



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA METALÚRGICA

LUCAS MARTINS DOS ANJOS

**ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DO AÇO ASTM A572
PELO AÇO SAE 1020 COM BASE NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS**

FORTALEZA

2022

LUCAS MARTINS DOS ANJOS

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DO AÇO ASTM A572
PELO AÇO SAE 1020 COM BASE NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Metalúrgica do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Metalúrgica

Orientador: Prof. Dr. Marcelo José Gomes da Silva.

Fortaleza

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A619e Anjos, Lucas Martins dos.

Estudo da viabilidade técnica da substituição do aço ASTM A572 pelo aço SAE 1020 com base nas propriedades mecânicas / Lucas Martins dos Anjos. – 2022.
46 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Metalúrgica, Fortaleza, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo José Gomes da Silva.

Coorientação: Prof. Dr. Jorge Luiz Cardoso.

1. ASTM A572. 2. SAE 1020. 3. Propriedades mecânicas. 4. Composição química. I. Título.

CDD 669

LUCAS MARTINS DOS ANJOS

ESTUDO DA VIABILIDADE TÉCNICA DA SUBSTITUIÇÃO DO AÇO ASTM A572
PELO AÇO SAE 1020 COM BASE NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Metalúrgica do
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de
Materiais da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Metalúrgica

Aprovada em: 10/02/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marcelo José Gomes da Silva (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jorge Luiz Cardoso
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^a. Dr. Cândido Jorge de Sousa Lobo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.
Aos meus Pais e Família.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado força mesmo nos piores momentos e por sempre ter posto as pessoas certas no meu caminho.

Aos meus pais Neide e Paulo, por tudo que me proporcionaram e por estarem sempre ao meu lado nesta caminhada.

A minha família, em especial às minhas avós, Francisca Soeiro, Francisca Mateus e Rute, por todo o carinho de sempre. Agradeço também aos incontáveis tios, tias e primos.

Agradeço aos primos queridos Alana, Amanda, Gabriela, Iago e Juliana, por todos os momentos felizes.

Agradeço aos grandes amigos com quem trilhei essa caminhada, Édrio, Juliana, Mateus, Leoni, Gabriel e Felipe, sem os quais não teria sido possível concluir mais esta etapa.

Agradeço ao meu orientador, professor Marcelo, por ter aceitado a minha ideia. Agradeço também ao professor Jorge, por todo o auxílio com este trabalho.

Agradeço a Universidade Federal do Ceará e aos professores do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais por todo o conhecimento passado, em especial à professora Janaína, minha tutora no PET, por todos os conselhos e boas conversas.

RESUMO

Pela sua enorme variedade de propriedades, abundância das matérias-primas empregadas e um custo de produção competitivo as ligas ferrosas são as ligas metálicas mais utilizadas no mundo. Dentre elas se destaca o aço, que são ligas ferro-carbono que podem conter concentrações de elementos de liga e ou tratamentos de modo a favorecer a sua aplicação ao fim destinado. Aqueles produzidos em maior quantidade e por menor preço são os aços com baixo teor de carbono, que são os que contém menos de 0,25% em peso de carbono, e dentre eles se destaca o aço SAE 1020, muito utilizado na construção civil. Além desse, há também os aços microligados, que possuem mais elementos de liga adicionados em concentrações específicas de modo a garantir propriedades necessárias a sua utilização, dentre eles se destaca o aço ASTM A572, utilizado, entre outros, na produção de perfis e chapas. Ambos os aços citados possuem propriedades semelhantes, e, por isso, este estudo abordou, com base em levantamento bibliográfico de livros artigos e teses, as propriedades mecânicas e composições químicas desses aços com o objetivo de avaliar, com base nessas características, a viabilidade de substituição do aço ASTM A572 pelo aço SAE 1020. Conforme o material analisado foi possível observar que as propriedades mecânicas dos aços SAE 1020 e ASTM A572 são, em média, muito próximas, mas que, avaliando os aços SAE 1020 individualmente, para quase todos os casos, não seria possível o seu emprego conforme a norma do aço ASTM A572.

Palavras-chave: ASTM A572. SAE 1020. Propriedades mecânicas. Composição química.

ABSTRACT

Due to its enormous variety of properties, abundance of raw materials used and a competitive production cost, ferrous alloys are the most used metal alloys in the world. Among them, steel stands out, which are iron-carbon alloys that may contain concentrations of alloying elements and/or treatments in order to favor their application to the intended purpose. Those produced in greater quantity and at a lower price are low-carbon steels, which contain less than 0.25% by weight of carbon, and among them the SAE 1020 steel stands out, widely used in civil construction. In addition to this, there are also microalloyed steels, which have more alloying elements added in specific concentrations in order to guarantee the necessary properties for their use, among which the ASTM A572 steel stands out, used, among others, in the production of profiles and sheets. Both steels mentioned have similar properties and, therefore, this study addressed, based on a bibliographic survey of books, articles and theses, the mechanical properties and chemical compositions of these steels in order to evaluate, based on these characteristics, the feasibility of replacement of ASTM A572 steel by SAE 1020 steel. According to the material analyzed, it was possible to observe that the mechanical properties of SAE 1020 and ASTM A572 steels are, on average, very close, but that, evaluating the SAE 1020 steels individually, for almost all cases, its use according to the ASTM A572 steel standard would not be possible.

Keywords: ASTM A572. SAE 1020. Mechanical properties. Chemical composition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Esquema de classificação para ligas ferrosas.	15
Figura 3.2 - Diagrama Fe-Fe ₃ C.	17
Figura 3.3 - Representação esquemática de recozimento pleno.	30
Figura 3.4 - Diagrama esquemático para transformação de têmpera e revenido.....	31
Figura 5.1 - Curva tensão-deformação para o aço A572 GR50	34
Figura 5.2 - Histograma com limite de escoamento de 92 amostras do aço A572 GR60.	36
Figura 5.3 - Histograma do Limite de resistência das amostras de aço A-572 GR60.	36
Figura 5.4 - Histograma com os valores de alongamento para as amostras de aço A- 572 GR60	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Designação, composição química e propriedades mecânicas de alguns aço-carbono e aços de alta resistência e baixa liga.	19
Tabela 3.2 Designações, propriedades mecânicas e aplicações de aços temperados e revenidos.	20
Tabela 3.3 - Designações, composições e aplicações de alguns aços-ferramenta. .	21
Tabela 3.4 - Sistema SAE, AISI e UNS de classificação dos aços.	23
Tabela 3.5 - Faixa de composição química para os diferentes graus de classificação do aço ASTM A-572.	24
Tabela 3.6 - Propriedades mecânicas para os diferentes graus de classificação do aço ASTM A-572.	25
Tabela 3.7- Propriedades mecânicas do aço SAE 1020.	25
Tabela 3.8 - Composição química do aço SAE 1020.	26
Tabela 3.9 - Velocidades relativas de resfriamento de diversos meios.	29
Tabela 5.1 - Composição química aço ASTM A-572 GR50 - Estudo 1.	34
Tabela 5.2 - Resultados do ensaio de tração para a amostra controle.	34
Tabela 5.3 - Propriedades mecânicas do resultado do ensaio de tração para o aço A-572 GR50.	35
Tabela 5.4 - Composição química do metal base, o aço A-572.	35
Tabela 5.5 - Composição química da amostra de aço ASTM A572 GR60.	36
Tabela 5.6 - Resultados do comportamento mecânico do aço A572 GR60.	37
Tabela 5.7 - Composição química das amostras de aço SAE 1020.	38
Tabela 5.8 - Resultados obtidos no ensaio de tração do aço SAE 1020.	38
Tabela 5.9 - Composição química das amostras de aço.	39
Tabela 5.10 - Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração.	39
Tabela 5.11 - Composição química apresentadas para os aços A572 e SAE 1020.	40
Tabela 5.12 - Comparação entre os Limites de Escoamento dos aços SAE 1020 e A572 apresentados.	41
Tabela 5.13 - Comparação entre os Limites de Resistência à Tração dos aços SAE 1020 e A572 apresentados.	42

Tabela 5.14 - Comparação entre o alongamento dos aços SAE 1020 e A572 apresentados.....	43
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	14
2.2	Objetivos Gerais	14
2.3	Objetivos Específicos	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1	Aços	16
3.2	Classificação dos Aços	18
3.2.1	Aços com baixo teor de carbono	18
3.2.2	Aços com teor médio de carbono	20
3.2.3	Aços com teor alto de carbono	21
3.2.4	Classificação de aços conforme SAE/AISI e UNS	22
3.2.5	Aço ASTM A-572	23
3.2.6	Aço SAE 1020	25
3.3	Propriedades Mecânicas	26
3.4	Tratamento Térmico dos Aços	27
3.4.1	Recozimento	29
3.4.2	Têmpera e revenido	30
4	METODOLOGIA	32
4.1	Aspectos Éticos	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
5.1	1º Estudo do aço ASTM A572	33
5.2	2º Estudo do aço ASTM A572	34
5.3	3º Estudo do aço ASTM A572	35
5.4	1º Estudo do aço SAE 1020	37
5.5	2º Estudo do aço SAE 1020	38

5.6	3º Estudo do aço SAE 1020.....	39
5.7	Análise Comparativa entre os aços SAE 1020 e ASTM A572.....	40
6	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

O aço é uma liga de natureza relativamente complexa e sua definição não é simples, visto que, a rigor os aços comerciais não são ligas binárias: de fato, apesar dos seus principais elementos de liga serem o ferro e o carbono, eles contêm sempre outros elementos secundários, presentes devido aos processos de fabricação. (CHIAVERINI, 2002).

Por possuir enorme variedade de propriedades, abundância de matérias-primas empregadas e um preço competitivo o aço é a liga metálica mais utilizada no mundo. Seu mercado consumidor também é amplo, sendo amplamente utilizado na indústria, mas seu principal cliente é a construção civil que consumiu mais de 1/3 da produção de aço no ano de 2017, segundo pesquisa da Associação Brasileira da Construção Metálica.

O principal produto fornecido ao setor da construção civil é o vergalhão, para o qual é comum o uso do aço SAE 1020, mas são produtos importantes também os perfis, vigas e outras estruturas, e dentre os aços estruturais utilizados, está o aço ASMT A572, aço microligado utilizado para fabricação de chapas e perfis laminados.

Ambos os produtos, SAE 1020 e ASMT A572 são aços que possuem semelhanças nas características, quais sejam composição química, propriedades mecânicas como limite de escoamento e limite de resistência à tração.

Portanto, este trabalho tem como objetivo analisar, com base na composição química e propriedades mecânicas, a viabilidade da substituição do aço microligado ASTM A572 pelo aço baixo carbono SAE 1020.

2 OBJETIVOS

2.2 Objetivos Gerais

- Analisar, com base em livros e pesquisas, a viabilidade técnica do emprego do aço SAE 1020 em substituição ao aço microligado ASTM A572, levando em consideração a sua adequação aos critérios estabelecidos na norma A572.

2.3 Objetivos Específicos

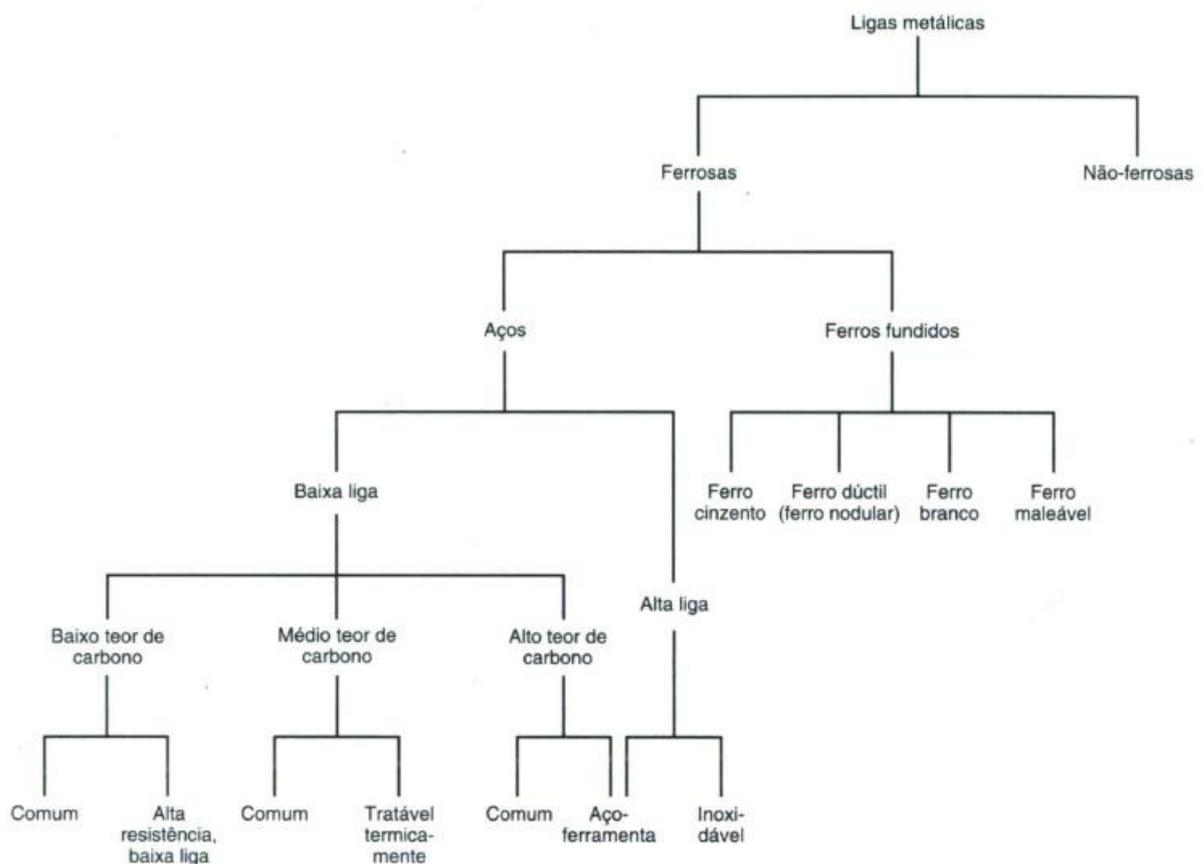
- Apresentar de modo geral os aços e suas utilizações, bem como as utilizações específicas para os aços ASTM A572 e SAE1020.
- Analisar com base na composição química a viabilidade de substituição do aço ASTM A572 pelo SAE 1020.
- Analisar com base nas propriedades mecânicas a adequação do aço SAE 1020 aos requisitos da norma para o aço ASTM A572.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As ligas ferrosas são aquelas em que o ferro é o seu constituinte principal. Se destacam por serem ligas produzidas em maior quantidade que qualquer outro metal e são essencialmente importantes, principalmente como materiais de construção em engenharia (CALLISTER, 2002). Seu destaque em relação a outras ligas metálicas se dá em decorrência de três fatores principais: a abundância de ferro na crosta terrestre; a viabilidade econômica na extração, beneficiamento e produção do ferro metálico e ligas de aço; e a versatilidade das ligas ferrosas, que podem ser adaptadas para possuir uma ampla variedade de propriedades mecânicas e físicas.

A Figura 3.1 mostra um esquema de classificação para as ligas ferrosas.

Figura 3.1 - Esquema de classificação para ligas ferrosas.



Fonte: Callister 2002.

3.1 Aços

Segundo Callister (2002) os aços são ligas ferro-carbono que, inclusive, podem conter concentrações de outros elementos de liga, conferindo aos aços uma variedade de ligas que possuem composições e/ou tratamentos térmicos diferentes. As suas propriedades mecânicas são sensíveis ao teor de carbono, normalmente inferior a 1% em peso, e aos elementos de liga que eventualmente possuir.

A maneira mais comum de classificar os aços é de acordo com a sua concentração de carbono (CALLISTER, 2002):

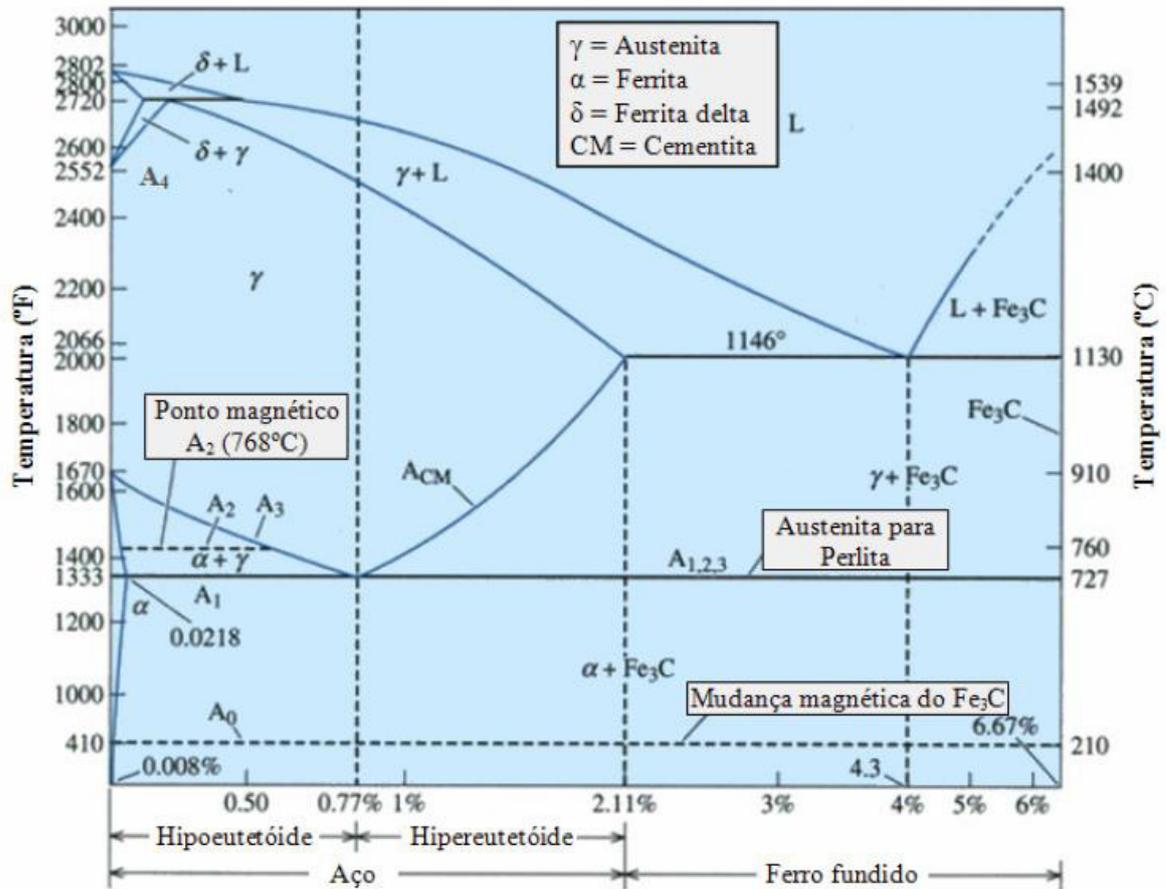
- Aços com baixo teor de carbono: são aços que contêm geralmente menos que 0,25% em peso de Carbono;
- Aços com médio teor de carbono: são aços que possuem concentração de carbono entre 0,25 e 0,60% em peso de Carbono;
- Aços com alto teor de carbono: aços que possuem teores de carbono entre 0,6 e 1,4% em peso de Carbono.

Os aços ainda podem ser divididos em grupos tendo em vista a presença de elementos de liga (CALLISTER, 2002):

- Aços comuns ao carbono: aqueles que contêm apenas concentrações residuais de impurezas além do carbono e de um pouco de manganês;
- Aços-liga: aqueles em que mais elementos de liga são adicionados intencionalmente em concentrações específicas.

Para melhor conhecimento das ligas ferro-carbono é fundamental o estudo do diagrama de equilíbrio dessas ligas, que geralmente é apresentado para até 6,67% de carbono, bem como para compreensão das fases presentes e suas propriedades.

A Figura 3.2 mostra o diagrama da liga Fe-C, para teores até 6,67% de carbono.

Figura 3.2 - Diagrama Fe-Fe₃C.

Fonte: Askeland & Phulé, 2003.

A rigor o diagrama deve ser considerado um diagrama de equilíbrio metaestável, haja vista que, mesmo em ligas Fe-C relativamente puras, o Fe₃C pode se decompor em ferro e carbono na forma de grafita, que é mais estável que o carboneto de ferro (Fe₃C) (CHIAVERINI, 2002).

Quanto as fases presentes no diagrama, observa-se a existência de três fases sólidas α , γ , e δ e o composto Fe₃C (cementita).

- Fase α : Denominada Ferrita, é uma solução sólida intersticial de carbono em ferro α , apresentando estrutura CCC. A solubilidade do carbono na ferrita é baixa, e, em função disso, é a mais macia e dúctil das fases presentes no diagrama Fe-C. Apresente limite de resistência à tração na ordem de 340 MPa, alongamento de 70% e dureza Brinell entre 50 e 100.
- Fase γ : Denominada Austenita, é uma solução sólida intersticial de carbono em ferro γ , apresentando estrutura CFC. Com solubilidade de

carbono maior que na ferrita, chegando a até 2,11% em peso de carbono, as suas propriedades mecânicas tem maior variação. Em função da variação de carbono esta fase é geralmente menos macia e dúctil que a ferrita, tendo limite de resistência à tração entre 686 e 980 Mpa.

- c) Fase δ : pode ser chamada de ferrita- δ , por ser semelhante à fase α . A solubilidade do carbono é pequena, mas pode atingir 0,10% em peso de carbono a 1492 °C.
- d) Fe_3C : Denominada cementita, é um composto intermetálico. Apresenta estrutura cristalina ortorrômbica com doze átomos de ferro e quatro átomos de carbono por célula, o que corresponde a 6,67% em peso de carbono. É uma fase extremamente dura, com aproximadamente 650 de dureza Brinell, frágil e tem um limite de resistência à tração superior a 1960 Mpa.

3.2 Classificação dos Aços

3.2.1 Aços com baixo teor de carbono

Os aços com baixo teor de carbono, dentre todos os tipos de aço, são aqueles produzidos em maior quantidade. São aços que contêm geralmente menos que 0,25% em peso de carbono e não respondem a tratamentos térmicos cujo objetivo é formar martensita. Um aumento da resistência mecânica, portanto, deve ser obtido por meio de trabalho a frio (CALLISTER, 2002).

As microestruturas desses aços são formadas pelos microconstituintes ferrita e perlita. Como consequência essas ligas, apesar de serem moles e fracas, se destacam por possuírem boa ductilidade e tenacidade. Por conta dessas características, os aços baixo carbono são usináveis, soldáveis, e, comparados aos demais tipos, são os mais baratos de serem produzidos.

As principais aplicações a que se destinam esses aços incluem componentes para indústria automobilística, formas estruturais (vigas I, canaletas) e chapas usadas em tubulações, edificações e pontes (CALLISTER, 2002). Em geral são aços que

possuem limite de escoamento de 275 Mpa e limites de resistência à tração entre 415 e 550 Mpa.

Dentro deste grupo, há ainda outros aços com alta resistência e baixa liga (ARBL), que contêm elementos de liga como vanádio, cobre, níquel e molibdênio. A presença destes elementos conferem ao aço com baixo carbono maiores resistências que os comuns. Além disso, conferem a esses a capacidade de serem tratados termicamente, ao contrário dos anteriores, dando limites de resistência à tração superiores a 480 MPa, sendo ainda dúcteis, conformáveis e podem ser usinados.

A tabela 3.1 mostra alguns exemplos dos aços deste grupo e suas composições químicas.

Tabela 3.1 Designação, composição química e propriedades mecânicas de alguns aço-carbono e aços de alta resistência e baixa liga.

Designação		Composição (% em peso)			Propriedades mecânicas			
Número AISI/SAE ou ASTM	Número UNS	C	Mn	Outros	Limite de resistência à tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Ductilidade (%AL, em 50 mm)	Aplicações típicas
Aços-carbono comuns com baixo teor de carbono								
1010	G10100	0,10	0,45		325	180	28	Painéis de automóveis, pregos e arames
1020	G10200	0,20	0,45		380	205	25	Tubos, aço estrutural e em chapas
A36	K02600	0,29	1,00	0,20Cu (mín.)	400	220	23	Estrutural (pontes e edificações)
A516 Classe 70	K02700	0,31	1,00	0,25Si	485	260	21	Vasos de pressão para baixas temperaturas
Aços de alta resistência e baixa liga								
A440	K12810	0,28	1,35	0,30Si (máx.); 0,20Cu(mín.)	435	290	21	Estruturas aparafusadas ou rebitadas
A633 Classe E	K12002	0,22	1,35	0,30Si; 0,08V; 0,02N; 0,03Nb	520	380	23	Estruturas usadas para baixas temperaturas ambiente
A656 Classe 1	K11804	0,18	1,60	0,60Si; 0,1V; 0,20Al; 0,015N	655	552	15	Chassis de caminhões e vagões de trens

Fonte: CALLISTER, 2002

3.2.2 Aços com teor médio de carbono

Os aços com teor médio de carbono, por sua vez, possuem concentrações de carbono entre 0,25 e 0,60% de peso de carbono. Ao contrário das ligas de baixo carbono, as ligas de médio carbono podem ser tratadas termicamente por austenitização, e têmpera seguida de revenimento para melhorar suas propriedades mecânicas, sendo a última a estrutura mais frequentemente utilizada (CALLISTER, 2002).

Embora possuam mais suscetibilidade para tratamento térmico que aços baixo carbono, os aços com teor médio tem baixa endurecibilidade, sendo possível apenas com taxas de resfriamento muito rápidas. Um fator que pode melhorar essa capacidade é adição de elementos como cromo, níquel e molibdênio, que dão origem a uma variedade de combinações de resistência à corrosão e ductilidade (CALLISTER, 2002).

Essas ligas termicamente tratáveis são mais resistentes do que os aços com baixo teor de carbono, e, devido a isso, as suas aplicações incluem o seu uso em rodas e trilhos de trens, engrenagens, virabrequins e demais peças de máquinas e componentes estruturais que exigem alta resistência mecânica e à abrasão e boa tenacidade.

A Tabela 3.2 apresenta as características mecânicas de alguns aços de teor médio de carbono que foram temperados e revenidos.

Tabela 3.2 Designações, propriedades mecânicas e aplicações de aços temperados e revenidos.

Número AISI/SAE	Número UNS	Limite de resistência à tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Ductilidade (%AL em 50 mm)	Aplicações típicas
Aços-carbono com médio teor de carbono					
1040	G10400	605-780	430-585	33-19	Virabrequins, parafusos
1080	G10800	800-1310	480-980	24-13	Talhadeiras, martelos
1095	G10950	760-1280	510-830	26-10	Facas, lâminas de serra para metais
Aços-liga					
4063	G40630	786-2380	710-1770	24-4	Molas, ferramentas manuais
4340	G43400	980-1960	895-1570	21-11	Buchas, tubulações em aeronaves
6150	G61500	815-2170	745-1860	22-7	eixos, pistões, engrenagens

3.2.3 Aços com teor alto de carbono

Por fim, os aços com alto teor de carbono são aqueles que possuem normalmente entre 0,60 e 1,4% em peso de carbono. São, entre os aços comuns ao carbono, aqueles mais duros e mais resistentes, deixando a desejar, no entanto, na ductilidade, sendo os menos dúcteis.

São utilizados, via de regra, temperados e revenidos, e, com essa condição, são ainda mais resistentes ao desgaste e à abrasão e capazes de suportar fio de corte afiado (CALLISTER, 2002). Podem ainda ser adicionados a sua composição cromo, vanádio, tungstênio e molibdênio, que se combinam ao carbono para formar compostos que são muito duros e resistentes ao desgaste e à abrasão.

Dentre as aplicações possíveis se destacam o uso em ferramentas de corte, matrizes para modelação e conformação de materiais, bem como para facas, lâminas de corte, lâminas de serras para metais, molas e arames com alta resistência (CALLISTER, 2002).

A Tabela 3.3 mostra a composições de aços ferramentas e suas aplicações.

Tabela 3.3 - Designações, composições e aplicações de alguns aços-ferramenta.

Número AISI/SAE	Número UNS	Composição (% em peso)						Aplicações típicas
		C	Cr	Ni	Mo	W	V	
M1	T11301	0,85	3,75	0,30 máx.	8,70	1,75	1,20	Brocas; serras; ferramentas de torno e plaina
A2	T30102	1,00	5,15	0,30 máx.	1,15	-	0,35	Punções, matrizes para gravação em relevo
D2	T30402	1,50	12,00	0,30 máx.	0,95	-	1,10 máx.	Cutelaria, matrizes de estiramento
O1	T31501	0,95	0,50	0,30 máx.	-	0,50	0,30 máx.	Folhas de tesoura, ferramentas de corte
S1	T41901	0,50	1,40	0,30 máx.	0,50 máx.	2,25	0,25	Corta-tubos, brocas para concreto
W1	T72301	1,10	0,15 máx.	0,20 máx.	0,10 máx.	0,15 máx.	0,10 máx.	Ferramentas de ferreiro, ferramentas para madeira

Fonte: CALLISTER, 2002.

3.2.4 Classificação de aços conforme SAE/AISI e UNS

Devido à grande variedade de tipos de aços surgiu a necessidade da criação de mecanismos para a sua classificação, os quais são periodicamente submetidos a revisões. Nesse sentido, os aços podem ser classificados de acordo com a composição, processos de acabamento ou a forma do produto acabado (CHIAVERINI, 2002).

Uma das classificações mais gerais é a que leva em consideração a composição química do aço. Dentre os sistemas mais utilizados estão o da AISI (American Iron and Steel Institute) e o da SAE ("Society of Automotive Engineers").

Nesse sentido, o sistema AISI/SAE é baseado em uma denominação composta por quatro, dos quais os dois primeiros dígitos indicam o conteúdo da liga (para aços comuns ao carbono os dois primeiros dígitos são 1 e 0, enquanto os aços-liga são designados por outras combinações) enquanto o terceiro e o quarto dígitos representam a porcentagem em peso de carbono multiplicada por 100 (CALLISTER, 2002).

Além destes, há também o sistema de numeração unificado (UNS – Uniform Numbering System), que é usado para classificar de maneira uniforme tanto as ligas ferrosas como as não ferrosas. Neste modelo, cada número UNS consiste em um prefixo contendo uma única letra, seguido por um número com cinco dígitos. A letra dá o indicativo da família de metais à qual a liga pertence. A designação UNS para os aços começa com um G, seguido pelo número AISI/SAE, enquanto o quinto algarismo é um zero.

A Tabela 3.4 mostra as designações AISI e SAE, bem como a designação correspondente no UNS.

Alguns exemplos de aços seguindo esses sistemas:

Sistema AISI/SAE:

- Classe 1045: aço-carbono com 0,45% de carbono em média;
- Classe 4025: aço-molibdênio com 0,25% de carbono em média

Sistema UNS:

- Classe G10450: aço-carbono com 0,45% de carbono em média;
- Classe G40250: aço-molibdênio com 0,25% de carbono em média.

Tabela 3.4 - Sistema SAE, AISI e UNS de classificação dos aços.

Designação		Tipos de aço
AISI-SAE	UNS	
10XX	G10XXX	Aços-carbono comuns
11XX	G11XXX	Aços de usinagem fácil, com alto S
12XX	G12XXX	Aços de usinagem fácil, com alto P e S
15XX	G15XXX	Aços-Mn com manganês acima de 1%
13XX	G13XXX	Aços-Mn com 1,75%Mn médio
40XX	G40XXX	Aços-Mo com 0,25%Mo médio
41XX	G41XXX	Aços-Cr-Mo com 0,4 a 1,1%Cr e 0,08 a 0,35%Mo
43XX	G43XXX	Aços Ni-Cr-Mo com 1,65 a 2%Ni, 0,4 a 0,9%Cr e 0,2 a 0,3%Mo
46XX	G46XXX	Aços-Ni-Mo com 0,7 a 2%Ni e 0,15 a 0,3%Mo
47XX	G47XXX	Aços-Ni-Cr-Mo com 1,05%Ni, 0,45%Cr e 0,2%Mo
48XX	G48XXX	Aços-Ni-Mo com 3,25 a 3,75%Ni e 0,2 a 0,3%Mo
51XX	G51XXX	Aços-Cr com 0,7 a 1,1%Cr
E51100	GE51986	Aços-Cr (fomo elétrico) com 1%Cr
E52100	GE52986	Aços-Cr (fomo elétrico) com 1,45%Cr
61XX	G61XXX	Aços-Cr-V com 0,6 ou 0,95%Cr e 0,1 ou 0,15%V min
86XX	G86XXX	Aços-Ni-Cr-Mo com 0,55%Ni, 0,5%Cr e 0,2%Mo
87XX	G87XXX	Aços-Ni-Cr-Mo com 0,55%Ni, 0,5%Cr e 0,25%Mo
88XX	G88XXX	Aços-Ni-Cr-Mo com 0,55%Ni, 0,5%Cr e 0,3 a 0,4%Mo
9260	G9260X	Aços-Si com 1,8 a 2,2%Si
50BXX	G50XXX	Aços-Cr com 0,2 a 0,6%Cr e 0,0005 a 0,003%B
51B60	G51601	Aços-Cr com 0,8%Cr e 0,0005 a 0,003%B
81B45	G81451	Aços-Ni-Cr-Mo com 0,3%Ni, 0,45%Cr, 0,12%Mo e 0,0005 a 0,003%B
94BXX	G94XXX	Aços-Ni-Cr-Mo com 0,45%Ni, 0,4%Cr, 0,12%Mo e 0,0005 a 0,003%B

Fonte: CHIAVERINI, 2002.

3.2.5 Aço ASTM A-572

O aço ASTM A-572 é um aço estrutural padronizado pela norma ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS) empregado principalmente na construção de pontes e viadutos. A norma o classifica como um aço de alta resistência e baixa liga e tem como elementos de liga obrigatórios o nióbio, o vanádio, o titânio, o nitrogênio ou uma combinação, que conferem ao aço as propriedades mecânicas necessárias ao seu uso.

A norma ainda o classifica, de acordo com o seu uso, em graus diferentes de composições químicas e propriedades mecânicas, que são graus 42, 50 e 55, que são empregados em construções rebitadas, aparafusadas ou soldadas e 60 e 65 que são utilizados para a construção de pontes rebitadas ou soldadas (ASTM A 572/ 572 M1).

A Tabela 3.5 mostra as faixas de composições químicas para os 5 graus conforme a norma para o aço ASTM A-572.

Tabela 3.5 - Faixa de composição química para os diferentes graus de classificação do aço ASTM A-572.

Aço	%C	%Mn	%P	%S	%Si
ASTM A-572 GR 42 [290]	0.21 máx.	1.35 máx.	0.04 máx.	0.05 máx.	0.4 máx.
ASTM A-572 GR 50 [345]	0.23 máx.	1.35 máx.	0.04 máx.	0.05 máx	0.4 máx.
ASTM A-572 GR 55 [380]	0.25 máx.	1.35 máx.	0.04 máx.	0.05 máx	0.4 máx.
ASTM A-572 GR 60 [415]	0.26 máx.	1.35 máx.	0.04 máx.	0.05 máx	0.4 máx.
ASTM A-572 GR 65 [450]	0.23 máx.	1.65 máx.	0.04 máx.	0.05 máx	0.4 máx.
ASTM A-572 GR 65 [450]	0.26 máx.	1.35 máx.	0.04 máx.	0.05 máx	0.4 máx.

Fonte: ASTM A 572/ 572 M-1, 2014

A Tabela 3.6 mostra as propriedades mecânicas para os 5 graus conforme a norma para o aço ASTM A-572.

Tabela 3.6 - Propriedades mecânicas para os diferentes graus de classificação do aço ASTM A-572.

Grade	Yield Point, min		Tensile Strength, min		Minimum Elongation, % ^{B,C,D}	
	ksi	[MPa]	ksi	[MPa]	in 8 in. [200 mm]	in 2 in. [50 mm]
42 [290]	42	[290]	60	[415]	20	24
50 [345]	50	[345]	65	[450]	18	21
55 [380]	55	[380]	70	[485]	17	20
60 [415]	60	[415]	75	[520]	16	18
65 [450]	65	[450]	80	[550]	15	17

Fonte: ASTM A 572/ 572 M-1, 2014.

3.2.6 Aço SAE 1020

O aço SAE 1020 é um aço baixo carbono, que possui uma ductilidade e uma tenacidade excepcionais, além disso são usináveis, soldáveis e se destacam por serem baratos de serem produzidos (Callister, 2002).

As aplicações típicas para esses aços incluem os componentes de carcaças de automóveis, formas estruturais (vigas I, canaletas e ferros angulados), e chapas usadas em tubulações, edificações e latas estanhadas (Callister, 2002).

Eles podem ainda conter elementos de liga tais como o cobre, o vanádio, que conferem maiores resistências mecânicas, podendo inclusive serem submetidos a tratamentos térmicos, aumentando também sua resistência.

A tabela 3.7 mostra as propriedades do aço SAE 1020.

Tabela 3.7- Propriedades mecânicas do aço SAE 1020.

Aço	Limite de elasticidade (GPa)	Limite de escoamento (MPa)	Limite de resistência à tração (MPa)	Alongamento (%)
SAE 1020	205	350	420	15

A Tabela 3.8 mostra a composição química do Aço SAE 1020.

Tabela 3.8 - Composição química do aço SAE 1020.

Aço	% C	% P	% S	% Mn
SAE 1020	0.18 – 0.23	0.04 máx.	0.05 máx.	0.3 – 0.6

3.3 Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas são características físicas que indicam o comportamento dos materiais quando submetidos a esforços. No caso dos aços ao carbono, essas características são influenciadas, em princípio, por dois fatores, a composição química e a microestrutura (CHIAVERINI, 2002).

No que se refere à composição química, nos aços esfriados normalmente, o elemento predominante de influência nas propriedades mecânicas é o carbono, à medida que aumenta a sua presença, melhoram as propriedades relativas à resistência mecânica, ou seja, há aumento do limite de escoamento, do limite de resistência à tração e a dureza, enquanto que as propriedades relativas à ductilidade e tenacidade são pioradas (CHIAVERINI, 2002).

Já no que se refere à microestrutura, também temos a influência da composição química, já que os microconstituintes presentes, sejam eles a ferrita, perlita ou cementita, são afetados pela quantidade de carbono presente no aço. Mas, além disso, a microestrutura também será afetada:

- Pelo estado ou condição de fabricação do aço: por exemplo, no estado fundido o aço apresenta granulação grosseira, enquanto que no estado de trabalhado a quente (laminado, forjado, etc.) as operações são realizadas na temperatura em que o aço se apresenta no estado austenítico, o que possibilita homogeneização da estrutura seguida de uma recristalização, que produz, após o trabalho a quente, uma redução do tamanho de grão;
- Pelo tamanho de grão austenítico;
- Pela velocidade de resfriamento, que originará as diversas estruturas típicas dos aços e que determinam as suas propriedades finais.

Nesse sentido, as propriedades mecânicas estudadas são:

- Dureza: é a resistência à deformação plástica induzida por penetração de um indentador ou de uma partícula abrasiva;
- Limite de escoamento: é a tensão máxima que se pode aplicar sem que o material sofra deformação permanente ou irreversível;
- Limite de resistência: é a tensão máxima que um material suporta quando tracionado antes de quebrar;
- Alongamento máximo: é a deformação que um material suporta quando tracionado antes de quebrar;
- Tenacidade: é a capacidade de um material absorver energia e se deformar plasticamente sem fraturar;
- Resistência à fadiga: é a tensão abaixo da qual um material pode ser submetido a um número infinito de ciclos de esforços sem sofrer uma fratura por fadiga.

3.4 Tratamento Térmico dos Aços

Tratamento térmico é o conjunto de operações de aquecimento e resfriamento realizadas sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de resfriamento de modo a alterar as propriedades dos aços, ou conferir-lhes características determinadas (CHIAVERINI, 1988).

As propriedades dos aços, como já visto, dependem, além da composição química, de sua microestrutura. Nesse sentido, os tratamentos térmicos são realizados para modificar a estrutura dos aços, de modo que se obtenha a microestrutura com propriedades desejadas. De forma geral, a melhoria de uma ou mais propriedades é obtida com prejuízo de outras. Por exemplo, o aumento da ductilidade provoca simultaneamente a queda na dureza e na resistência à tração.

Os principais objetivos dos tratamentos térmicos são (CHIAVERINI, 1988):

- Remoção de tensões oriundas de resfriamento desigual ou trabalho mecânico;
- Aumento ou diminuição da dureza;
- Aumento da resistência mecânica;
- Melhora da ductibilidade;
- Melhora da usinabilidade;
- Melhora da resistência ao desgaste;
- Melhora das propriedades de corte;

- Melhora da resistência à corrosão;
- Melhora da resistência ao calor;
- Modificação das propriedades elétricas e magnética.

Segundo Chiaverini (1988) os fatores que influenciam nos tratamentos térmicos são:

- **Aquecimento:** o aquecimento é geralmente realizado a uma temperatura acima da crítica, de forma que seja possível uma completa austenitização do aço, ou seja, a total dissolução do carboneto de ferro (Fe_3C) no ferro gama. Esse processo é o ponto de partida para as transformações posteriores, as quais ocorrerão em função da velocidade de resfriamento adotada. Vale ressaltar ainda que quanto mais alta a temperatura, acima da zona crítica, maior a segurança de se alcançar uma completa austenitização, por outro lado, maior será o tamanho de grão da austenita, o que pode representar uma desvantagem (CHIAVERINI, 1988).

- **Tempo de permanência à temperatura de aquecimento:** quanto mais longo o tempo de permanência maior será a dissolução do carboneto de ferro (Fe_3C) no ferro gama, entretanto maior o tamanho de grão resultante. Procura-se, portanto, manter a temperatura apenas pelo tempo estritamente necessário para que se obtenha uma temperatura uniforme em toda a secção do aço.

- **Resfriamento:** é o fator mais importante, pois é o fator que determinará efetivamente a estrutura, e, conseqüentemente, as propriedades finais dos aços. Assim, pela variação da velocidade de resfriamento pode-se obter desde a perlita grosseira (com baixas resistência mecânica e dureza) até a martensita, que é o constituinte mais duro que pode ser obtido nos tratamentos térmicos. Vale salientar que a presença dos elementos de liga e a geometria das peças também influenciarão na estrutura final obtida. Com relação aos meios empregados, usualmente se utiliza o próprio ambiente do forno, o ar e meios líquidos, escolhidos a depender da estrutura final desejada. Por outro lado, um cuidado necessário nessa fase está relacionado a possíveis empenamentos ou fissuras que podem ocorrer, o que requereria alterações e um processo de resfriamento menos severo.

A Tabela 3.9 apresenta alguns meios de resfriamento de acordo com a secção da peça.

Tabela 3.9 - Velocidades relativas de resfriamento de diversos meios.

Meio de resfriamento	Velocidade Relativa de Resfriamento para Diâmetros de:		
	1"	2"	3"
O mais drástico (teórico)	1,23	0,30	0,14
Água em agitação	1,00	0,27	0,13
Óleo em agitação	0,40	0,18	0,093
Corrente de ar	0,032	0,0157	0,0102
Ar tranqüilo	0,0152	0,0075	0,0048

Fonte: Chiaverini, 1988.

3.4.1 Recozimento

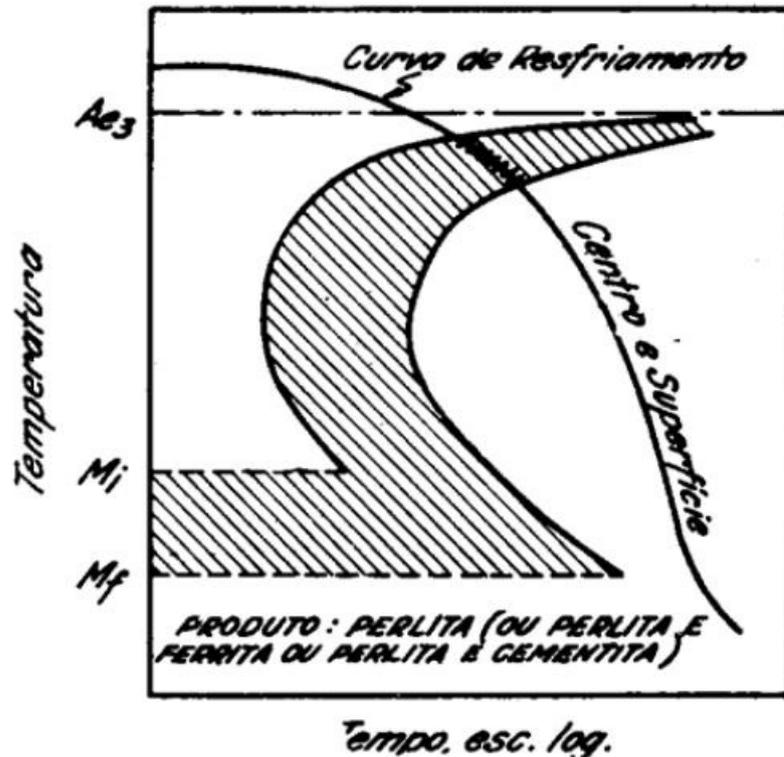
O recozimento é o tratamento térmico realizado principalmente quando se quer remover tensões decorrentes de tratamentos mecânicos, quando se quer diminuir a dureza para melhorar a usinabilidade do aço, quando se quer alterar as propriedades mecânicas como resistência, ductilidade, etc., ajustar o tamanho de grão, ou eliminar efeitos de outros tratamentos térmicos a que tenha se submetido o aço (CHIAVERINI, 1988).

Este tratamento consiste no aquecimento do aço acima da zona crítica, durante tempo suficiente para dissolução do carbono ou elementos de liga no ferro γ , seguido de um resfriamento muito lento, realizado mediante o controle da velocidade de resfriamento do forno, ou mesmo no próprio forno desligado (CHIAVERINI, 1988).

Nessas condições é possível obter perlita grosseira, que é a estrutura ideal para melhorar a usinabilidade dos aços de baixo e médio carbono. Nos aços hipereutetóides se obtém uma estrutura com cementita e perlita.

A Figura 3.3 mostra esquematicamente o processo de recozimento.

Figura 3.3 - Representação esquemática de recozimento pleno.



Fonte: Chiaverini, 1988.

3.4.2 Têmpera e revenido

A têmpera, por sua vez, tem como objetivo a obtenção da estrutura martensítica, resultando no aumento do limite de resistência à tração do aço, bem como da sua dureza. Por outro lado, esse tratamento também resulta na diminuição da ductilidade (baixos valores de alongamento), da tenacidade e no aparecimento de tensões internas, que podem ser atenuados ou eliminados pelo revenido.

A têmpera consiste no resfriamento rápido do aço de uma temperatura superior à sua crítica em um meio como óleo, água, salmoura. A velocidade de resfriamento necessária dependerá do tipo de aço, da forma e das dimensões das peças (CHIAVERINI, 1988).

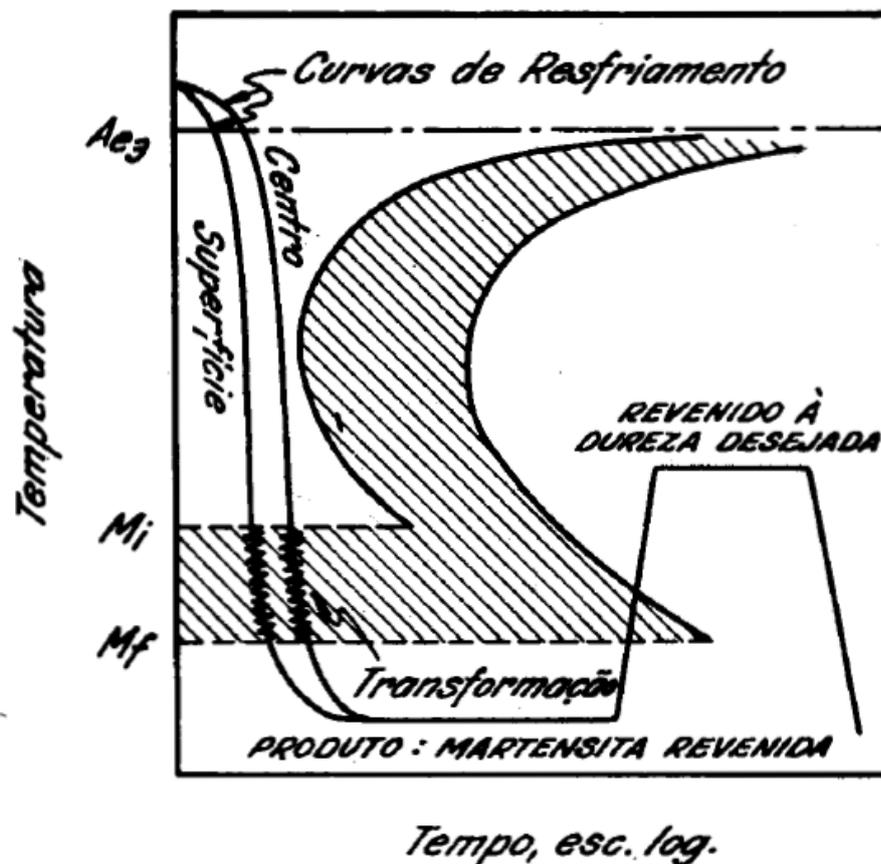
Para que o processo seja bem sucedido, alguns fatores devem ser observados. Inicialmente a velocidade de esfriamento deve ser suficiente para que impeça a transformação da austenita em outras estruturas mistas nas temperaturas mais elevadas na parte da peça que se deseja endurecer, para evitar que se tenha pontos moles na peça. Outro fator importante é o próprio formato das peças, ou seja, quanto

maior a espessura maior será a diferença entre a estrutura formada no centro e na superfície.

Para reduzir as tensões internas resultantes da têmpera pode ser empregado o revenido, que normalmente acompanha aquele processo. Além de reduzir as tensões internas, o revenido ainda corrige dureza excessiva e fragilidade do material, aumentando sua ductilidade. O tratamento consiste no aquecimento da martensita até a temperatura indicada na literatura, que pode variar conforme a composição química, e durante o tempo suficiente para se obter a estrutura desejada. Este processo permite a reversão do reticulado instável da martensita ao reticulado estável cúbico centrado, o que produz reajustamentos internos que aliviam as tensões.

A Figura 3.6 mostra o processo de têmpera seguido do revenido.

Figura 3.4 - Diagrama esquemático para transformação de têmpera e revenido.



Fonte: Chiaverini, 1988.

4 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido com base em conceito de estudo exploratório, fundamentado por meio de uma pesquisa bibliográfica já difundida, constituída de livros e artigos científicos (GIL, 2008, p.50).

Dentre as fontes utilizadas neste trabalho estão livros relacionados a aços e ligas de autores conceituados no ramo da metalurgia, que são Ciência e Engenharia dos materiais de William Callister, Aços e Ligas Especiais de Costa e Silva e Aços e Ferros Fundidos de Vicente Chiaverini.

Além de livros também foram utilizados trabalhos de conclusão de curso, teses e artigos científicos disponíveis no Google Acadêmico.

Para escolha dos materiais levou-se em consideração a presença no material de conteúdo relacionado aos aços SAE 1020 e ASTM A572 e que abordassem a composição química e as propriedades mecânicas desses aços.

Para realização deste trabalho foram utilizadas as informações constantes em cada trabalho que fossem referentes as propriedades mecânicas ou composições químicas dos aços em questão.

4.1 Aspectos Éticos

Ao longo do trabalho todos os autores foram citados devidamente conforme a norma ABNT NBR 6023, que normaliza a produção de referências e compilação de dados. Assim, a coleta de dados deste trabalho se deu com finalidade exclusivamente científica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Levando em consideração as informações dispostas no estudo até então, foram selecionadas diferentes fontes que possibilitarão uma comparação e, por fim, consubstanciar o objetivo do trabalho, que é de averiguar a viabilidade da substituição do aço ASTM A-572 pelo aço SAE 1020.

Para isso serão comparadas as composições químicas e as propriedades mecânicas para cada tipo aço obtidas pelos diferentes autores nos seus respectivos estudos.

Serão objetos de estudo 3 artigos para o aço ASTM A572 e 3 artigos para o aço SAE 1020.

5.1 1º Estudo do aço ASTM A572

O estudo em questão foi um trabalho de conclusão de curso realizado por Jefferson Leandro Herrera Bernal (2019) para obtenção do título de Engenheiro Mecânico e tem como objetivo avaliar a variação das propriedades mecânicas do aço ASTM A572 quando submetido à têmpera, o revenido e a criogenia, além de propor diferentes aplicações possíveis.

Para isso o autor adquiriu o aço A572 Gr50 em lotes de diferentes composições químicas fornecidas pelo fabricante e, com base na média dessas composições, realizou os cálculos das temperaturas intercríticas de austenitização, a temperatura para o revenido e para a criogenia. Separados em grupos para diferentes processos, os corpos de prova preparados segundo a norma ASTM E8 foram submetidos ao aquecimento à 781 °C, seguidos de resfriamento rápido em água, revenido por diferentes períodos de tempo e criogenia durante 24 horas.

Os corpos de prova foram então submetidos ao ensaio de tração, sendo útil a esse estudo os resultados obtidos para o corpo de prova do grupo controle, que não foi submetido a nenhum tratamento térmico.

A Tabela 5.1 mostra a composição média dos corpos de prova.

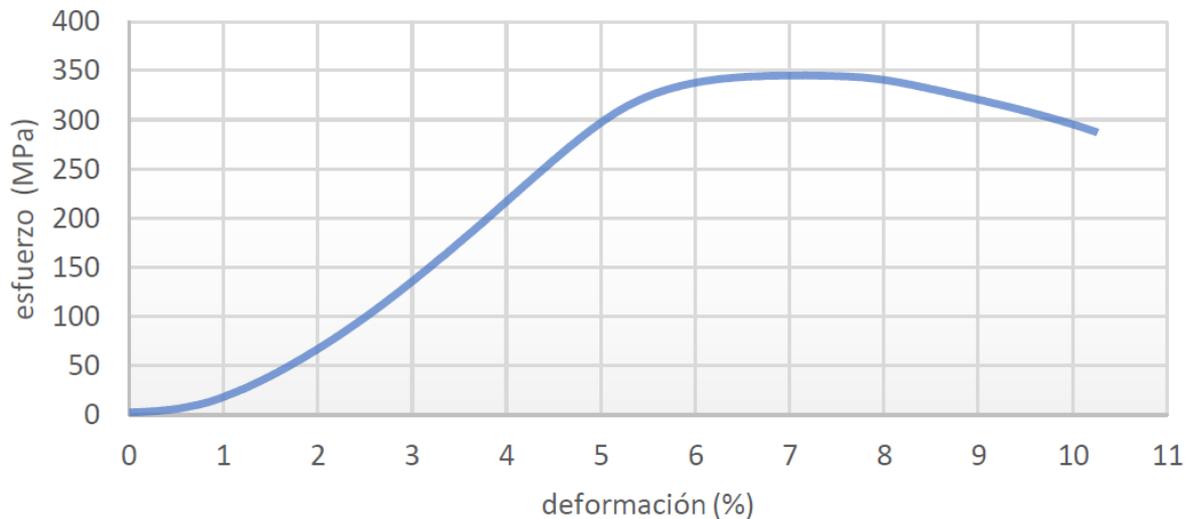
Tabela 5.1 - Composição química aço ASTM A-572 GR50 - Estudo 1.

Material	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%V	%Ti	%Nb
ASTM A-572 GR50	0,1625	0,2125	1,39	0,0168	0,005	0,0048	0,0155	0,0258

Fonte: Bernal, 2019

A Figura 5.1 mostra o gráfico tensão x deformação para a amostra controle, que não foi submetida a tratamentos térmicos.

Figura 5.1 - Curva tensão-deformação para o aço A572 GR50



Fonte: Bernal, 2019

A Tabela 5.2 mostra os resultados obtidos no ensaio de tração para a amostra controle.

Tabela 5.2 - Resultados do ensaio de tração para a amostra controle.

Amostra	LE (MPa)	LR (MPa)	ϵ (%)	Relação
Controle	300	350	11	1,16

Fonte: Bernal, 2019

5.2 2º Estudo do aço ASTM A572

O estudo em questão foi um artigo publicado em revista e realizado por Fernando Vidal dos Santos e José Rubens Gonçalves Carneiro, e teve como objetivo avaliar a estrutura, as propriedades mecânicas e a resistência à corrosão eletroquímica numa solução de ácido sulfúrico do aço ASTM A572 GR50 (SANTOS; CARNEIRO, 2019).

A avaliação das propriedades mecânicas ocorreu por meio de ensaios de microdureza e de tração. Além disso, os autores ainda realizaram uma simulação para reproduzir graficamente o ensaio de tração por meio do software Abaqus.

A Tabela 5.3 mostra as propriedades mecânicas obtidas nos ensaios de tração do aço ASTM A-572 GR50.

Tabela 5.3 - Propriedades mecânicas do resultado do ensaio de tração para o aço A-572 GR50

Material	LE (MPa)	LR (MPa)	ϵ (%)
Metal Base (A-572 GR 50)	420	581	32

Fonte: Santos; Carneiro, 2019.

A Tabela 5.4 mostra os resultados da composição química realizada no espectrômetro ótico de emissão para o aço A-572.

Tabela 5.4 - Composição química do metal base, o aço A-572.

Material	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%V	%Ti	%Nb
Metal Base (A-572 GR 50)	0,18	0,35	1,51	0,016	0,008	0,002	0,014	0,014

Fonte: Santos; Carneiro, 2019.

5.3 3º Estudo do aço ASTM A572

O estudo em questão foi um Projeto de Graduação produzido por Anna Clara de Souza Fernandes Melo e teve como objetivo verificar o impacto da diferença de composição química nas propriedades mecânicas e microestruturais de amostras produzidas por diferentes fornecedores, sendo uma amostra de uma longarina de alta resistência, e amostras de aço ASTM A572 G60.

Para isso, foi analisada inicialmente a composição química das amostras por meio de espectrometria por emissão ótica, em seguida foi verificada a influência dessa composição e do processo de fabricação por Microscopia Óptica e Microscopia Eletrônica de Varredura. Por fim as propriedades mecânicas do material foram medidas por ensaio de tração.

A composição química obtida para o aço ASTM A572 G60 está mostrada na Tabela 5.5.

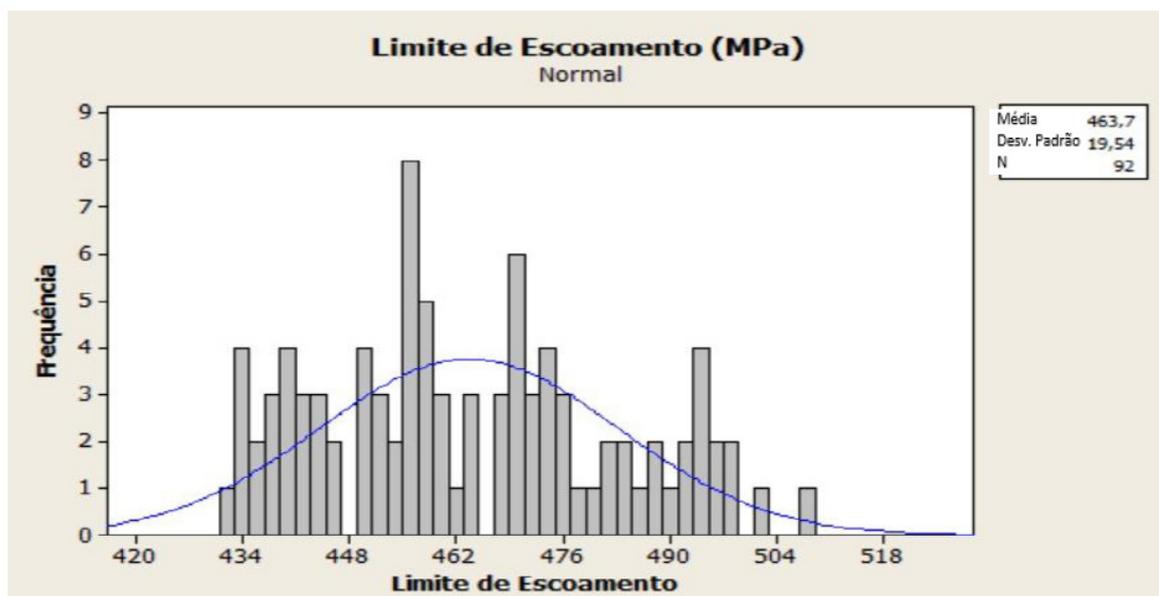
Tabela 5.5 - Composição química da amostra de aço ASTM A572 GR60.

Material	%C	%Mn	%V	%Nb	N (ppm)
ASTM A-572 GR 60	0,22	1,25	0,027	0,02	44

Fonte: Melo, 2019

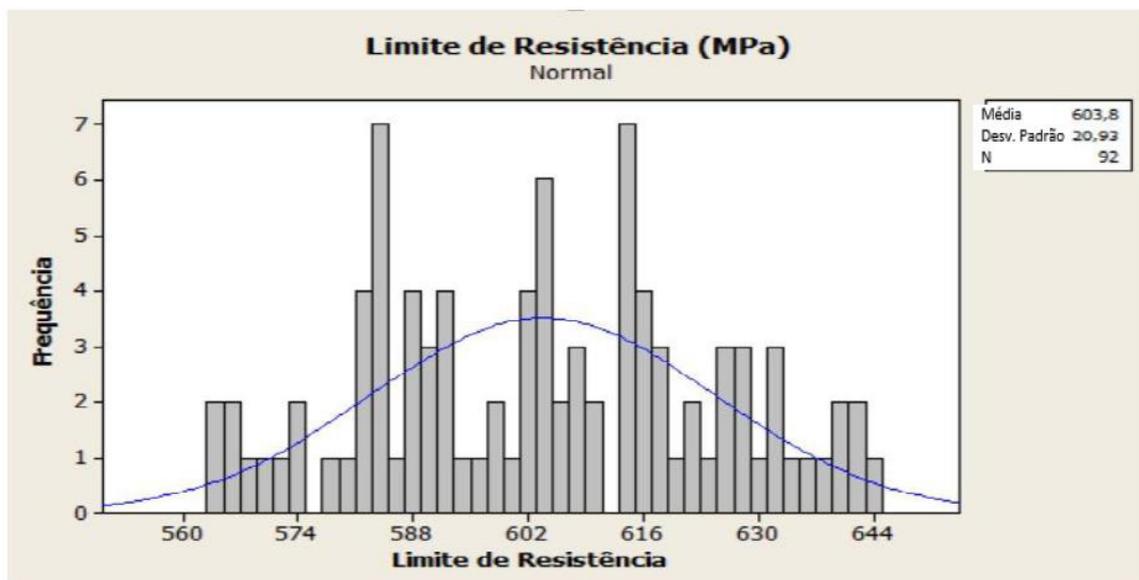
As Figuras 5.2 e 5.3 e 5.4 apresentam o comportamento da amostra de aço A572 GR 60 nos ensaios de tração realizados nas 92 amostras.

Figura 5.2 - Histograma com limite de escoamento de 92 amostras do aço A572 GR60.



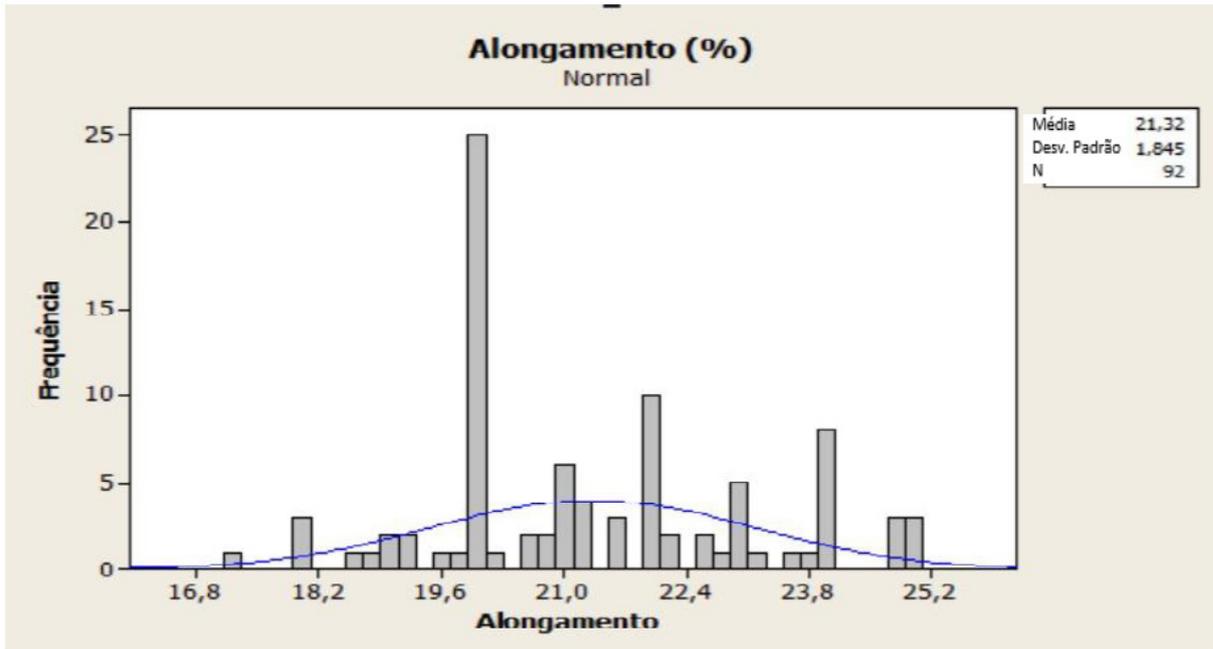
Fonte: Melo, 2019.

Figura 5.3 - Histograma do Limite de resistência das amostras de aço A-572 GR60.



Fonte: Melo, 2019.

Figura 5.4 - Histograma com os valores de alongamento para as amostras de aço A-572 GR60



Fonte: Melo, 2019.

Por fim, a Tabela 5.6 mostra os a média dos resultados do ensaio de tração com o desvio padrão observado entre as 92 amostras.

Tabela 5.6 - Resultados do comportamento mecânico do aço A572 GR60

Material	LE (MPa)	LR (MPa)	Along. (%)
ASTM A-572 GR60	464 ± 19	604 ± 21	21 ± 2

Fonte: Melo, 2019.

5.4 1º Estudo do aço SAE 1020

No estudo em questão os autores Felipe Bejo, Celio Caminaga, Silvio Verdério e Johny Weliton realizaram uma comparação das propriedades mecânicas dos aços SAE 1045 e SAE 1020 em diferentes condições.

Para isso os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tração unidirecional, conforme norma ABNT NBR ISO 6892-1. As amostras de aço SAE 1020 foram submetidas a laminação a quente e trefilação a frio.

A Tabela 5.7 mostra a composição química para os aços estudados.

Tabela 5.7 - Composição química das amostras de aço SAE 1020.

Material	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ni	%Cu
SAE 1020 trefilado a frio	0.19	0.08	0.37	0.010	0.008	0.010	0.01	-
SAE 1020 laminado a quente	0.14	0.14	0.50	0.03	0.022	0.030	-	0.02

Fonte: adaptado de Bejo *et al* (2019).

A Tabela 5.8 mostra as propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração.

Material	LE (MPa)	LR (MPa)	Along. (%)
SAE 1020 trefilado a frio	560,28	615.6	6.08
SAE 1020 laminado a quente	325.8	466.22	37.96

Fonte: adaptado de Bejo *et al* (2019).

5.5 2º Estudo do aço SAE 1020

No presente estudo o autor Evandro Bertoldi teve como objetivo a análise de ensaios de tração em corpo de prova de aço SAE 1020.

Para isso o autor realizou os ensaios em corpos de prova diferentes, normalizados conforme a NBR 6152(2002), um com entalhe e outro sem entalhe, para verificar a diferença entre as resistências mecânicas, já que, teoricamente, se espera que o corpo de prova com entalhe deve ter sua resistência aumentada, ao passo que alongará menos, enquanto que a fratura terá característica de ser frágil.

Como resultado dos ensaios de tração temos os dados mostrados na Tabela 5.9.

Tabela 5.8 - Resultados obtidos no ensaio de tração do aço SAE 1020.

Material	LE (MPa)	LR (MPa)	Along. (%)
SAE 1020 sem entalhe	417.114	462.362	34.8
SAE 1020 com entalhe	331.83	423.046	13.5

Fonte: Bertoldi (2014)

5.6 3º Estudo do aço SAE 1020

O estudo em questão realizado pelo autor e teve como objetivo a caracterização microestrutural e mecânica em vergalhões temperados e autorevenidos.

Para isso foi realizado ensaio de tração conforme a norma NBR 6152 (2002), seguido da realização de ensaio de microdureza para traçar o perfil de microdureza nas diferentes regiões da amostra.

Foram selecionadas cinco amostras, das quais três serão avaliadas neste trabalho, das quais uma amostra não foi submetida a tratamento térmico, enquanto as outras duas amostras consistem no aço laminado a quente a partir de uma temperatura de 1050 °C após serem mantidos a temperatura de 1100 °C e em seguida temperados, submetidos a resfriamento rápido com água pressurizada até uma temperatura de 300 °C e autorevenidos.

A composição química obtida em porcentagem de massa por espectrometria de raios x as quais foram submetidas as amostras está mostrada na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 - Composição química das amostras de aço.

Amostra (diâmetro)	Temperado	% C	%Si	%Mn	%V
1 (8mm)	Sim	0.18	0.14	0.5	0.003
2 (12mm)	Sim	0,18	0,12	0,54	0,002
3 (12mm)	Não	0,21	0,15	0,61	0,003

As propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração, por sua vez, estão mostradas na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração.

Amostra (diâmetro)	Temperado	LE (MPa)	LR (MPa)	Along. (%)
1 (8mm)	Sim	601	663	13.9
2 (12mm)	Sim	583	652	17.64
3 (12mm)	Não	346	478	24.50

5.7 Análise Comparativa entre os aços SAE 1020 e ASTM A572

Com base nos estudos que foram apresentados para os aços SAE 1020 e ASMT A572, é perceptível que há semelhanças tanto na composição química desses aços, quanto nas propriedades mecânicas apresentadas por eles.

Assim, baseado nessas informações colhidas, é possível comparar as composições e propriedades mecânicas, como limite de escoamento, limite de resistência e alongamento entre os aços, bem como entre o aço SAE 1020 e as características exigidas pela norma ASTM A572, para avaliar a sua capacidade para substituir o aço microligado A572.

Assim, a Tabela 5.11 mostra a composição química dos aços A572 e SAE 1020 objetos de estudo nesta análise, bem como a média entre as suas composições e a adequação à norma A572.

Tabela 5.11 - Composição química apresentadas para os aços A572 e SAE 1020.

Aço	%C	%Mn	%P	%S	%Si	Adequação à norma
Norma ASTM A572	0,21 A 0,26 máx.	1,5 máx.	0.04 máx.	0.05 máx.	0.4 máx.	-
1º Estudo A572	0,16	1,39	0,016	0,005	0,21	OK
2º Estudo A572	0,18	1,5	0,016	0,008	0,35	OK
3º Estudo A572	0,22	1,25	-	-	-	OK
Média	0,18	1,38	0,016	0,0065	0,28	-
1º Estudo SAE 1020	0,19	0,37	0,01	0,008	0,08	OK
	0,14	0,5	0,03	0,02	0,14	OK
3º Estudo SAE 1020	0,18	0,5	-	-	0,14	OK
	0,18	0,54	-	-	0,12	OK
	0,21	0,61	-	-	0,15	OK
Média	0,18	0,504	0,02	0,014	0,126	-

Fonte: Autor.

Portanto, como pode ser observado, a média de composição química dos aços SAE 1020 se adequa à composição exigida pela norma ASTM A572 e é relativamente próxima à composição química dos aços A572 apresentados, sendo observado, no entanto, uma diferença considerável no elemento químico manganês, que na média dos aços A572 é 2,7 vezes o apresentado na média dos aços SAE1020.

Partindo para a análise das propriedades mecânicas, a Tabela 5.12 apresenta uma comparação entre os limites de escoamento dos aços SAE 1020 e A572, bem como a média e desvio padrão dos limites de escoamento desses aços.

Tabela 5.12 - Comparação entre os Limites de Escoamento dos aços SAE 1020 e A572 apresentados.

Estudo	LE (MPa)	LE (MPa)	Estudo	
	Aço A572	Aço SAE 1020		
1º Estudo	300	560,28	Trefilado a frio	1º Estudo
		325,8	Laminado a quente	
2º Estudo	420	417	Sem entalhe	2º Estudo
		331,83	Com entalhe	
3º Estudo	464	601	Temperado	3º Estudo
		583	Temperado	
		346	Não temperado	
Média	394	451	Média	
Desvio Padrão	69,30	115,82	Desvio Padrão	

Fonte: Autor.

Com base nas informações mostradas na tabela pode-se perceber que o limite de escoamento médio para o aço SAE 1020 se adequa ao valor exigido para a norma ASTM A572, que é de 345 MPa. No entanto, no caso do SAE 1020 laminado a quente temos uma não adequação, uma vez que o seu LE é de 325 MPa, inferior ao mínimo exigido. O mesmo ocorre com o SAE 1020 com entalhe, que apresentou LE de 331 MPa. Pode-se observar ainda que a média do limite de escoamento do aço SAE 1020 é 14,2% superior à média do limite de escoamento dos aços A572. Vale salientar que o grande valor de desvio padrão apresentado pelos aços SAE 1020 pode estar relacionado às diferentes condições metalúrgicas entre as amostras, quais sejam a de trefilado a frio e laminado a quente, bem como entre as amostras temperadas e as não temperadas.

A Tabela 5.13 apresenta uma comparação entre os limites de resistência à tração apresentados pelos aços em estudo, bem como a médio e desvio padrão para esses valores.

Tabela 5.13 - Comparação entre os Limites de Resistência à Tração dos aços SAE 1020 e A572 apresentados

Estudo	LR (MPa)	LR (MPa)	Estudo	
	Aço A572	Aço SAE 1020		
1º Estudo	350	615,6	Trefilado a frio	1º Estudo
		466,22	Laminado a quente	
2º Estudo	581	462,362	Sem entalhe	2º Estudo
		423,046	Com entalhe	
3º Estudo	604	663	Temperado	3º Estudo
		652	Temperado	
		478	Não temperado	
Média	511,66	537,17	Média	
Desvio Padrão	114,70	94,35	Desvio Padrão	

Fonte: Autor

Assim como observado para o limite de escoamento, pode-se perceber que o limite resistência à tração médio para o aço SAE 1020 se adequa ao valor exigido para a norma ASTM A572, que é de 450 MPa. O aço SAE 1020 com entalhe no entanto, não atenderia à norma, uma vez que apresenta LR de 423 MPa. Pode-se observar ainda que a média do limite de resistência à tração do aço SAE 1020 é 5% superior à média do limite de resistência à tração dos aços A572. Vale salientar que, assim como no caso anterior o grande valor de desvio padrão apresentado pelos aços SAE 1020 pode estar relacionado às diferentes condições metalúrgicas entre as amostras.

A Tabela 5.14 apresenta uma comparação entre os alongamentos apresentados pelos aços SAE 1020 e A572 e percebe-se que, em média, os valores de alongamento para o aço SAE 1020 atendem ao exigido pela norma, que é de, no mínimo 18%. Vale ressaltar, no entanto, que, em alguns casos, o alongamento foi muito abaixo do exigido pela norma, como no caso do SAE 1020 trefilado a frio, que apresentou alongamento de apenas 6%, assim como o SAE 1020 com entalhe submetido ao ensaio de tração, que apresentou alongamento de 13,9%, inferior ao exigido. Por fim, em uma comparação entre os aços temperados e não temperados, observa-se também uma diferença considerável no alongamento, o que, no caso dos temperados, causaria uma reprovação no atendimento à norma.

Tabela 5.14 - Comparação entre o alongamento dos aços SAE 1020 e A572 apresentados.

Estudo	Along. (%) Aço A572	Along. (%) Aço SAE 1020	Estudo	
1º Estudo	11	6,08	Trefilado a frio	1º Estudo
		37,96	Laminado a quente	
2º Estudo	32	34,8	Sem entalhe	2º Estudo
		13,5	Com entalhe	
3º Estudo	21	13,9	Temperado	3º Estudo
		17,64	Temperado	
		24,50	Não temperado	
Média	21,3	21,1	Média	

Fonte: Autor.

6 CONCLUSÃO

Embora o aço SAE 1020 seja um aço baixo carbono teoricamente mais barato de produzir que o aço microligado ASTM A572, ainda é um produto muito versátil. E com a aplicação de tratamentos térmicos, como a têmpera, pode adquirir propriedades mecânicas melhores, viabilizando, assim o seu emprego em substituição a outros aços microligados com maior custo de produção.

Com relação à composição química, há semelhanças entre os aços SAE 1020 e o ASTM A572, conforme observado, o que garantiria uma adequação à norma, no que se refere às composições exigidas para esses aços. Pode-se observar, no entanto, uma diferença considerável no teor de Manganês, que chega a ser quase o triplo nos aços A572 comparados ao que foi observado nos aços SAE 1020 analisados.

Com relação às propriedades mecânicas, foi observado na comparação dos Limite de escoamento que em média os aços SAE 1020 atendem ao mínimo exigido pela norma, embora em alguns casos, como do caso do corpo de prova de SAE 1020 com entalhe e no laminado a quente houve uma inadequação à norma, haja vista que os valores apresentados foram inferiores ao mínimo exigido. Além disso, é possível observar um grande desvio padrão nos aços SAE 1020, se comparado ao analisado entre os estudos do aço A572, que pode ser atribuído às diferentes condições metalúrgicas às quais esses aços foram submetidos.

No que se refere ao Limite de Resistência à tração, em média, os valores apresentados pelo SAE 1020 atendem ao mínimo exigido pela norma para os aços ASTM A572. Além disso, há uma diferença menor entre os valores de Limite de Resistência dos aços SAE 1020 e A572, apenas 5%.

Para o alongamento, embora os aços SAE 1020 em média atendam ao mínimo de 18% de alongamento exigido, as diferenças entre os valores obtidos entre eles é considerável. Nesse critério os aços trefilado a frio, com entalhe e temperados não atenderiam ao mínimo exigido pela norma, o que impossibilitaria o seu uso conforme a norma ASTM A572.

Dessa forma a única condição, dentre as condições que foram avaliadas, em que o aço SAE 1020 poderia substituir o A572 seria na condição de aço não temperado, uma vez que é a única que atende a todos os critérios.

REFERÊNCIAS

- CALLISTER, William. **Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma introdução**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 6. ed. São Paulo: [s. n.], 1988.
- COSTA E SILVA, André Luiz; MEI, Paulo Roberto. **Aços e Ligas Especiais**. 2. ed. [S. l.: s. n.], 1988.
- COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1965
- SALGUEIRO FERREIRA, I. L.; MARTINS LAZAROTTO, G.; MEDEIROS DE FREITAS, I.. **ADEQUAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE PERFIS ASTM A572 G60 PARA PRODUÇÃO DE TORRES DE TRANSMISSÃO** , p. 3500-3507. In: *51º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos - Internacional*, Foz do Iguaçu - Brasil, 2014.
- HERRERA BERNAL, J. L. **Análisis de las diferencias entre la tensión de un Acero ASTM 572 habitual y sometido a los tratamientos térmicos de criogenia temple y revenido a altas temperaturas**. Trabalho de Conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D. C., p. 74. 2019. Disponível em: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/16017>
- SANTOS, F.V.; CARNEIRO, J.R.G. Avaliação das Propriedades Mecânicas e da Resistência À Corrosão Eletroquímica do aço ASTM A572 e de Juntas Soldadas. **Perspectivas Online: Exatas & Engenharia**, v. 09, n. 25, p. 20-48, 2019.
- DE SOUZA FERNANDES MELO, A. C. **Estudo das propriedades mecânicas e microestruturais de aços microligados para aplicação estrutural como longarina**. Projeto de Graduação (Bacharelado em Engenharia de Materiais). Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 59. 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10029775.pdf>
- COSTA E SILVA, André Luiz; MEI, Paulo Roberto. **Aços e Ligas Especiais**. 2. ed. [S. l.: s. n.], 1988.

Norma ASTM A 572/ 572 M-1. STANDARD SPECIFICATION FOR HIGH-STRENGTH LOW- ALLOY COLUMBIUM-VANADIUM STRUCTURAL. American Society for Testing and Materials. EEUU, 2014.

BERTOLDI, E. **Análise de ensaios de tração em corpo de prova de aço SAE 1020. Rio Grande do Sul**, FAHOR, 2014.

DATRES, K. D. L. et al. ENSAIO DE TRAÇÃO E METALOGRAFIA DO AÇO SAE 1020. **Revista Engenharia em Ação Uniledo**, São Paulo, v. 02, 2017. Disponível em: <http://www.ojs.toledo.br/index.php/engenharias/article/view/2578/>

ALBUQUERQUE, J. J. B. **Estudo teórico de viabilidade técnica da substituição do aço ASTM A36 pelo aço SAE 1020**. 2021. 55 f. Monografia (Graduação em Engenharia Metalúrgica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

BEJO, Felipe Govoni et al. Estudo comparativo das propriedades mecânicas dos aços SAE 1045 e SAE 1020, em diferentes condições metalúrgicas, através dos ensaios de tração unidirecional e flexão em três pontos. **Revista Matéria**, v. 26, n. 3.

BARBOSA, L. M.. **Análise de concentração de tensão do aço sae 1020 tratado termicamente**. 2018.

LUZ, G. Aço SAE 1020 Propriedades (e Fornecedores do Aço 1020). Blog Materiais, [s. l], 2017. Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/aco-sae-1020-propriedades-mecanicas.html>. Acesso em: 29 de janeiro de 2022.

EFEITOS DOS ELEMENTOS E LIGA NAS PROPRIEDADES DE AÇOS. [S. l.], 200-?. Disponível em: <https://galvaco.com.br/?p=catalogos>. Acesso em: 29 de janeiro de 2022.

LUZ, G. Aço ASTM A572 Propriedades (e Fornecedores do Aço 1020). Blog Materiais, [s. l], 2017. Disponível em <https://www.materiais.gelsonluz.com/2018/11/astm-a572-propriedades-mecanicas-e.html>. Acesso em: 29 de janeiro de 2022.

WANKA IMIANOWSKY, G; ALBERTO WALENDOWSKY, M. Os principais aços carbono utilizados na construção civil. Disponível em: <http://www.crea-sc.org.br/portal/index.php?cmd=artigos-detalle&id=4191#.YfWIKeqZPIU>. Acesso em: 29 de janeiro de 2022.

ASKELAND, Donald R. **The science and engineering of materials**. Pradeep P. Phule, 6th Ed, 2010.