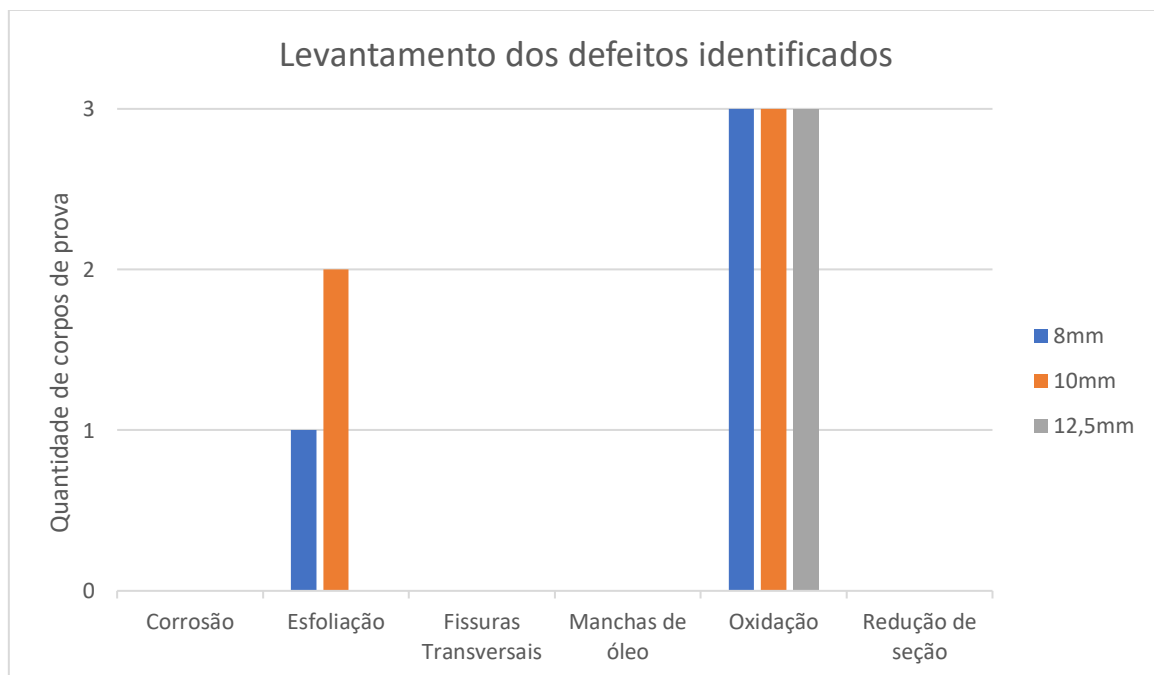
Para maior facilidade de entendimento das análises, os resultados foram organizados em planilhas e posteriormente em forma de gráficos, podendo assim ser facilmente de serem comparados. Os levantamentos foram feitos com base nas análises de todos os corpos de prova utilizados nos ensaios. Para identificar determinado corpo de prova para possível análise, é necessário tomar conhecimento da sua marca, diâmetro e numeração.

3.4.1 Defeitos

Os defeitos listados são os presentes no item 4.3 da NBR 7480, o item aponta que todas as barras devem ser isentas desses defeitos, com exceção da oxidação superficial que pode ser retirada sem comprometer o comportamento mecânico do aço. Em caso de aparição dos demais defeitos, o material deve ser submetido a ensaios para a comprovação de suas propriedades. Com a realização de ensaios será possível observar se os defeitos encontrados comprometeram a resistência mecânica característica do aço.

3.4.1.1 ArcelorMittal

Gráfico 1 - Levantamento dos defeitos identificados nas barras ArcelorMittal

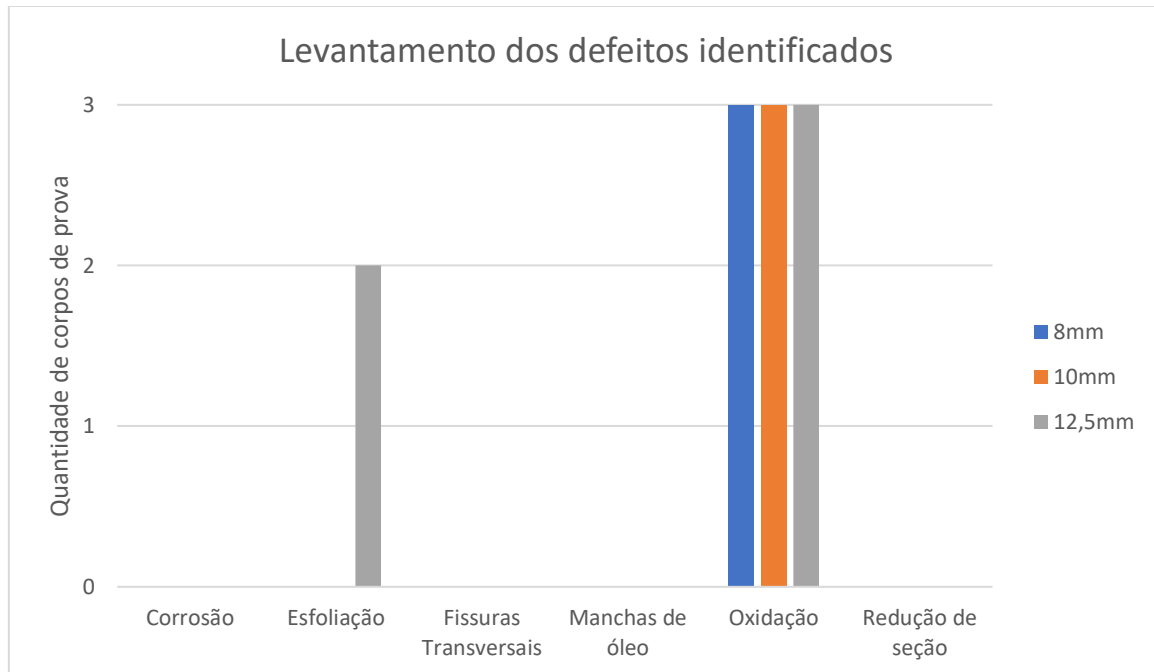


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

A partir do gráfico 1 é possível constatar que os nove corpos de prova da marca ArcelorMittal apresentaram oxidação superficial, enquanto a esfoliação apareceu em uma amostra de 8mm e em duas de 10mm. Outros defeitos como corrosão, fissuras transversais, manchas de óleo e redução de seção, não foram identificados, podendo ser visto como um sinal positivo, já que segundo a NBR 7480 esses defeitos são prejudiciais a barra.

3.4.1.2 CSN

Gráfico 2 - Levantamento dos defeitos identificados nas barras CSN

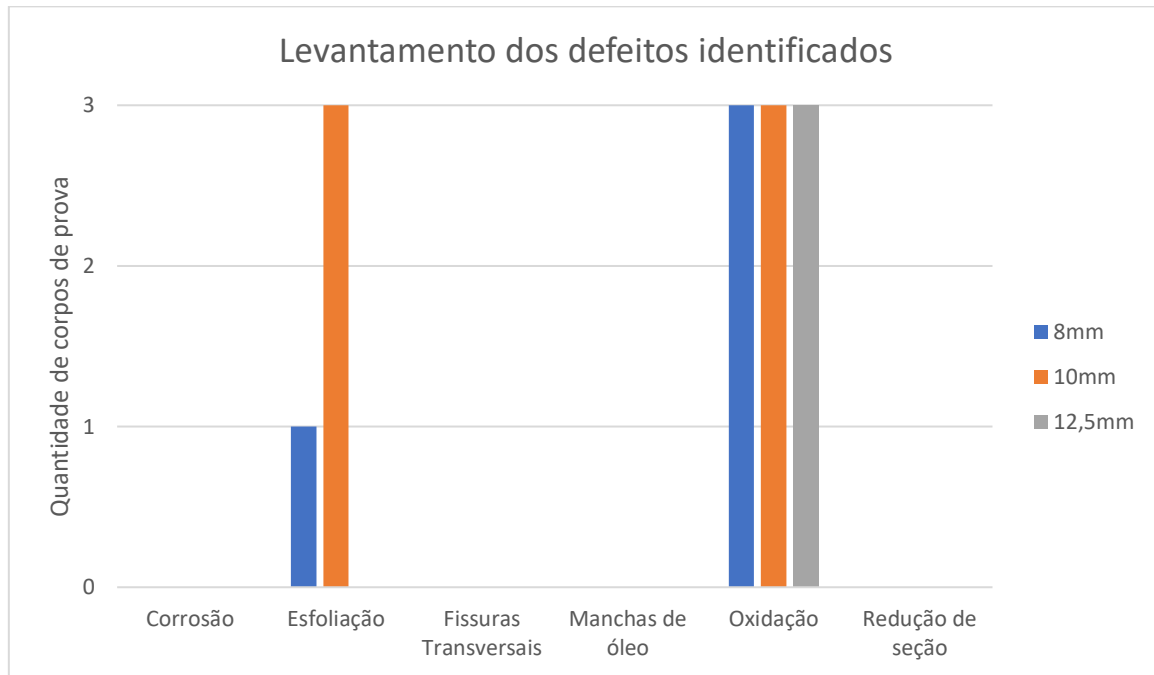


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Observa-se que o gráfico 2 também esboça oxidação superficial em todas as barras, mas agora nos corpos de prova da marca CSN, que também foi apresentado esfoliação em duas das três amostras de 12,5mm, e não apresentou nenhum outro defeito nas demais barras.

3.4.1.3 Gerdau

Gráfico 3 - Levantamento dos defeitos identificados nas barras Gerdau

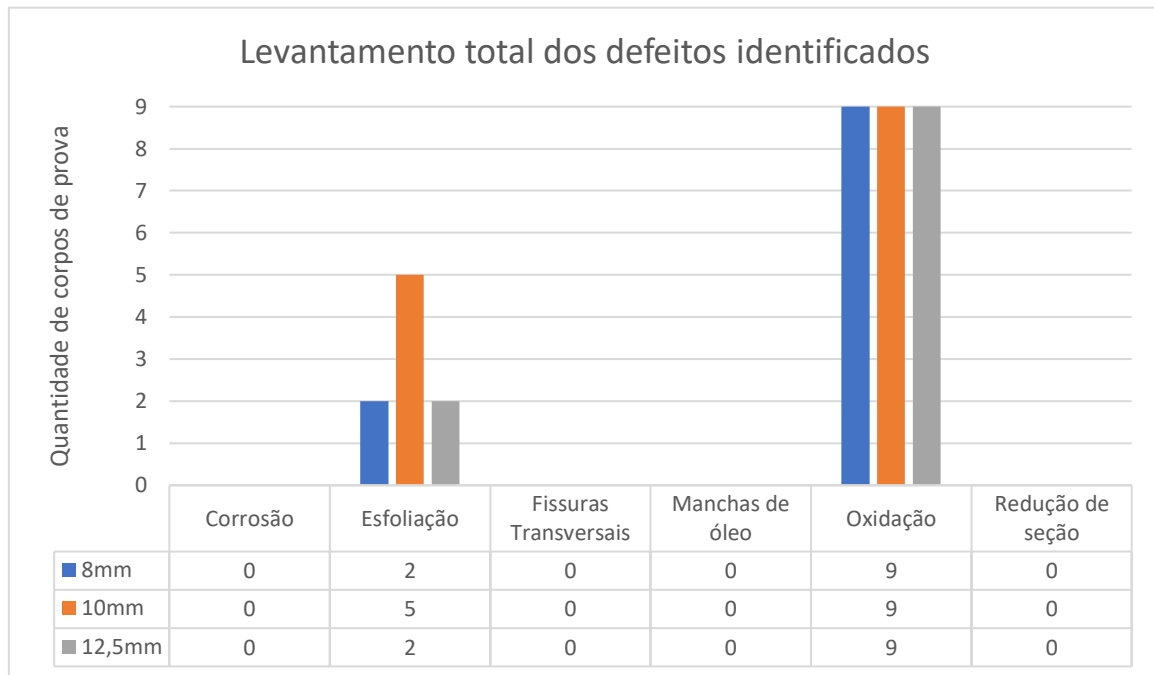


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Nota-se que nas barras Gerdau a oxidação também apareceu em todas as amostras, podendo perceber que este defeito está presente em todos os corpos de prova que serão ensaiados, mas que de acordo com a NBR 7480, não prejudica a barra por se tratar de uma oxidação superficial, que após a sua retirada com a utilização de escova de aço carbono, não foi notado presença de corrosão. A esfoliação ou escama, desta vez apareceu em uma barra de 8mm e nas três de 10mm, e nenhum outro defeito foi encontrado.

3.4.1.4 Quantidade total de defeitos encontrados

Gráfico 4 - Levantamento total dos defeitos identificados



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

A partir do gráfico 4, é possível perceber que os 27 corpos de prova apresentaram oxidação superficial. A oxidação, por sua vez dificulta analisar se o vergalhão apresenta outros tipos de defeitos, por mais que não comprometa a conformação geométrica do aço, é mais adequado evitar ao máximo possível a oxidação do mesmo, tomando os devidos cuidados no armazenamento e transporte, para ter o mínimo de contato com intempéries. O contato excessivo do aço com intempéries pode deixar de ter uma oxidação superficial e passar a corroer o material, desta forma perdendo suas propriedades mecânicas.

A esfoliação esteve presente em 1/3 dos corpos de prova analisados, é um tipo de defeito que tem como origem no momento da fabricação do aço, que já está presente nos tarugos que vem das aciarias, a esfoliação ocorre por conta de óxidos que se formam e ficam presentes na superfície da barra, e desta forma se torna visível a não conformidade da barra. Este defeito não é permitido no item 4.3 da NBR 7480, e será possível constatar se esses corpos de prova com esfoliação terão desempenho inferior aos demais, ao serem direcionados ao ensaio de tração.

A tabela 3.2 especifica quais corpos de prova apresentaram defeitos, sendo possível identificá-los a partir do conjunto: diâmetro, marca e numeração.

Tabela 3.2 – Especificação dos corpos de prova defeituosos

Diâmetro	Marcas enumeradas	Defeitos					
		Corrosão	Esfoliação	Fissuras transversais	Manchas de óleo	Oxidação	Redução de seção
8mm	ArcelorMittal 1		x			x	
	ArcelorMittal 2					x	
	ArcelorMittal 3					x	
10mm	ArcelorMittal 1		x			x	
	ArcelorMittal 2					x	
	ArcelorMittal 3		x			x	
12,5mm	ArcelorMittal 1					x	
	ArcelorMittal 2					x	
	ArcelorMittal 3					x	
8mm	Gerdau 1					x	
	Gerdau 2		x			x	
	Gerdau 3					x	
10mm	Gerdau 1		x			x	
	Gerdau 2		x			x	
	Gerdau 3		x			x	
12,5mm	Gerdau 1					x	
	Gerdau 2					x	
	Gerdau 3					x	
8mm	CSN 1					x	
	CSN 2					x	
	CSN 3					x	
10mm	CSN 1					x	
	CSN 2					x	
	CSN 3					x	
12,5mm	CSN 1		x			x	
	CSN 2		x			x	
	CSN 3					x	

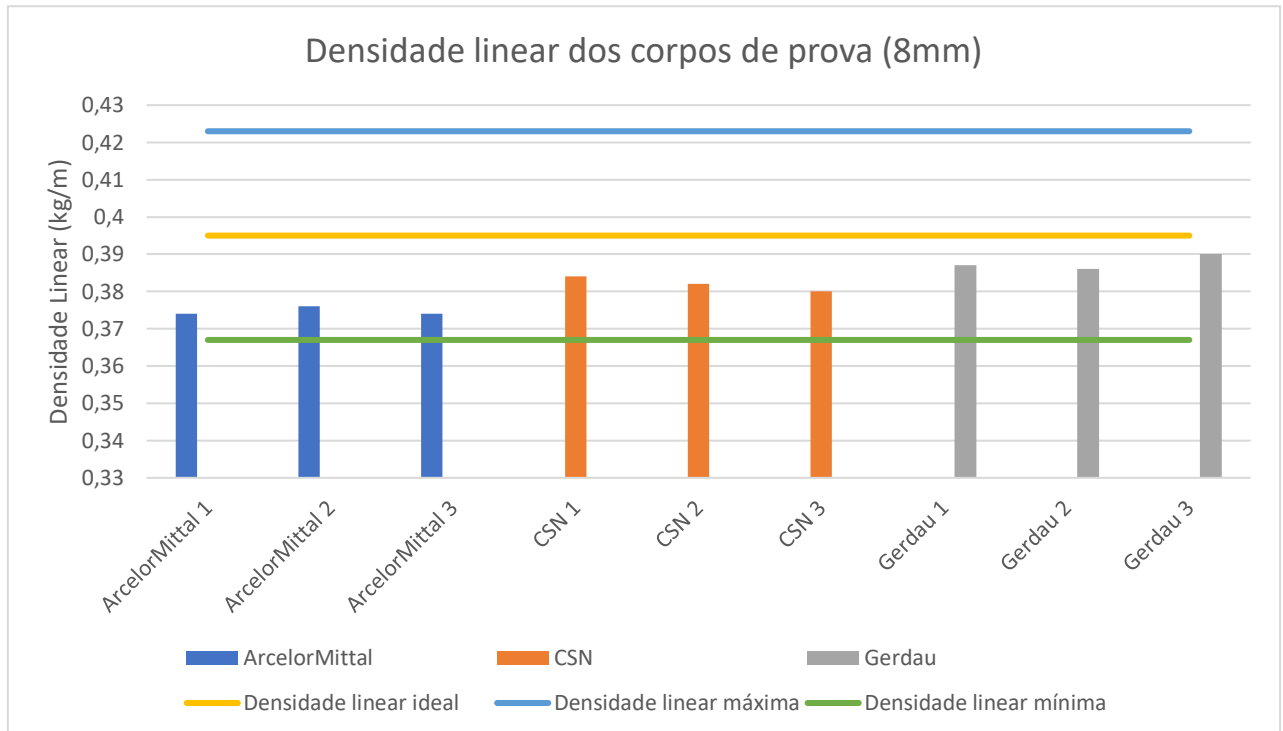
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

3.4.2 Densidade linear

A densidade linear é a razão entre uma grandeza de massa e um comprimento de linha, ou seja, a densidade linear ou massa nominal de cada corpo de prova, será a razão da sua massa pelo seu comprimento. Na tabela 3.1 foi possível analisar a densidade linear que cada vergalhão deve ter, sendo que os valores variam de acordo com o diâmetro da barra, e possível também notar qual a máxima variação da densidade linear os vergalhões podem ter, ou seja, a tolerância que a norma permite. Para tal investigação, os corpos de prova foram pesados e mensurados, e os seus resultados foram expostos em uma planilha para melhor organização. A partir de gráficos

será possível analisar os resultados encontrados, e se a densidade linear de cada corpo de prova está de acordo com os requisitos da tabela 3.1 retirada da NBR 7480.

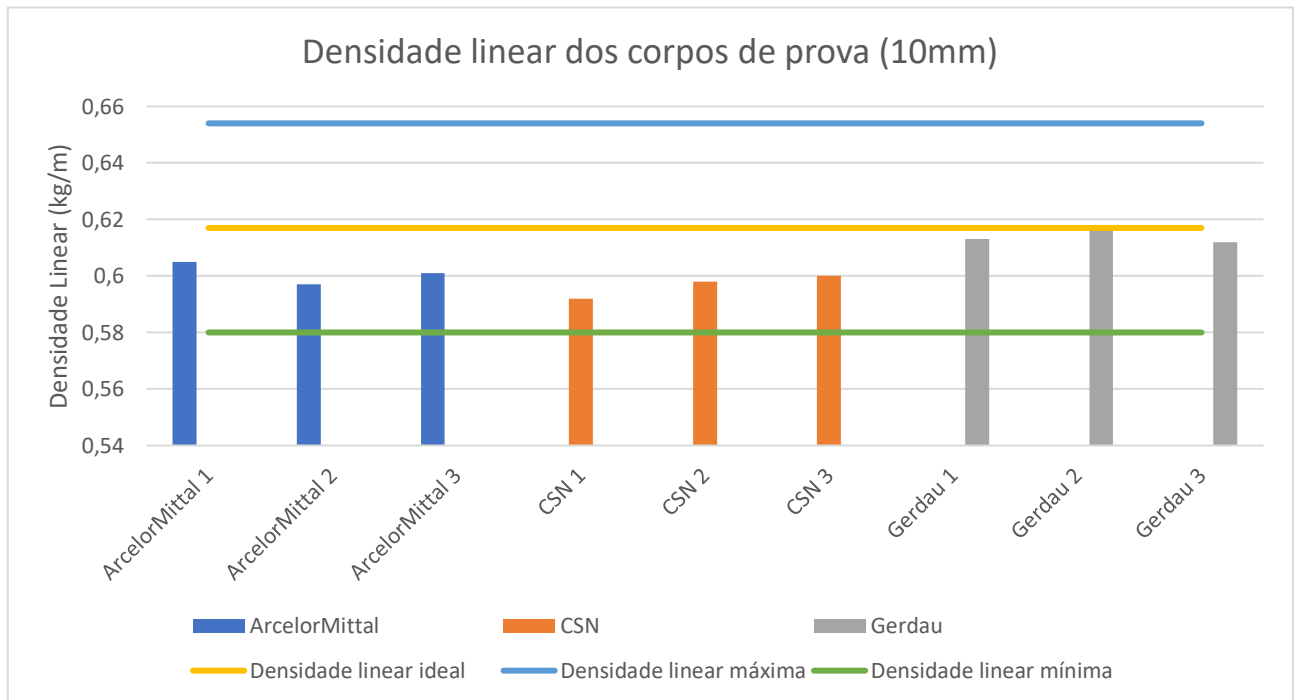
Gráfico 5 - Densidade linear dos corpos de prova de 8mm



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

A densidade linear ou massa específica dos corpos de prova de 8mm, podem ter uma variação de no máximo 7% em relação a densidade linear ideal exposto na norma. Com base no gráfico 5, é possível observar que os resultados da densidade linear dos corpos de prova de 8mm variaram bastante, mas todos ficaram entre as linhas verde e azul, que é o que delimita a variação máxima de 7%, tanto para baixo quanto para cima, desta forma estão todos de acordo com o requisito exigido na norma. Nos vergalhões de 8mm, a marca Gerdau obteve resultados melhores que as demais, as densidades lineares dos seus corpos de prova ficaram mais próximas do valor ideal, que é 0,395kg/m, com destaque a barra 3 que obteve o valor de 0,390kg/m.

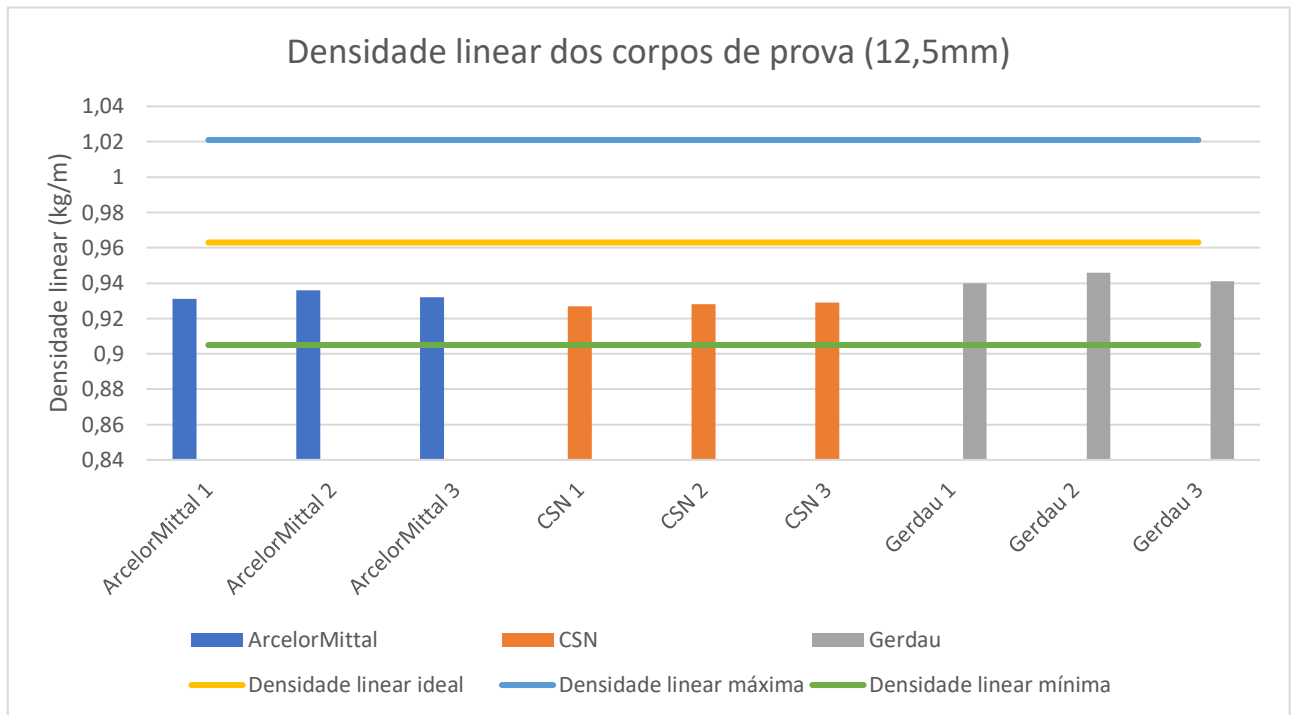
Gráfico 6 - Densidade linear dos corpos de prova de 10mm



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Os corpos de prova de 10mm podem ter uma variação menor que os de 8mm, desta vez é permitido fugir apenas 6% daquilo que a norma considera como densidade linear ideal. Como é mostrado no gráfico 6, os valores encontrados nas barras de 10mm também obtiveram resultados positivos, eles estão dentro daquilo que a norma solicita, entre a linha verde e azul. Novamente o destaque vai para as barras Gerdau, que ficaram muito próximas da densidade linear ideal ditado pela norma, principalmente a barra 2 que obteve exatamente o valor referencial da norma, que é de 0,617kg/m, a barra 1 e a barra 3 obtiveram 0,613kg/m e 0,612kg/m respectivamente, valores excelentes que fogem pouco da referência normativa.

Gráfico 7 - Densidade linear dos corpos de prova de 12,5mm



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

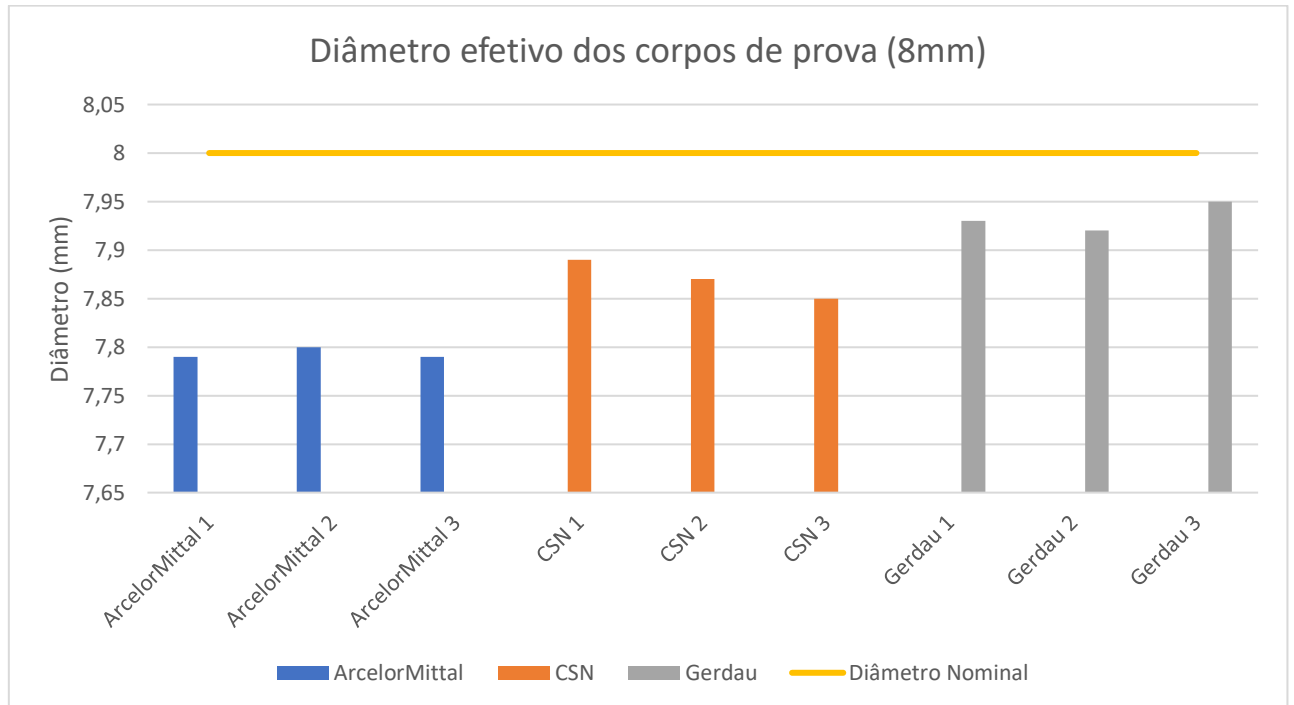
O gráfico 7, expõe agora a densidade linear nos corpos de prova de 12,5mm, que também podem variar apenas 6% daquilo que a norma considera ideal, e novamente não apresentou problemas com as exigências da norma. A marca Gerdau continua sendo a que está mais próxima do valor ideal, podendo deduzir que a marca exige uma densidade linear ótima dentro de suas indústrias. Desta vez, não houve uma grande diferença nos resultados, os valores encontrados ficaram mais distantes da densidade linear ideal, que é de 0,963kg/m. Analisando os 3 gráficos, é possível perceber que todos os resultados ficaram igual ou abaixo da densidade linear ideal, isto é, ficaram mais próximas do valor mínimo do que do máximo.

3.4.3 Diâmetro efetivo

Os diâmetros comerciais dos vergalhões representam o seu diâmetro nominal, mas nem sempre esse diâmetro comercial possui realmente o valor do diâmetro efetivo da barra. No tópico 3.2.1 foi mencionado como calcular o real diâmetro das barras de aço, podendo perceber que o diâmetro depende da massa linear nominal, ou com outras palavras, densidade linear. No tópico anterior a este, foi possível constatar que todas as densidades lineares dos corpos de prova estão de acordo com a norma, consequentemente, os diâmetros efetivos também estarão, e como a marca Gerdau obteve um melhor resultado nas suas densidades lineares, é possível premeditar

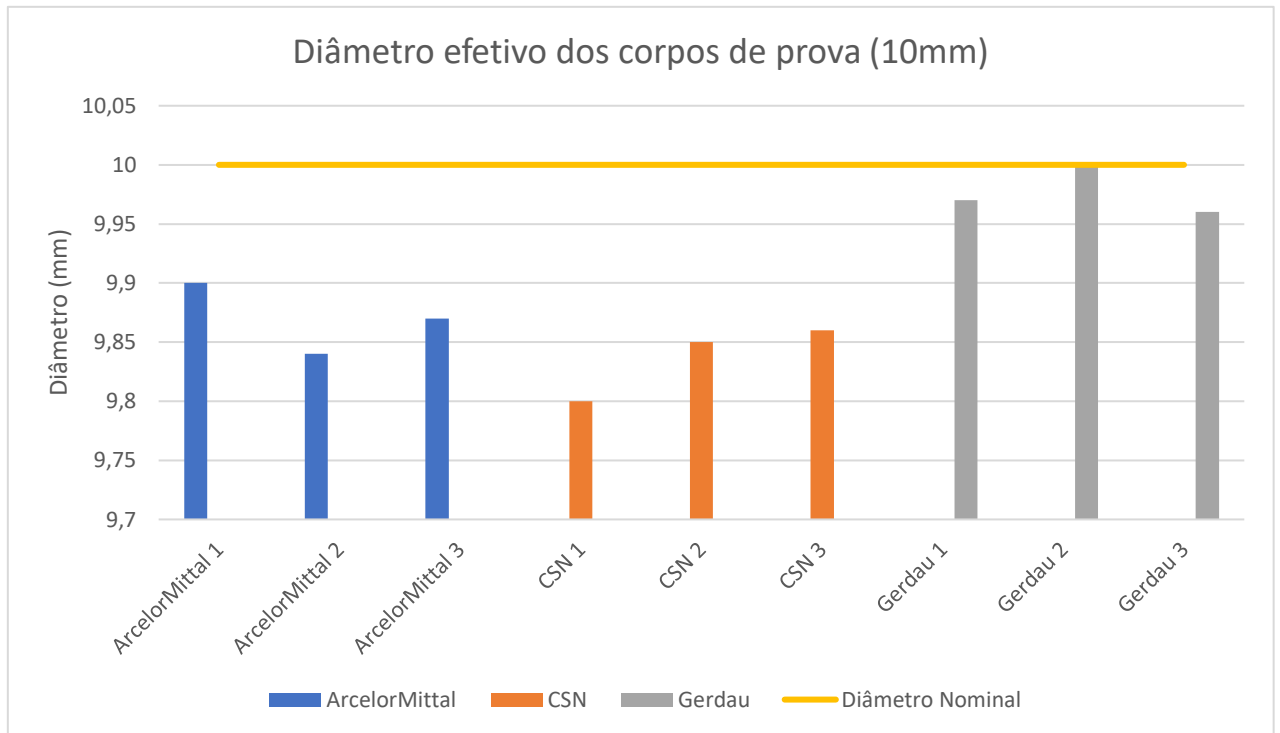
que os diâmetros efetivos de suas barras estarão também mais próximos do diâmetro nominal. Neste tópico será exposto a variação dos diâmetros efetivos dos corpos de prova, podendo também analisar a diferença do diâmetro real (efetivo) com o diâmetro comercial (nominal). Observe nos gráficos 8, 9 e 10 os valores dos diâmetros efetivos de cada corpo de prova.

Gráfico 8 - Diâmetro efetivo dos corpos de prova de 8mm



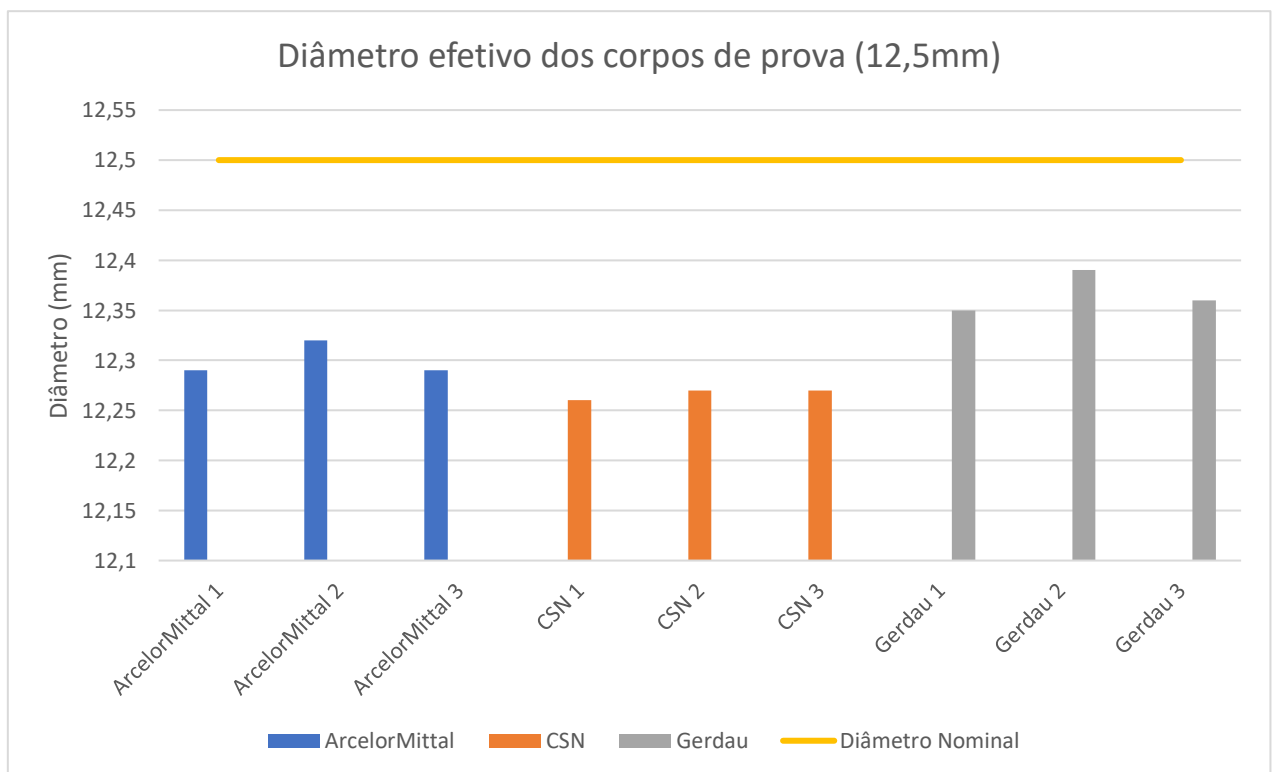
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Gráfico 9 - Diâmetro efetivo dos corpos de prova de 10,0mm



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Gráfico 10 - Diâmetro efetivo dos corpos de prova de 12,5mm



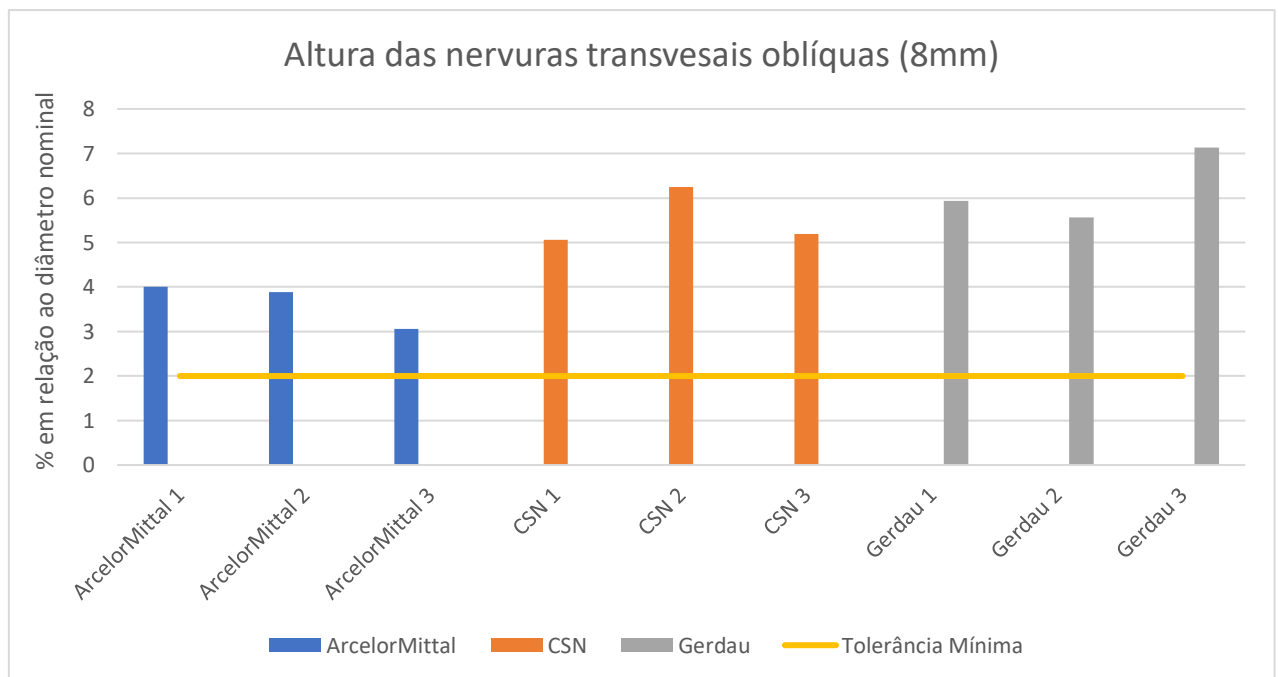
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Percebe-se que os gráficos do diâmetro efetivo são proporcionais com os gráficos de densidade linear, veja que da mesma forma que a barra Gerdau 2 de 10,0mm obteve uma densidade linear ideal, seu diâmetro efetivo também atingiu o valor ideal, ou seja, atingiu o mesmo valor do diâmetro nominal, adquirindo assim um resultado perfeito.

3.4.4 Altura das nervuras transversais oblíquas

Como foi dito anteriormente, o item 4.2.1.4 da NBR 7480 faz exigências na altura das nervuras transversais oblíquas, não mencionando as nervuras longitudinais. A altura das nervuras possui um valor mínimo, e este valor é dependente do diâmetro nominal da barra, a norma não menciona uma altura máxima, com isso é possível observar nos gráficos a seguir se a altura das nervuras transversais oblíquas atende os requisitos da norma.

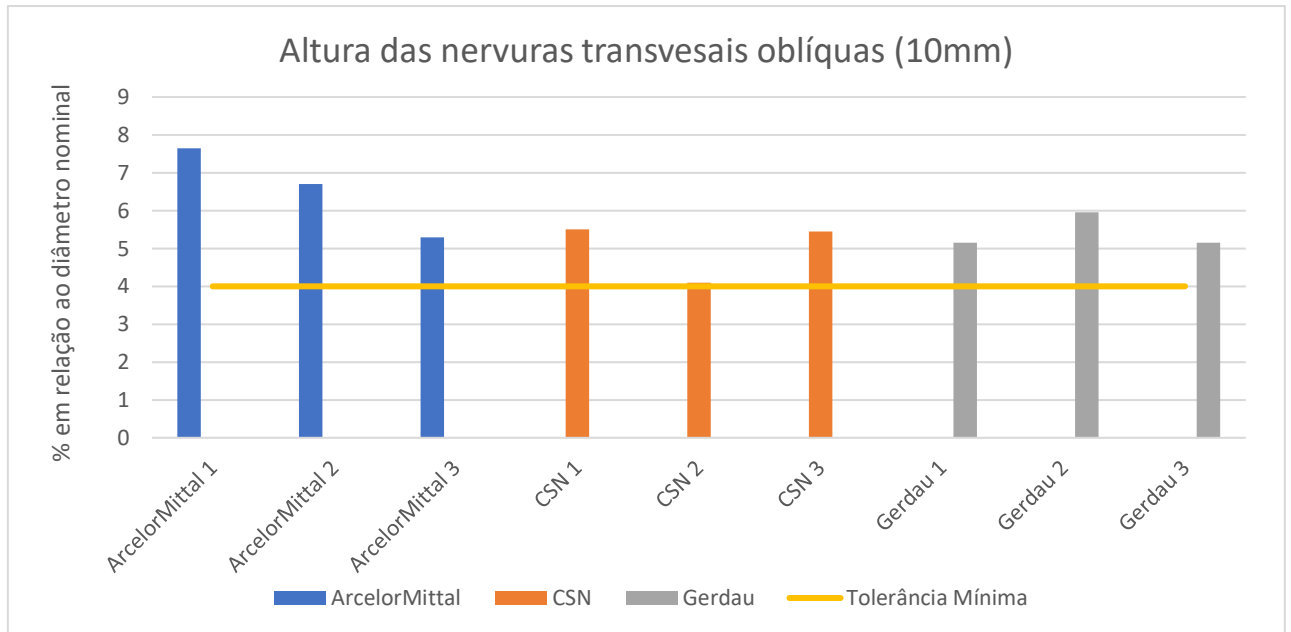
Gráfico 11 - Relação da altura das nervuras transversais oblíquas de 8mm



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

A altura das nervuras transversais oblíquas dos vergalhões de 8mm, devem representar no mínimo 2% do seu diâmetro nominal. Como mostra o gráfico 11, todas as amostras ultrapassaram os 2% mínimo, a norma não indica uma altura considerada ideal, bastando apenas ficar acima ou igual ao valor mínimo, desta forma, todos os corpos de prova de 8mm estão de acordo com a norma.

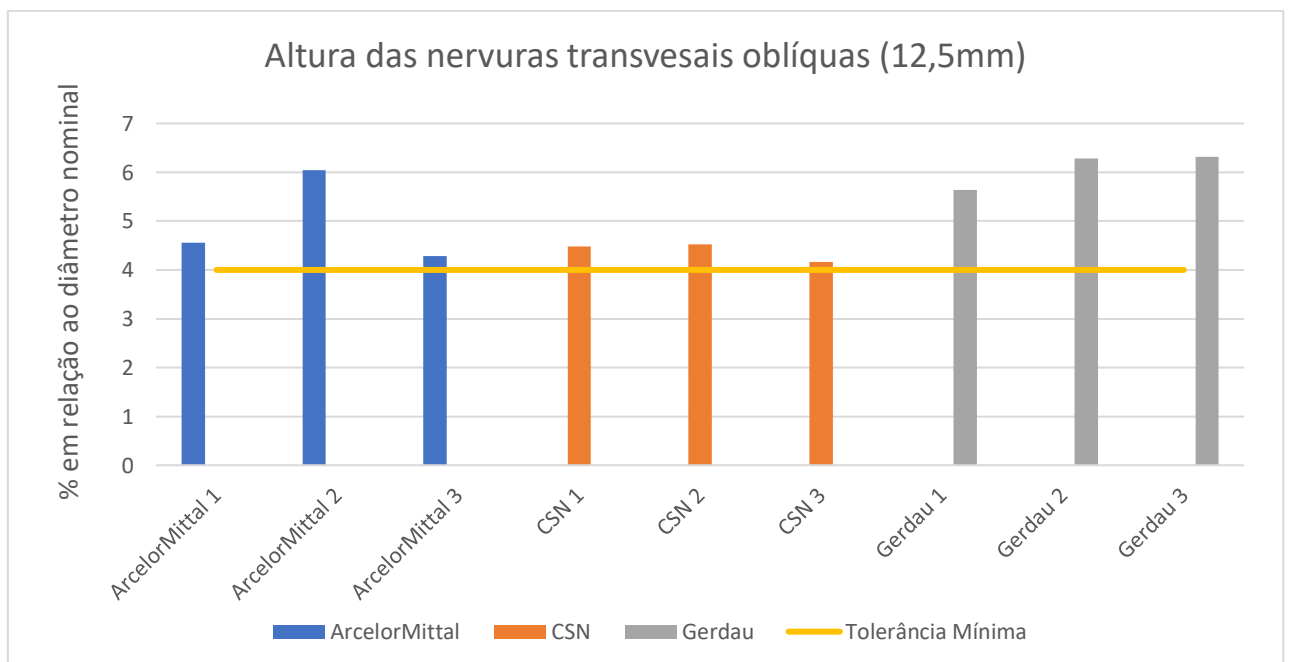
Gráfico 12 - Relação da altura das nervuras transversais oblíquas de 10mm



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Nos vergalhões de 10mm, essa altura deve ser maior ou igual a 4% do diâmetro nominal, ou seja, uma nervura deve ter no mínimo uma altura de 0,4mm. Analisando o gráfico 12, é possível perceber que todos os corpos de prova obtiveram resultados positivos, com destaque ao CSN 2 que ficou muito próximo do limite, obtendo um valor de 4,1%.

Gráfico 13 - Relação da altura das nervuras transversais oblíquas de 12,5mm



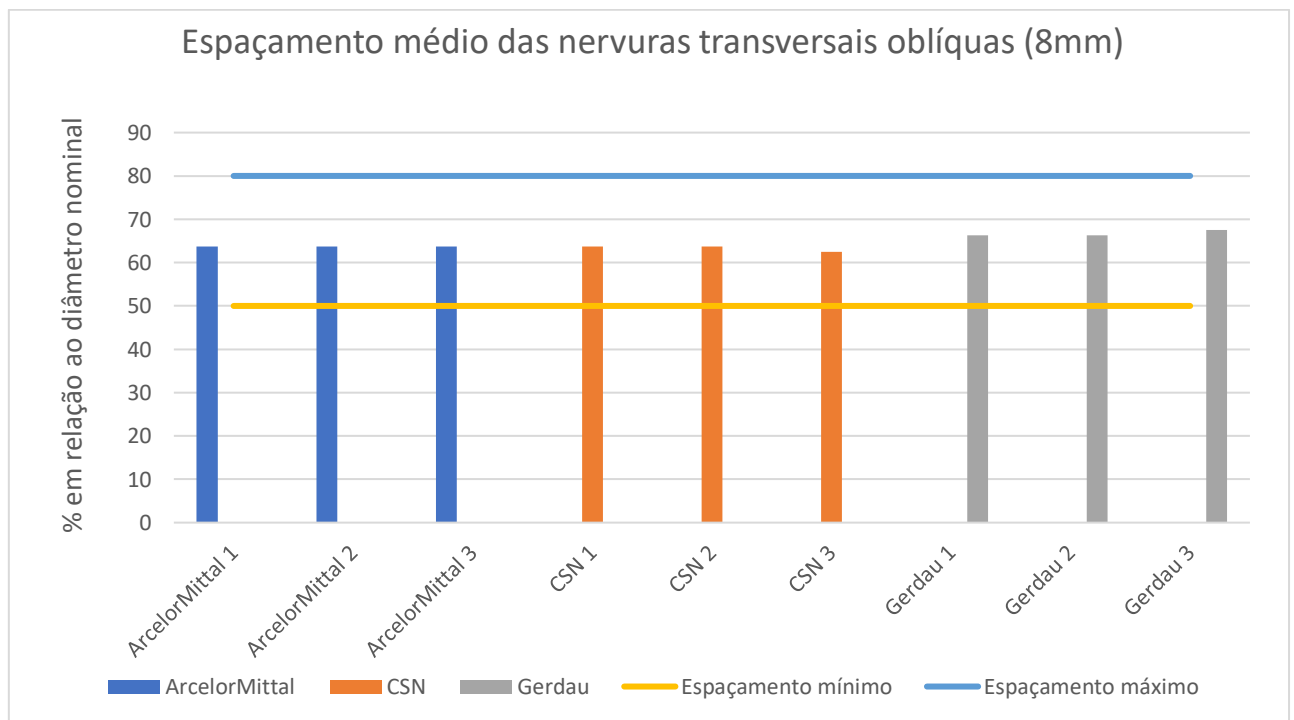
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Nas barras de 12,5mm, as nervuras também precisam ser obrigatoriamente maiores ou iguais a 4% do seu diâmetro nominal, quanto maior o diâmetro da barra, mais alta serão essas nervuras. A partir do gráfico 13 é possível reparar que todos os corpos de prova ficaram acima do valor mínimo ditado na norma, podendo reparar também que os 3 corpos de prova da marca CSN ficaram bem próximos ao limite de 4%. A verificação da altura das nervuras transversais oblíquas de todos os corpos de prova obteve êxito, não surgindo nenhum problema ou incompatibilidade com a norma.

3.4.5 Espaçamento médio das nervuras transversais oblíquas

O item 4.2.1.5 da NBR 7480 dita sobre os espaçamentos entre as nervuras transversais oblíquas, que devem ficar entre 50% a 80% do diâmetro nominal do vergalhão. Os espaçamentos foram medidos como sugere a norma e os resultados serão avaliados neste tópico. Observe nos gráficos a seguir os valores já convertidos em porcentagem de acordo com o diâmetro nominal de cada barra.

Gráfico 14 - Espaçamento médio das nervuras transversais oblíquas de 8mm

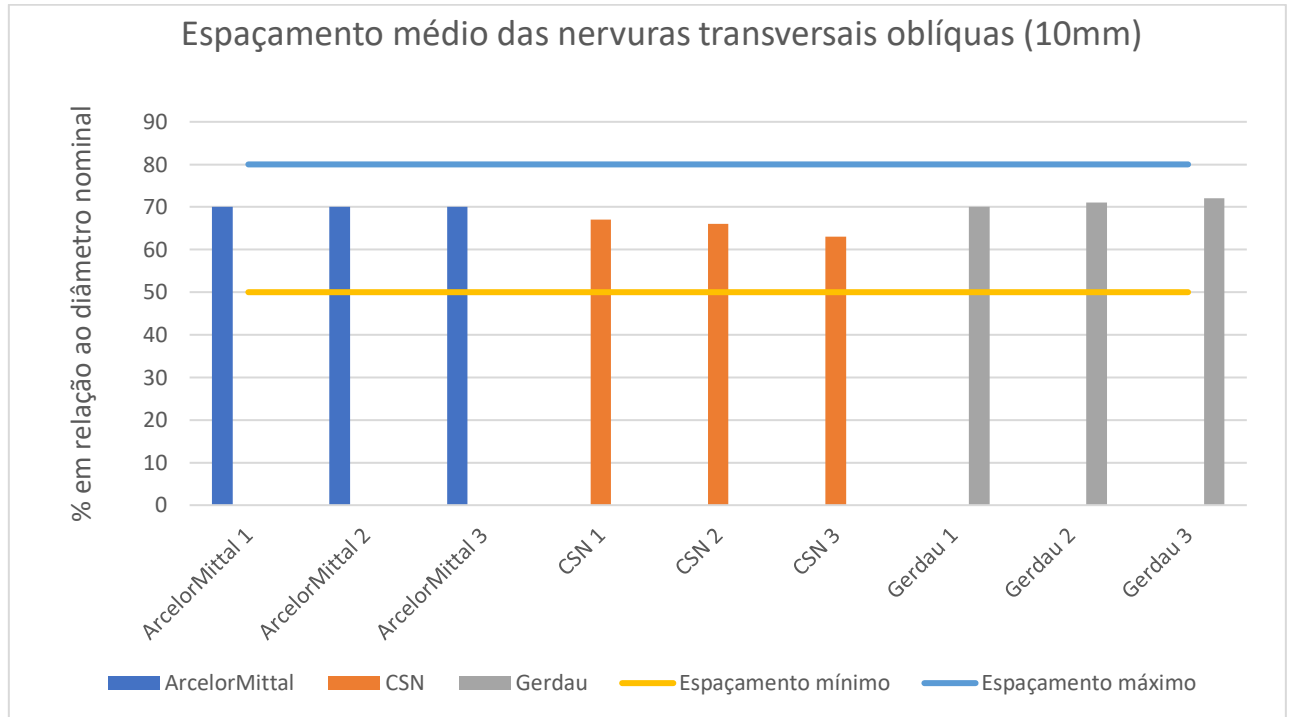


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Da mesma forma da altura das nervuras transversais oblíquas, a distância entre as nervuras também depende de uma porcentagem do diâmetro, então quanto maior for o diâmetro do vergalhão, maior será a distância entre essas nervuras. Todos os corpos de prova de 8mm estão

compatíveis com a norma, podendo observar no gráfico 14 que as distâncias entre as nervuras ficaram todas entre 60% e 70% de 8mm.

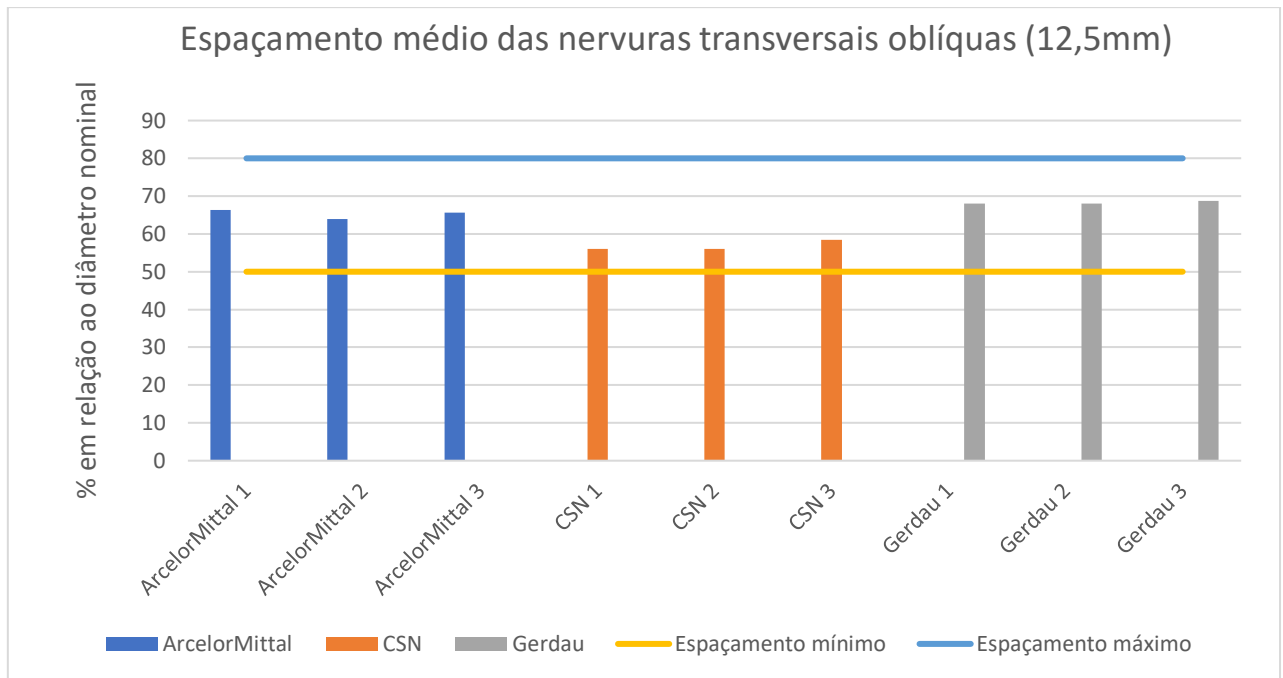
Gráfico 15 - Espaçamento médio das nervuras transversais oblíquas de 10mm



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Nos corpos de prova de 10mm, as três amostras ArcelorMittal ficaram exatamente com 70%, ou seja, a distância média entre as nervuras desta marca foi de 7mm. Os corpos de prova da marca Gerdau também ficaram bem próximos do 70%, e a marca CSN obteve uma variação maior, mas todas as barras estão em concordância com a norma.

Gráfico 16 - Espaçamento médio das nervuras transversais oblíquas de 12,5mm



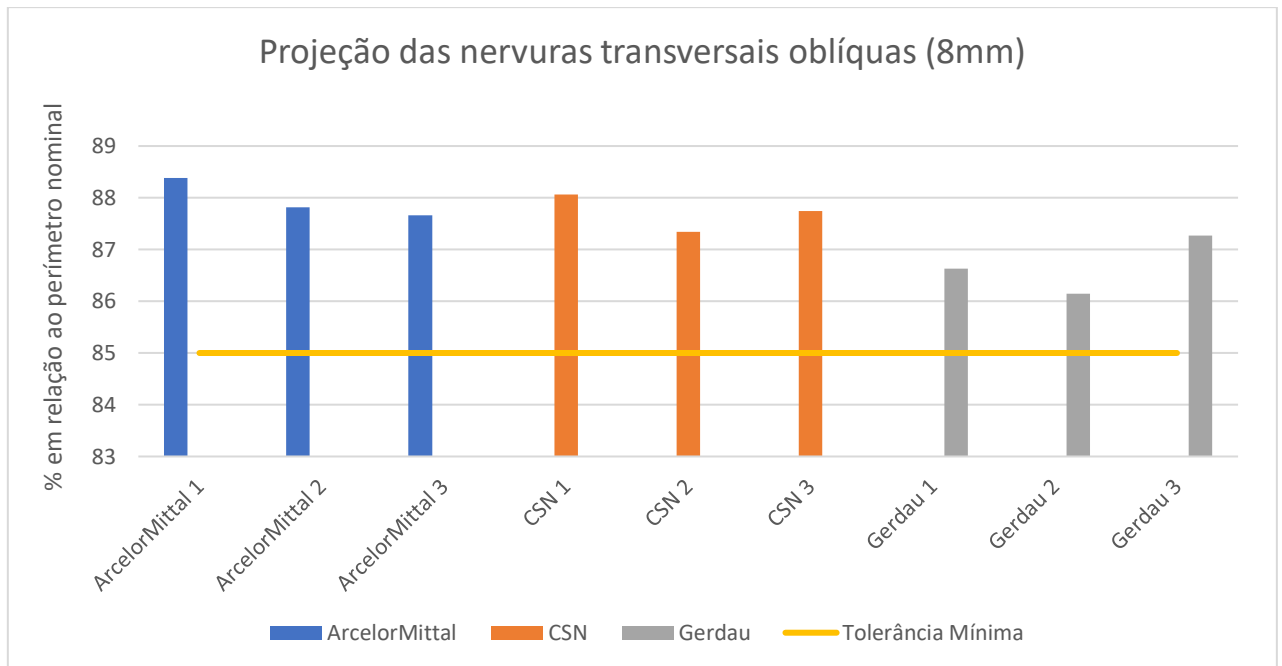
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Como pode ser observado no gráfico 16, as amostras de 12,5mm também estão em conformidade com aquilo que a norma exige, desta forma, a verificação da distância média entre as nervuras dos 27 corpos de prova obteve êxito.

3.4.6 Projeção das nervuras transversais oblíquas

A última exigência apresentada na norma em relação as características geométricas das barras de aço CA-50, é a respeito da projeção das nervuras transversais oblíquas. A NBR 7480 exige que essas nervuras devem abranger no mínimo 85% do perímetro nominal circular da seção transversal da barra. Como foi visto anteriormente, as nervuras transversais oblíquas estão interligadas com as nervuras longitudinais, podendo concluir que as nervuras longitudinais não podem abranger mais do que 15% do perímetro, para que assim as nervuras transversais possam ocupar no mínimo os 85% imposto pela norma. A partir dos gráficos abaixo é possível observar se os corpos de prova estão em concordância com as condições imposta pela norma.

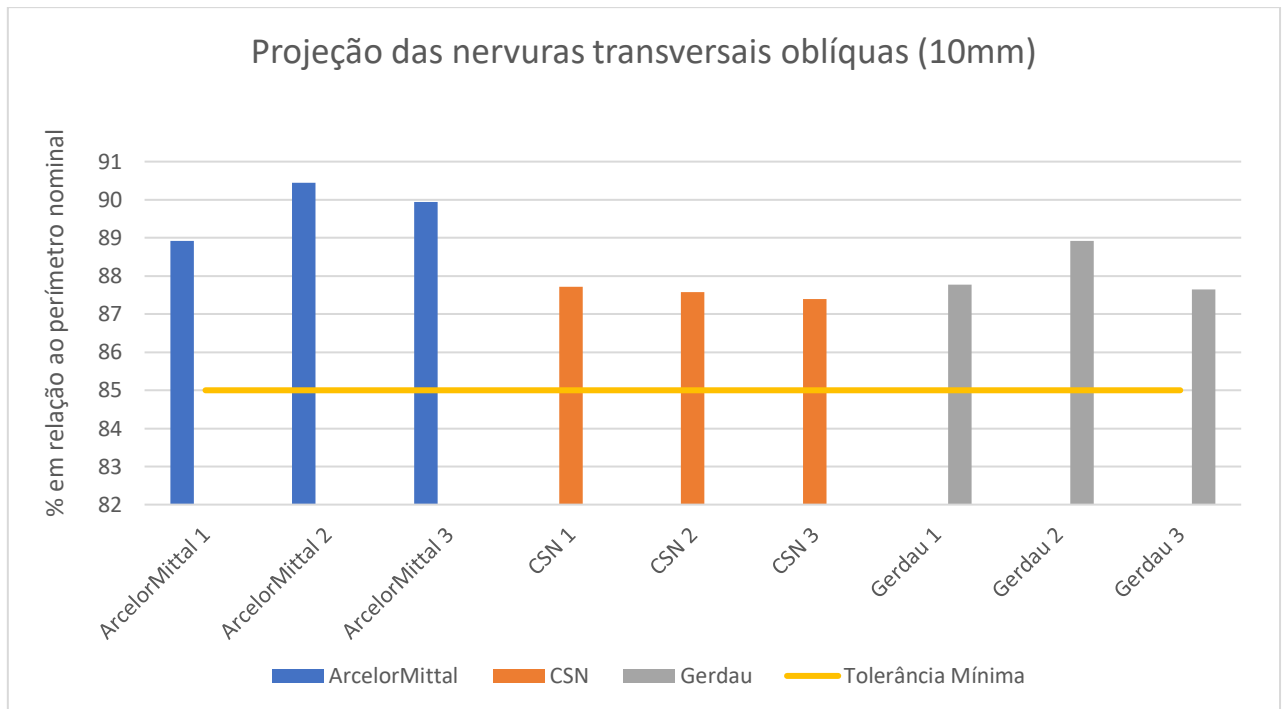
Gráfico 17 - Projeção das nervuras transversais oblíquas nas barras de 8mm



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

O gráfico 17 indica que todos os corpos de prova de 8mm satisfazem a norma. A marca ArcelorMittal obteve uma média maior que as demais, mas observando o gráfico é possível perceber que não houve uma grande variação nos resultados, para confirmar tal constatação foi calculado o desvio padrão e chegou ao resultado de 0,659. Como os corpos de prova da marca Gerdau obteve uma média menor, quer dizer que as nervuras longitudinais deles são mais largas.

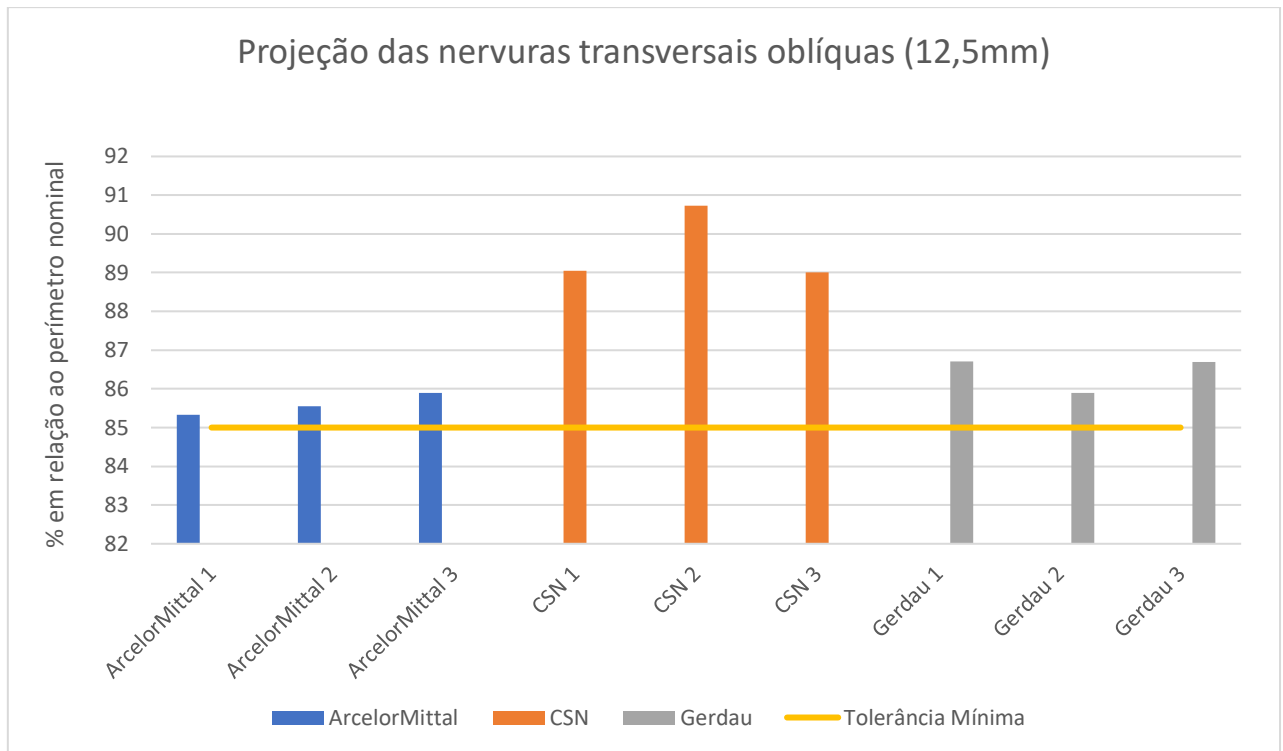
Gráfico 18 - Projeção das nervuras transversais oblíquas nas barras de 10mm



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

Observe que no gráfico 18 os corpos de prova de 10mm também estão de acordo com a norma, além da marca ArcelorMittal continuar possuindo a maior média e não haver uma variação grande entre os resultados encontrados. Em comparação aos corpos de prova de 8mm, houve um acréscimo no desvio padrão das barras de 10mm, obtendo um valor de 1,064, observando o gráfico é possível perceber que este acréscimo é dado pelos altos valores das barras ArcelorMittal.

Gráfico 19 - Projeção das nervuras transversais oblíquas nas barras de 12,5mm



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

O gráfico 19 revela que apesar dos corpos de prova de 12,5mm terem respeitado a norma, os 3 vergalhões da marca ArcelorMittal ficaram bem próximos do valor limite, obtendo resultados contrários aos gráficos anteriores. Desta vez a marca CSN obteve resultados bem maiores do que as demais marcas, o que fez uma grande diferença no desvio padrão encontrado de 1,803. Analisando os 3 gráficos, a marca Gerdau apresentou uma menor variação em seus resultados.

3.4.7 Ensaio de tração

Os resultados obtidos nos ensaios de tração estão divididos em três relatórios, sendo eles distintos pelo diâmetro dos corpos de prova, em ordem crescente. Para atingir alguns dos objetivos deste trabalho, foi encontrado a tensão de escoamento, tensão máxima e o comportamento do diagrama tensão-deformação de cada corpo de prova. A máquina de tração não identificou o alongamento na ruptura das barras, desta forma a última coluna dos relatórios deverão ser desconsideradas, mas o programa Tesq forneceu um relatório secundário que possibilita visualizar o quanto cada corpo de prova deformou após a ruptura.

Recapitulando as orientações da norma sobre as características mecânicas das barras de aço CA-50, elas necessitam escoar com no mínimo 500MPa, a sua tensão máxima, que é a tensão de ruptura, não pode ser inferior a 540MPa, e o alongamento após a ruptura deverá ser no mínimo 8% o valor de L_0 . Como o aço CA-50 é obtido exclusivamente por laminação a quente, é comum que seu diagrama tensão-deformação apresente um patamar de escoamento bem definido.

Além do desempenho individual dos corpos de prova, o programa Tesq disponibilizou outras informações importantes, como a média, mediana, desvio padrão e coeficiente de variação, podendo desta forma verificar a regularidade dos resultados de cada marca.

Nos relatórios, os corpos de prova foram identificados pela sigla CP 1 ao CP 9, a tabela 3.3 identifica qual é a marca e número dos corpos de prova que foram citados ao longo deste trabalho, os três primeiros são da marca CSN, posteriormente a marca ArcelorMittal e por último a Gerdau.

Tabela 3.3 - Identificação dos corpos de prova

CP 1	CSN 1
CP 2	CSN 2
CP 3	CSN 3
CP 4	ArcelorMittal 1
CP 5	ArcelorMittal 2
CP 6	ArcelorMittal 3
CP 7	Gerdau 1
CP 8	Gerdau 2
CP 9	Gerdau 3

Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

3.4.7.1 Resultado dos corpos de prova ensaiados de 8mm

Figura 3.13 - Relatório de ensaio de tração 8mm

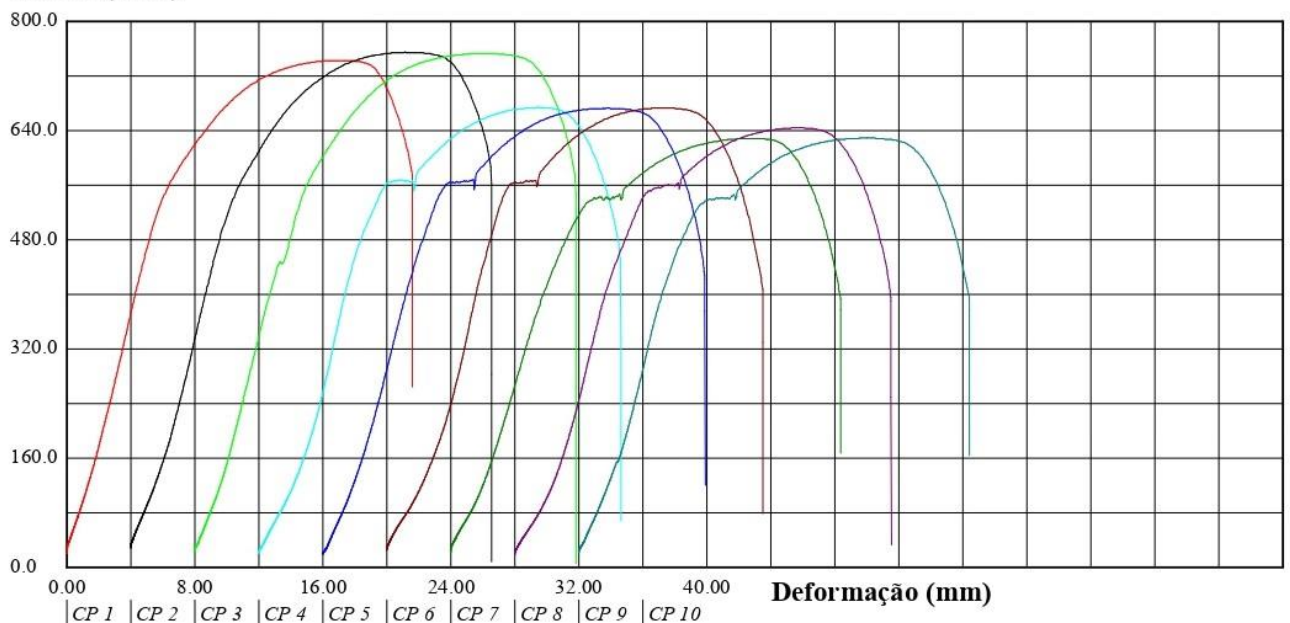
LABORATÓRIO

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 11** Data: **10/12/2021** Hora: **14:43:57** Trabalho n° **0272**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Tracao aco circular sem extensometro**
 Ident. Amostra: > Identificação: **TCC Jorge Phelipe** Material: **Aço CA 50 8mm de diametro** Operador: **Rafael Cortês Ferreira**

Corpo de Prova	Seção (mm ²)	Força no Escoamento (kgf)	Força Máxima (N)	Tensão de Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
CP 1	50.27	2858.43	37368.43	557.67	743.42	0.00
CP 2	50.27	2889.39	37963.75	563.71	755.27	0.00
CP 3	50.27	532.65	37881.64	103.92	753.63	0.00
CP 4	50.27	2622.10	33892.30	511.56	674.27	0.00
CP 5	50.27	2756.44	33837.56	537.77	673.18	0.00
CP 6	50.27	2816.75	33864.93	549.54	673.72	0.00
CP 7	50.27	2529.96	31620.50	493.59	629.07	0.00
CP 8	50.27	2551.24	32393.73	497.74	644.45	0.00
CP 9	50.27	2488.84	31641.02	485.56	629.48	0.00
Número CPs	9	9	9	9	9	9
Média	50.27	2450	34500	477.9	686.3	0.0000
Mediana	50.27	2622	33860	511.6	673.7	0.0000
Desv. Padrão	0.0000	734.2	2593	143.2	51.58	0.0000
Coef. Var. (%)	0.0000	29.97	7.516	29.97	7.516	*
Mínimo	50.27	532.7	31620	103.9	629.1	0.0000
Máximo	50.27	2889	37960	563.7	755.3	0.0000

Tensão (MPa)



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

3.4.7.2 Análise dos corpos de prova ensaiados de 8mm

Analizando o relatório dos ensaios de tração nos corpos de prova de 8mm, é possível constatar alguns problemas que surgiram nos resultados das tensões de escoamento. O corpo de prova 3 (CP 3), o qual representa o corpo de prova CSN 3, apresentou uma tensão de escoamento baixíssima, muito aquém daquilo que a norma exige, o vergalhão escoou com 103,92MPa, mas observando a reação do seu gráfico tensão-deformação, foi observado que o corpo de prova apresentou um início de escoamento próximo a 480MPa, e depois continuou com sua curva normalmente, dando indícios de que houve um problema no ensaio deste corpo de prova, causado por uma falha na prensa, desta forma, foi decidido que seu resultado seja descartado.

Os três últimos corpos de prova, que representam os três participantes da marca Gerdau de 8mm, ficaram todos abaixo da tensão de escoamento mínima. Observando os valores, fica perceptível que as três tensões de escoamento ficaram bem próximas entre si, e também bem próximas do limite, o qual é 500MPa. Os resultados indicados no relatório consideram o diâmetro nominal das barras, mas para uma apuração mais exata, o ideal é utilizar o diâmetro efetivo, e utilizando o diâmetro efetivo, o único corpo de prova que contraria a norma, é o CP 9 com 491,73MPa. Há a possibilidade de a marca Gerdau trabalhar as suas tensões de escoamento para que fiquem próximas ao valor exigido na norma.

No diâmetro de 8mm, a marca Gerdau foi a única que apresentou problema na sua tensão de escoamento.

As tensões máximas, que representam as tensões em que os corpos de prova romperam, não apresentaram falhas, todos foram rompidos com tensões acima de 540MPa, com a marca CSN apresentando uma maior média na tensão de ruptura. Pode ser observado também que, analisando as marcas, as tensões máximas de seus corpos de prova ficaram bem próximas entre si, principalmente os vergalhões ArcelorMittal (CP 4, CP 5 e CP 6).

Observando os gráficos tensão-deformação, nota-se que eles apresentaram divergências, os três primeiros (CP 1, CP 2 e CP 3), que representam a marca CSN, não apresentaram um patamar de escoamento bem definido como os outros. Os gráficos da marca CSN apresentaram diagramas com formatos característicos de fios obtidos por trefilação, como foi exposto no tópico 2.4. O formato e a magnitude da curva tensão-deformação podem depender da composição química do aço e do tratamento termomecânico que ele foi submetido, mas é mais comum que o aço CA-50, após ser submetido a ensaios de tração, apresente um patamar de

3.4.7.4 Análise dos corpos de prova ensaiados de 10mm

Analisando o relatório dos ensaios de tração dos corpos de prova de 10mm, percebe-se que todos os corpos de prova estão em conformidade com a norma. Todas as amostras da marca Gerdau (CP 7, CP 8 e CP 9), ficaram novamente bem próximos da tensão mínima de escoamento, mas todos acima de 500MPa, e novamente foi utilizado o diâmetro nominal para obter as tensões, caso utilizasse o diâmetro efetivo das barras, essas tensões subiriam, obtendo resultados ainda mais satisfatórios, com exceção do CP 8, cujo diâmetro nominal é igual ao diâmetro efetivo. A tensão de escoamento variou pouco entre os 9 corpos de prova ensaiados, obtendo um coeficiente de variação considerado baixo, ficando pouco acima de 8%, e a marca CSN apresentando a maior média entre as três.

As tensões máximas apresentadas são tensões satisfatórias, principalmente da marca CSN (CP 1, CP 2 e CP 3) que obteve a maior média, necessitando de uma maior força para romper seus vergalhões. Assim como a tensão de escoamento, a tensão máxima também revelou um baixo coeficiente de variação, pouco acima de 8%.

Os gráficos tensão-deformação seguiram o mesmo padrão do anterior, com todos apresentando um patamar de escoamento bem definido, com exceção da marca CSN que apresentou um gráfico típico de fios CA-60.

3.4.7.5 Resultado dos corpos de prova ensaiados de 12,5mm

Figura 3.15 - Relatório de ensaio de tração 12,5mm

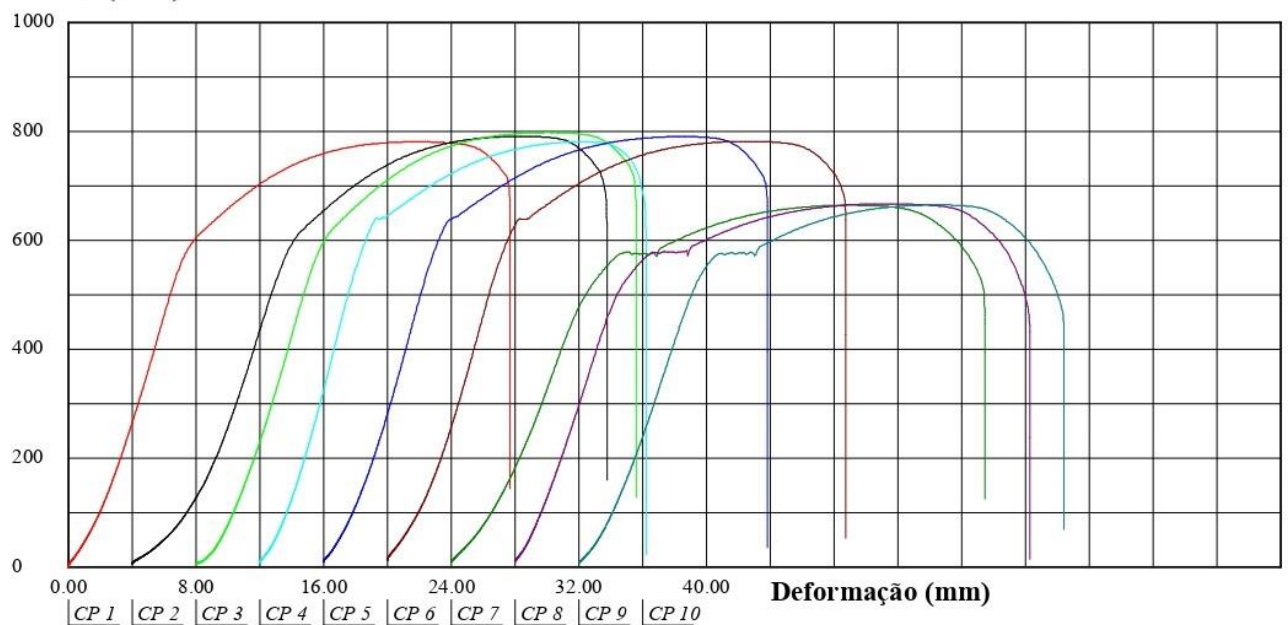
LABORATÓRIO

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL20000** Célula: **Trd 12** Extensômetro: **Trd 11** Data: **08/12/2021** Hora: **15:20:31** Trabalho nº **0271**
 Programa: **Tesc versão 3.04** Método de Ensaio: **Tracao aco circular sem extensometro**
 Ident. Amostra: > Identificação: **TCC Jorge Phelip** Material: **Aço CA 50 12,5 mm de diametro** Operador: **Rafael Cortês Ferreira**

Corpo de Prova	Seção (mm ²)	Força no Escoamento (kgf)	Força Máxima (N)	Tensão de Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento na Ruptura (%)
CP 1	122.72	7386.38	95935.80	590.26	781.76	0.00
CP 2	122.72	7535.74	97153.82	602.19	791.68	0.00
CP 3	122.72	7545.71	98022.85	602.99	798.76	0.00
CP 4	122.72	7772.53	95935.80	621.11	781.76	0.00
CP 5	122.72	7786.04	97099.08	622.19	791.23	0.00
CP 6	122.72	7708.36	96045.29	615.99	782.65	0.00
CP 7	122.72	6385.96	81661.76	510.31	665.44	0.00
CP 8	122.72	6472.57	81928.63	517.23	667.61	0.00
CP 9	122.72	6762.82	81709.66	540.43	665.83	0.00
Número CPs	9	9	9	9	9	9
Média	122.7	7262	91720	580.3	747.4	0.0000
Mediana	122.7	7536	95940	602.2	781.8	0.0000
Desv. Padrão	0.0000	564.1	7497	45.07	61.09	0.0000
Coef. Var. (%)	0.0000	7.767	8.174	7.767	8.174	*
Mínimo	122.7	6386	81660	510.3	665.4	0.0000
Máximo	122.7	7786	98020	622.2	798.8	0.0000

Tensão (MPa)



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2021)

3.4.7.6 Análise dos corpos de prova ensaiados de 12,5mm

Os resultados expostos no relatório de ensaio de tração em corpos de prova de 12,5mm, revelaram resultados satisfatórios, que estão em conformidade com a NBR 7480. As tensões de escoamento apresentadas continuam com os vergalhões da marca Gerdau bem próximos dos 500MPa que a norma exige, evidenciando um padrão que a marca segue, e com um baixo coeficiente de variação entre os 9 corpos de prova.

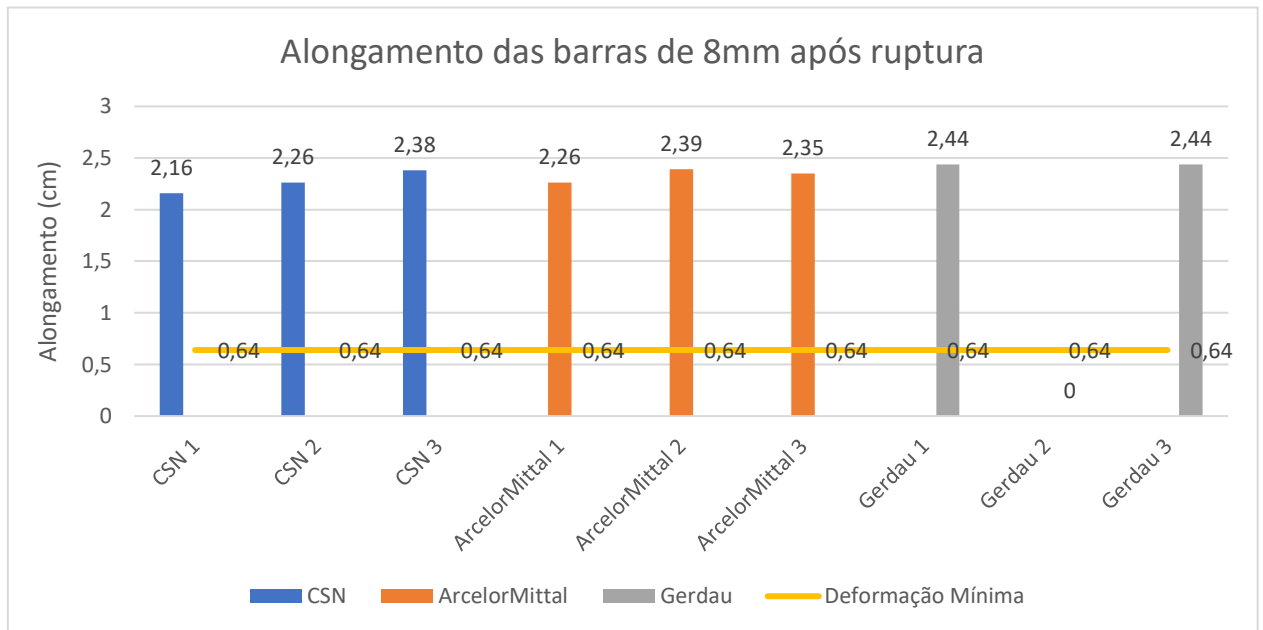
Os seis primeiros corpos de prova, que são referentes as marcas CSN e ArcelorMittal, tiveram uma tensão máxima bem próxima umas das outras, e assim como nos diâmetros anteriores, ficaram com uma média superior ao da marca Gerdau. Mesmo com a marca Gerdau apresentando as suas tensões de ruptura em mais de 100MPa abaixo das demais marcas, o coeficiente de variação ficou pouco acima de 8% apenas.

No próprio diagrama tensão-deformação, é possível identificar que as tensões de ruptura das barras Gerdau estão com um valor abaixo considerável em relação às demais. As barras de aço CSN continuam apresentando um gráfico discrepante, podendo premeditar que é uma característica da marca, visto que os gráficos se comportaram da mesma maneira nos três diâmetros ensaiados. As barras ArcelorMittal (CP 4, CP5 e CP 6) apresentaram um patamar de escoamento bem sutil, em relação aos seus resultados anteriores, e a marca Gerdau (CP 7, CP 8 e CP 9) continuou exibindo um patamar de escoamento bem definido.

3.4.7.7 Alongamento após ruptura

Além dos relatórios de ensaios visto anteriormente, o programa Tesq fornece um relatório secundário de cada corpo de prova ensaiado, onde nele é contido o tempo, deformação e força que varia constantemente ao longo do ensaio, até a ruptura do vergalhão. Como já foi dito anteriormente, o alongamento total do vergalhão até a sua ruptura, deve ser no mínimo 8% do seu comprimento, visto que o comprimento de cada corpo de prova vale 10 vezes o seu diâmetro, ou seja, quanto maior o diâmetro da barra, maior será seu alongamento mínimo exigido pela NBR 7480. Os gráficos a seguir expõem quanto cada corpo de prova alongou até a sua ruptura, e se todos estão em conformidade com a norma.

Gráfico 20 - Alongamento das barras de 8mm

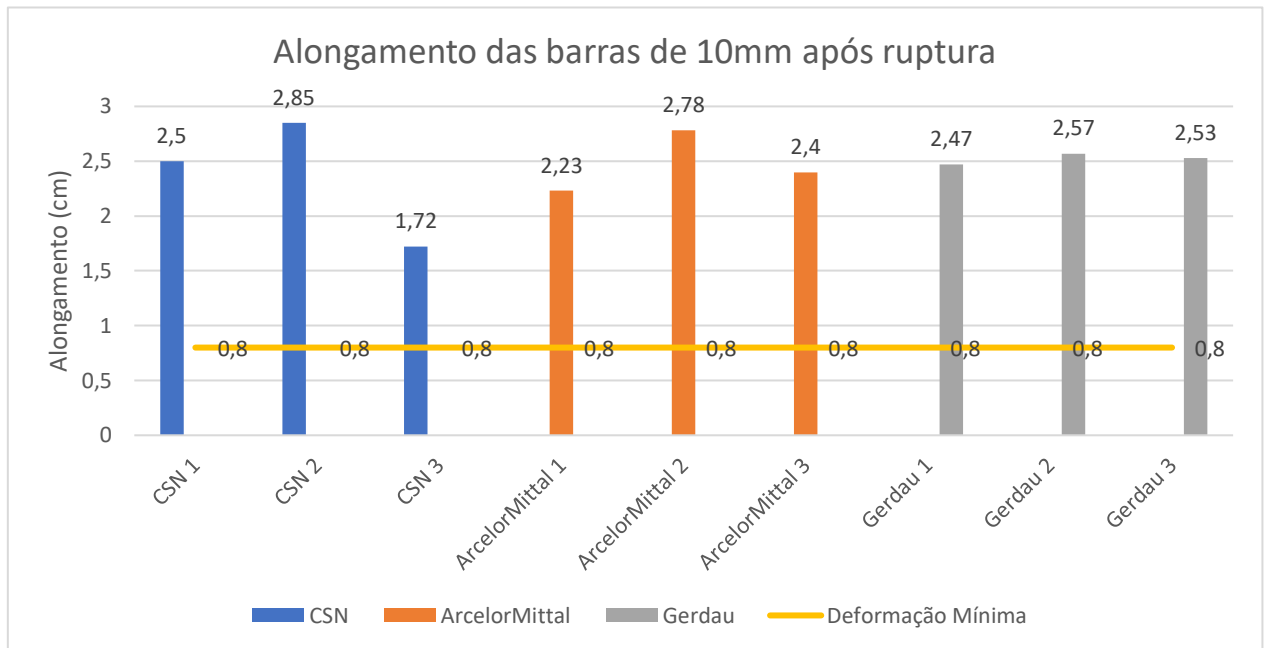


Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022)

Os corpos de prova de 8mm tiveram um comprimento de medida inicial de 8cm, por isso o alongamento mínimo exigido na norma é de 0,64cm. O gráfico 20 revela que todos os corpos de prova tiveram um alongamento superior a 2cm, com exceção da barra Gerdau 2, que por motivos técnicos, não foi fornecido o seu relatório.

Analisando o gráfico, é possível perceber que não houve uma grande taxa de variação no alongamento das barras, todos obtiveram valores próximos entre si, obtendo uma média de 2,37cm, e o mais importante, os alongamentos adquiridos estão de acordo com a norma.

Gráfico 21 - Alongamento das barras de 10mm



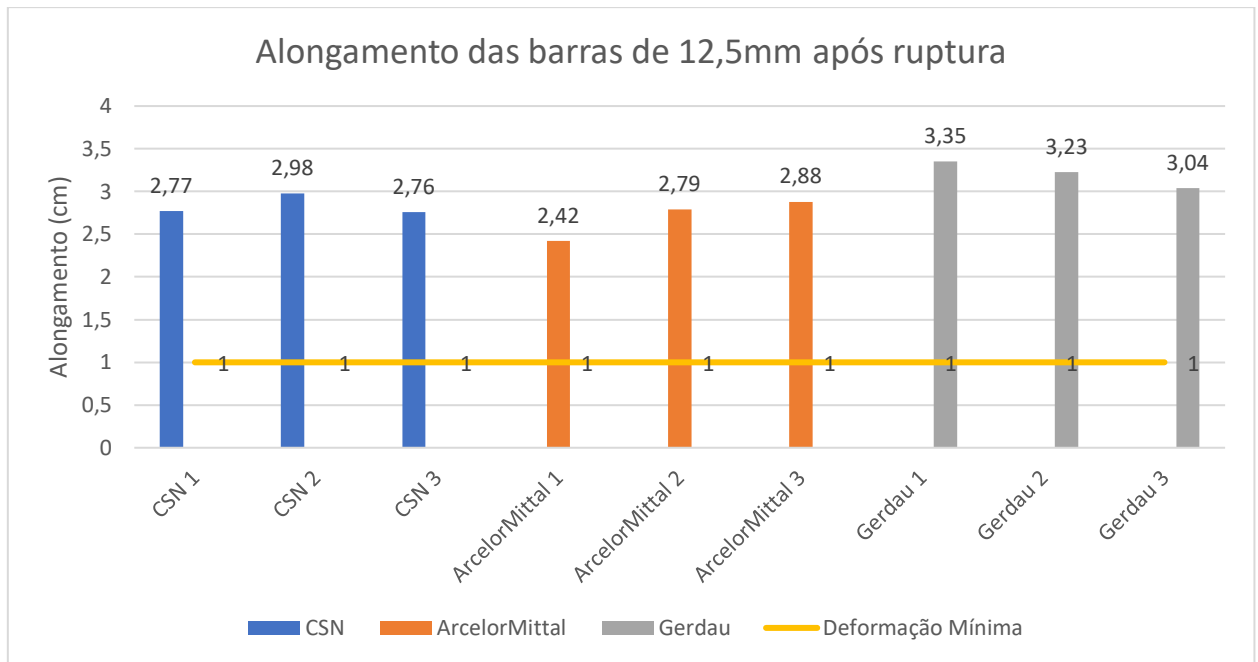
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022)

Os vergalhões de 10mm possuíram um comprimento de medida de 10cm, logo, o alongamento mínimo (8%) é de 0,80cm. O gráfico 21 mostra que as barras de 10mm tiveram uma taxa de variação maior, os valores encontrados são menos uniformes, principalmente o corpo de prova CSN 3, que obteve um valor bem inferior aos demais, obtendo uma diferença de mais de 1cm em relação aos corpos de prova CSN 2 e ArcelorMittal 2.

Como já era esperado, a média dos valores encontrados é superior à média dos corpos de prova de 8mm, desta vez foi encontrado uma média de 2,5cm.

Todos os corpos de prova conseguiram com folga atingir a deformação mínima exigida na norma.

Gráfico 22 - Alongamento das barras de 12,5mm



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2022)

As barras com diâmetro de 12,5mm, tiveram por norma, um comprimento inicial de 12,5cm, e seu alongamento mínimo após a ruptura deverá ser igual a 1cm ou superior. Os valores apresentados no gráfico 22 mostram uma taxa de variação considerável.

A média dos alongamentos nos vergalhões de 12,5mm foi de 2,88cm, a maior entre os três diâmetros ensaiados, e o valor mínimo de 1cm também foi alcançado com folga em todos os corpos de prova.

CAPÍTULO 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados neste trabalho, foram resultados esperados, por se tratarem de marcas que são referências nacionais, era aguardado que todas as verificações nos vergalhões, físicas e mecânicas, obtivessem resultados positivos. As verificações em relação a geometria e características físicas dos vergalhões não constatarem falhas, e as características mecânicas, especificamente na tensão de escoamento, houve apenas um resultado que contraria a norma, o CP 9 de 8mm, mas que ficou muito próximo daquilo que a norma exige, não podendo afirmar que é uma falha da marca, já que a prensa de tração não fornece resultados 100% precisos, há sempre que considerar uma taxa de erro.

Quanto aos defeitos encontrados nas barras, não há relação com os resultados encontrados nos ensaios de tração, por se tratarem de esfoliações pequenas, não houve interferência na tensão

de escoamento e tensão de ruptura. As marcas apresentaram os mesmos defeitos, oxidação e esfoliação, variando apenas o diâmetro.

Em relação as características físicas, a marca Gerdau se sobressaiu em relação as outras, pela razão de suas barras ficarem mais próximas do diâmetro nominal, mas é importante recordar de que todas as marcas ficaram em concordância com a norma neste quesito.

Sobre as tensões de escoamento, ficou perceptível que a marca Gerdau trabalha as suas barras de aço CA-50 para que fiquem próximas da tensão mínima, e que fiquem bem próximas entre si. Recorrer a este tipo de procedimento é arriscado, visto que tem mais chances da barra ficar abaixo da tensão mínima exigida na norma, mas considerando que estas marcas possuem um alto nível de fabricação e controle de qualidade, é pouco provável que isto aconteça.

Não é permitido que a tensão de escoamento fique abaixo de 500MPa, mas também não é recomendável que esta tensão atinja altos valores, já que quanto maior for este valor, mais próximo ficará da tensão de ruptura, desta forma a estrutura irá dar indicações de rompimento quando estiver quase rompendo por total. Com exceção dos corpos de prova que não atingiram o requisito mínimo da norma, os resultados foram favoráveis.

Quanto as tensões de ruptura, ficou perceptível que com o aumento do diâmetro, a média das tensões de ruptura aumentaram, com a marca CSN obtendo resultados excelentes, todos os seus corpos de prova romperam com uma tensão acima de 700MPa.

Os gráficos tensão-deformação da marca CSN chamou a atenção pelo seu formato típico de fios CA-60, todos os corpos de prova da marca possuíram esta forma de curva, podendo concluir que é uma característica da marca, a forma de fabricação ou composição química do aço CSN possui uma diferença em relação aos métodos padrões que são utilizados na fabricação do aço CA-50.

O alongamento total que os corpos de prova sofreram após serem rompidos foram alongamentos favoráveis, todas as três marcas tiveram uma deformação média superior a 2cm, em todos os diâmetros, indicando uma boa ductilidade em seus materiais. Também foi viável perceber que quanto maior o diâmetro das barras, maior a média do alongamento, e isso acontece pelo fato da estrição ser mais larga em barras com diâmetro maiores.

Fica neste trabalho a sugestão do autor para que possa estudar mais a fundo o diagrama tensão-deformação da marca CSN, para esclarecer o motivo de seus gráficos não apresentarem um

patamar de escoamento bem definido, se isto está relacionado a composição química do aço, forma de fabricação ou outro motivo.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, José Milton de. Curso de concreto armado. 3º edição. Rio Grande: Dunas, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: Aço destinado a armaduras de concreto armado – Especificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 6892: Ensaio de tração à temperatura ambiente. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- BAUER, L. A. Falcão. Materiais de construção. 5º edição. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- BEZERRA, Juliana. Queda do Império Romano. s.d.. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/queda-do-imperio-romano/>>. Acesso em 16 de junho de 2021.
- CHIAVERINI, Vicente. Aços e ferros fundidos. 7º edição. São Paulo: ABM, 1996.
- CUNHA, Valdemir. A idade do aço. São Paulo: Origem 2016.
- GOUCHER, Candice; WALTON, Linda. História mundial: jornadas do passado ao presente. São Paulo: ART MED EDITORA S.A., 2011.
- HERÓDOTO. Globalizando a idade do ferro mediterrânea. Guarulhos: 2019.
- INSTITUTO AÇO BRASIL. Aço Brasil: uma viagem pela indústria do aço. Belo Horizonte: Escritório de Histórias, 2013.
- MCGANNON; HAROLD. The making, shaping and treating of steel. 9º edição. United States Steel, 1971.
- MOURÃO, Marcelo Breda. et. al. Introdução à Siderurgia. São Paulo: ABM, 2007.
- NOVELLI, Rafael Passos. História do aço na construção civil. 2018. Disponível em <<https://www.novesengenharia.com.br/historia-do-aco-na-construcao-civil/>>. Acesso em 10 de junho de 2021.
- PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. Estruturas de aço: Dimensionamento prático. 8º edição. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- REZENDO, Bruno Augusto Rocha. Análise comparativa do desempenho de barras de aço CA-50 destinadas à produção de concreto armado em Aracajú. 67 p.. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe, Aracajú, 2017.
- SCHLINDWEIN, Cleiton. Travessia para o outro lado – A história das pontes. Onwe, janeiro 9, 2019.