

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.AÇOS

Os aços são definidos como ligas de ferro-carbono, contendo geralmente 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, e outros elementos resultantes de seu processo de fabricação ou adicionados intencionalmente para a obtenção de propriedades desejadas ^[11].

2.1.1.Classificação dos Aços

Dada a grande variedade de tipos de aços, foram criados sistemas para sua classificação, os quais periodicamente são submetidos a revisões. Sendo assim os aços podem ser classificados em grupos com base às propriedades comuns, como por exemplo, ^[12, 13]:

- A composição química, tal como os aços ao carbono, aços liga ou aços inoxidáveis.
- Os métodos de fabricação, tais como o forno aberto, processo básico do oxigênio, ou métodos do forno elétrico.
- Processos de acabamento, tal como a laminação a quente ou laminação a frio.
- Forma do produto acabado, tal como barras, placas, chapas grossas, chapas finas, tubulação, ou perfis estruturais.
- Forma de desoxidação, tal como o aço acalmado, semiacalmado, tampado, ou efervescente.
- A microestrutura, tal como aços ferríticos, aços perlíticos, e aços martensíticos.
- O nível requerido da resistência, como especificado em padrões de ASTM ou API.

- O tratamento térmico, tal como o recozimento, revenido e têmpera, e os processados termomecanicamente.
- Descrição da qualidade, tais como aços de qualidade do forjamento e aços de qualidade comercial.

Na figura 1, é apresentado um quadro resumo da classificação das ligas ferrosas, feita pela ASTM, onde são divididos os aços segundo a aplicação comercial e a estrutura.

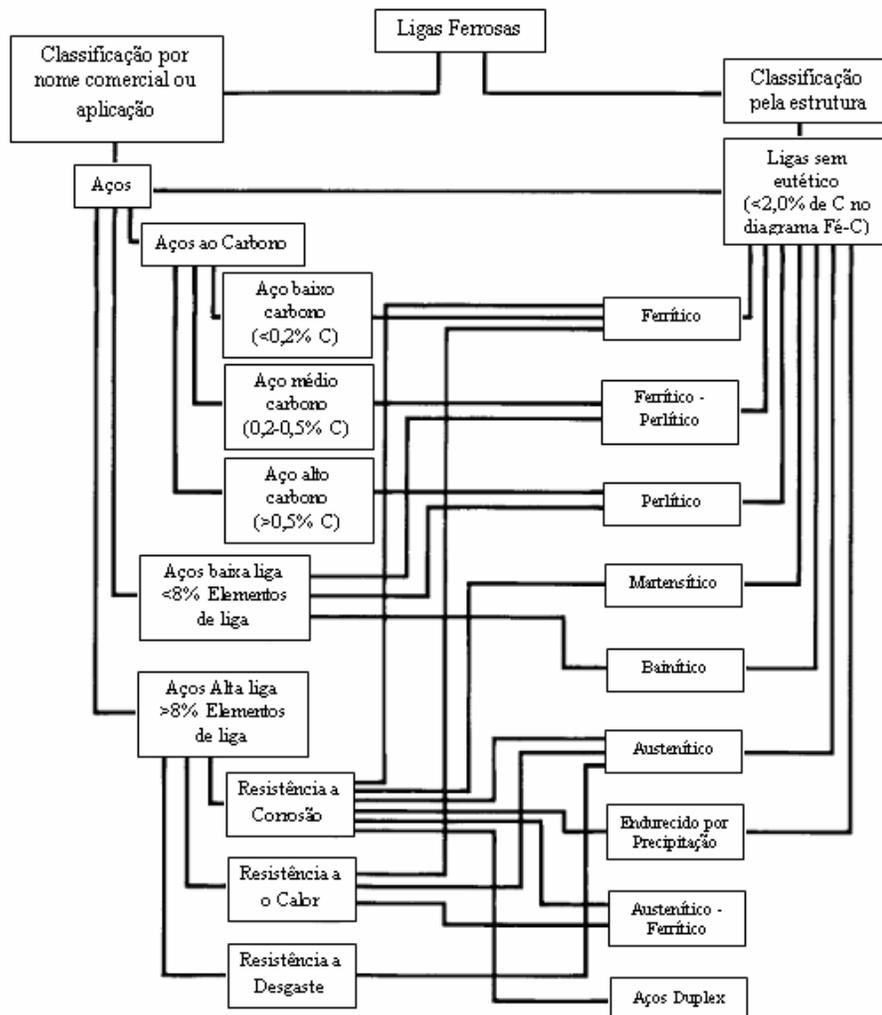


Figura 1. Classificação de aços. Fonte: D.M. Stefanescu, University of Alabama, Tuscaloosa. Metals Handbook. ASTM^[12].

2.1.2. Aços Microligados ^[11,12,13]

São aços baixo carbono ou aços carbono-manganês com pequenas adições (em geral inferiores a 0,1%) de alumínio, vanádio, titânio ou nióbio, podendo conter ainda adições de cobre, molibdênio, níquel ou cromo.

2.1.2.1. Aços API ^[14]

Os tubos utilizados na indústria do petróleo são classificados segundo a norma API em função de sua aplicação e resistência mecânica. A especificação API para tubulação é a API 5L “Specification for Line Pipe Steel” ^[14]. Esta especificação refere-se a tubos sem costura “seamless” e com costura “welded”.

A finalidade desta especificação é fornecer padrões para tubos adequados ao transporte de gás, água e óleo, nas indústrias de petróleo e gás natural. Embora as condições de fornecimento dos tubos sejam estabelecidas pela norma, estas podem também ser negociadas diretamente entre o cliente e o fornecedor.

Os tubos para serem classificados como API, devem atender por exemplo, aos requisitos de propriedades mecânicas, composição química, dimensional, peso. A propriedade que determina o grau do tubo é o limite de escoamento em Ksi, podendo ser classificado como grau A25, A, B e X. Os graus A25 e X são seguidos de dois dígitos que determinam o valor mínimo de escoamento especificado (SMYS – Specified Minimum Yield Strength). Os graus X abrangidos pela norma API 5L são X42, X46, X52, X56, X60, X65, X70, X80 e graus intermediários. A Tabela 1 mostra esta classificação.

Tabela 1 Classificação dos aços para dutos ^[14].

Grau	Limite de Escoamento Mínimo		Limite de Resistência Mínimo	
	psi	MPa	psi	MPa
B	35.000	241	60.000	414
X42	42.000	290	60.000	414
X46	46.000	317	63.000	434
X52	52.000	359	66.000	455
X56	56.000	386	71.000	490
X60	60.000	414	75.000	517
X65	65.000	448	77.000	531
X70	70.000	483	82.000	565
X80	80.000	552	90.000	621

2.1.2.2. Aços ARBL (Alta Resistência Baixa Liga) ^[12, 15]

Até trinta anos atrás a laminação a quente era exclusivamente usada para se dar forma ao material. Os aços usados eram simples, por exemplo, aços ao C-Mn; os requisitos de propriedades mecânicas eram atendidos através da adição de elementos de liga e/ou aplicação de tratamento térmico posterior ^[15]. Por exemplo, chapas grossas para tubos de grande diâmetro da classe de aço API X-56 eram feitas a partir de aço com 0,20% C microligados ao V, submetido à normalização após da laminação a quente, conforme mostrado na figura 2 ^[16]. Os mecanismos de endurecimento atuantes aqui são proporcionados pelo refino de tamanho de grão e solução sólida.

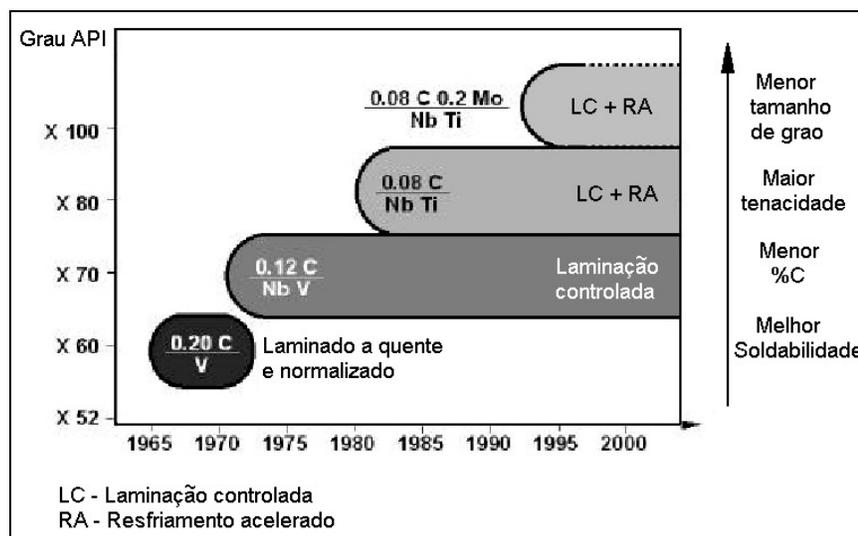


Figura 2. Evolução dos aços utilizados na fabricação de tubos ^[16]

A crise do petróleo ocorrida entre 1975 e 1985 requereu a exploração de campos localizados em regiões muito frias, como por exemplo: Sibéria e Alasca; isso elevou as exigências em termos de tenacidade e soldabilidade do material ^[17]. O transporte de tubos até regiões remotas também exigiu a redução de seu peso para poder diminuir os investimentos necessários para a construção de dutos, o que significou um aumento em sua resistência mecânica.

Essas necessidades foram as que levaram ao surgimento do novo conceito de liga: os aços de alta resistência e baixa liga (ARBL), os quais são um grupo de aços microligados de baixo teor de carbono, desenvolvidos com composição química especial, com intuito de possuir valores de propriedades mecânicas mais altas, quando comparados com os aços convencionais. Os aços ARBL são geralmente produzidos com ênfase nas propriedades mecânicas requeridas bem como nas suas limitações de composição química [15].

As características mecânicas são devidas à granulação fina (6-7 μm) e a fenômenos de precipitação resultantes da composição química e do processo de fabricação. Isto envolve, em geral, a laminação controlada (laminação com um controle restrito da temperatura e quantidade de deformação), seguido por um resfriamento acelerado ao final da laminação ou por um tratamento térmico de normalização.

A melhoria nas propriedades mecânicas como a tenacidade e resistência mecânica, pode ser atingida por meio de tratamentos térmicos ou termomecânicos apropriados, tais como [18]:

- Tratamento de refinação do grão: através da adição de Alumínio, Nióbio, Vanádio e Cobre;
- Tratamento de Normalização;
- Processo Termomecânico de laminação controlada (TMCP);
- Processo Termomecânico de laminagem controlada e resfriamento acelerado;
- Tratamento de têmpera e revenido.

Nesta tese é avaliado um aço de alta resistência baixa liga, microligado ao Nb, Ti e V. O processo de laminação controlada utilizado na fabricação das chapas para os tubos API 5L X80 de fabricação brasileira se dão em três fases principais:

Fase 1, à temperatura de 1250 °C o material é reduzido de espessura, deformando os grãos austeníticos a uma geometria alongada, devido a que a temperatura é muito alta, rapidamente novos grãos de austenita poligonal nucleiam e crescem nos contornos da austenita deformada, sendo de menor

tamanho em relação aos grãos iniciais. Os passes são realizados até iniciar a recristalização estática, é dizer, os novos grãos de austenita deformados e recristalizados, possuem o mesmo tamanho que dos antigos. Ponto A da Fig. 3

Fase 2, a uma temperatura abaixo de 1050 °C, a cada passe de laminação a austenita é deformada sem existir recristalização nos contornos de grão, aumentando a relação área-volume da austenita, conseguindo-se uma redução de grão entre o 60 a 80%. Ponto B da Fig. 3.

Fase 3, realizada a uma temperatura próxima à temperatura de transformação austenita-ferrita (Ar_3), a chapa é resfriada em água, e no momento de atingir a temperatura Ar_3 . A ferrita nucleia nos contornos de austenita deformada. Quanto menor for o tamanho do grão austenítico, maior será o número de sítios onde a ferrita pode nuclear, gerando uma granulometria mais fina. Após a formação dos grãos ferríticos, a chapa é resfriada ao ar. Ponto C da Fig. 3.

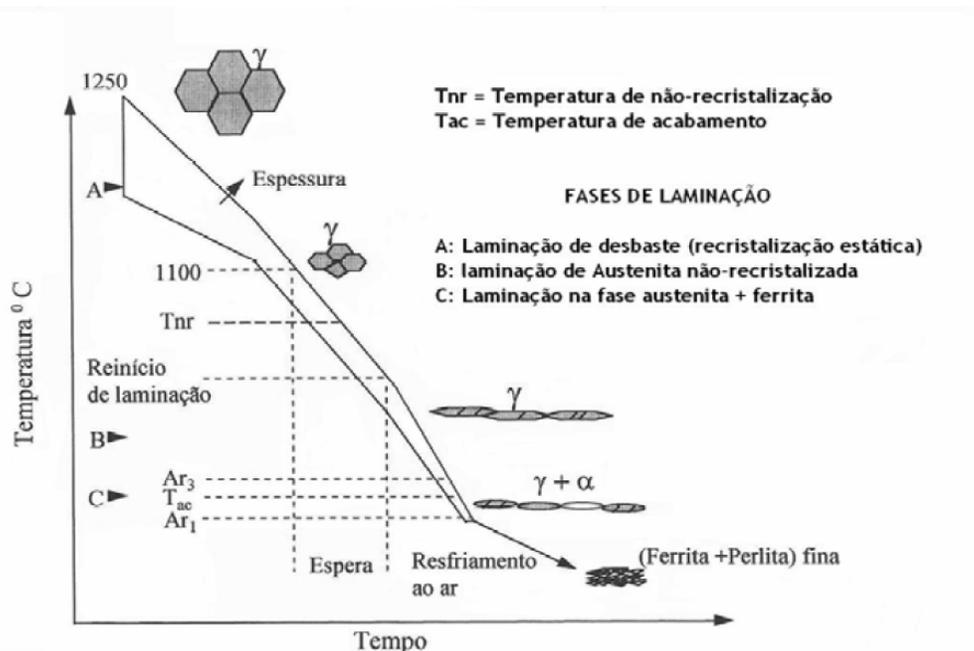


Figura 3. Transformações de fase que ocorrem durante a laminação controlada na fabricação de aços para tubos^[17].

A presença dos elementos microligantes, associada ao tratamento termomecânico aplicado, refinam intensamente o tamanho de grão desse material, obtendo-se simultaneamente maior nível de resistência mecânica e tenacidade. Além disso, os elementos microligantes remanescentes em solução após a

laminação a quente se precipitam na ferrita, aumentando a resistência mecânica, mas reduzindo um pouco a tenacidade do material. O endurecimento por solução sólida também atua neste caso. A união desses mecanismos de endurecimento permite reduzir os teores de carbono e demais elementos de liga, e assim contribuir para a redução do carbono equivalente, aumentando conseqüentemente sua soldabilidade.

2.1.3. Processos de fabricação de tubos API

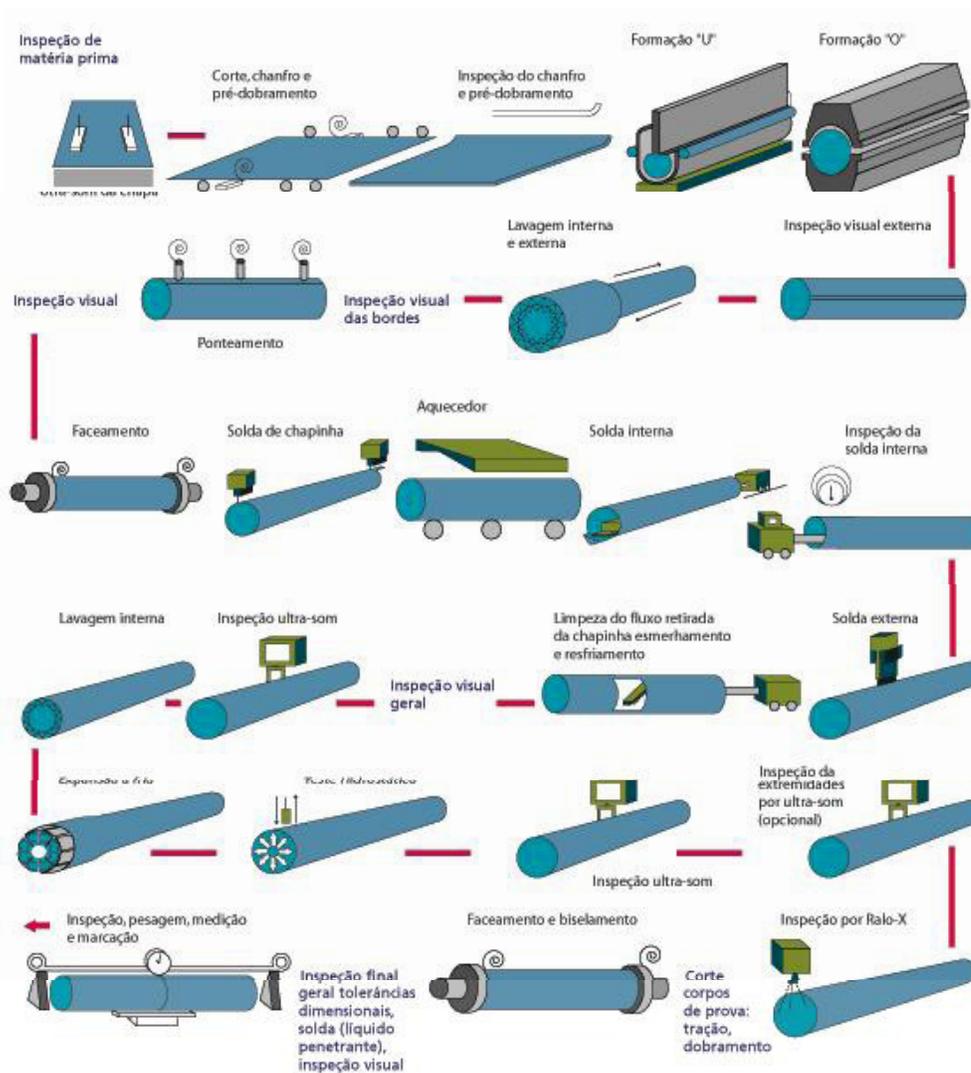


Figura 4. Processo UOE de fabricação de tubos. (Confab Industrial S.A) ^[19].

Os tubos utilizados em linhas de dutos são produzidos conforme a norma

API ^[14]. Existem diversos processos industriais para a produção de tubos, que podem ser fabricados com ou sem soldagem. Ou seja, tubos sem costura “seamless” resultando em tubos sem o cordão de solda ao longo do comprimento, e tubos com costura “welded”.

Tubos produzidos a partir de chapas freqüentemente utilizam o processo de fabricação denominado de UOE, ilustrado na Figura 4 ^[19]. O processo de fabricação consiste inicialmente em conformar à frio a chapa para um formato de U e seqüencialmente, para o formato de O onde as partes laterais são fechadas e um chanfro longitudinal é formado. A etapa posterior é o ponteamento das faces do O, de modo que não ocorram alterações de diâmetro durante o processo de soldagem.

Após o ponteamento é realizada a soldagem final pelo processo de arco submerso (SAW), sendo o primeiro passe interno e o segundo passe externo. Ensaio não destrutivo são feitos para garantir a ausência de defeitos na junta soldada. Logo após, o tubo é submetido a uma expansão (E) pela aplicação de pressão interna, cuja finalidade é de ajustar o diâmetro às normas API 5L. Em seguida, uma nova realização de ensaios não destrutivos é feita na junta soldada. Concluindo o processo, faz-se uma inspeção dimensional e a pesagem do tubo.

2.1.4. Processos de Conformação das Chapas.

No processo de conformação das chapas em tubos, as camadas internas da chapa são deformadas em compressão, enquanto que as externas em tração. Durante a expansão, as camadas internas e externas da parede do tubo são deformadas em tração. No achatamento de uma seção de tubo para confecção de corpos de prova, as camadas internas são deformadas em tração e as externas em compressão. Este efeito deve ser observado quanto a retirada de corpos de prova, uma vez que os resultados obtidos poderão ser conservativos. Os efeitos resultantes desta seqüência de deformações dependem da microestrutura do material (Figura 5) ^[20], como por exemplo, o fenômeno da queda do limite de escoamento em aços ferríticos-perlíticos, (Figura 5) ocorrida durante a

conformação de chapa para tubo. Este fenômeno foi percebido primeiramente por Bauschinger em 1881 e, por isso, é conhecido como efeito Bauschinger ^[21].

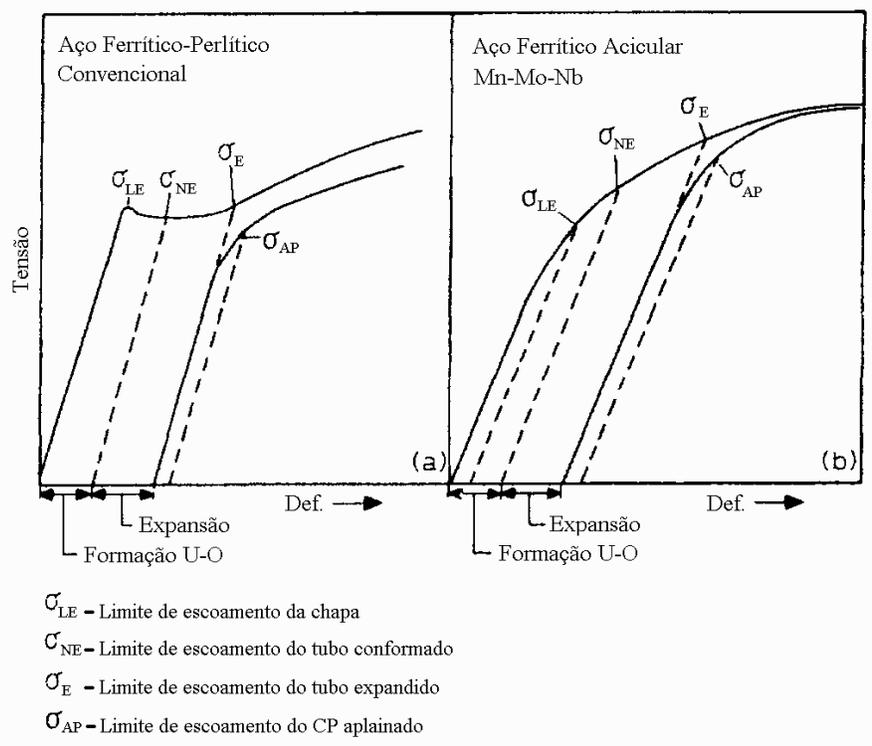


Figura 5. Representação esquemática do comportamento do limite de escoamento durante os processos de conformação ^[20].

Para fins práticos, a diferença na resistência ao escoamento entre a chapa e o tubo acabado é igual ao aumento de resistência devido ao encruamento menos o efeito Bauschinger. Portanto, uma vez que a quantidade de encruamento é muito pequena ou nula nos aços ferríticos-perlíticos, o efeito líquido da conversão da chapa em tubo é uma diminuição de resistência no tubo. Na Figura 5 observa-se que o fenômeno descrito acima não ocorre em aços com microestrutura de ferrita acicular ou ferrita poligonal com partículas de segunda fase (martensita com austenita retida). Neste tipo de microestrutura, as áreas duras de segunda fase, quando tensionadas, introduzem uma alta densidade de discordâncias na ferrita ao redor. Por isso, o coeficiente de encruamento é alto e a deformação ocorre abaixo do limite de escoamento geral da chapa, resultando em uma curva tensão-deformação contínua ^[21].

Trabalhos recentes ^[22, 23] mostraram que, para um aço X80 fabricado por laminação controlada e com uma fração volumétrica de AM em torno de 5%, observa-se um aumento de aproximadamente 50 MPa após a conformação da chapa em tubo pelo processo U-O-E.

No Brasil a possibilidade de produzir aços deste tipo, a partir de uma combinação apropriada de composição química e condições otimizadas de laminação controlada tem sido explorada, visando obter um produto laminado com alta resistência equivalente aquela obtida por laminação controlada seguida de resfriamento acelerado ^[23].

No presente trabalho de tese foram utilizados tubos com costura com metal de adição, produzidos pelo processo UOE. Observa-se que o aço, objeto desta tese, é produzido sem resfriamento acelerado.

2.1.5. Influência da Composição Química nas Propriedades dos Aços ^[24].

A resistência à corrosão é um aspecto muito importante para o material a ser usado na fabricação dos tubos. É já conhecido que as jazidas de petróleo exploradas na atualidade apresentam altos teores de H₂S, este gás dissolvido em solução aquosa, ou formando com o CO₂, o chamado gás azedo (sour gas), é extremamente corrosivo. A ação dessa substância faz com que a superfície interna do tubo trinque mesmo sem estar submetido a tensões externas. Ainda que a ação desta substância possa ser combatida através da purificação prévia ou adição de inibidores ao óleo ou gás a serem transportados, estas soluções aumentam o custo operacional do duto. Então, o ideal é usar tubos de aço capaz de suportar tais condições ^[17].

Entre as medidas necessárias para obter tubos capazes de resistir a estas condições, está a redução da presença de sulfetos na microestrutura do material, bem como a globulização das inclusões remanescentes através de técnicas de metalurgia de panela. A redução da segregação central formada durante o lingotamento contínuo das placas é fundamental. Sob esse aspecto a redução dos teores de C, Mn e P da liga são bem-vindas ^[17]. Pelo tanto, a composição química

tem um papel muito importante, uma vez que esta determina muitas das características dos aços, sendo que os elementos de liga desempenham uma importante função na determinação da microestrutura e nas propriedades dos aços em geral. Sua influência é obtida através de seus efeitos em solução sólida e, principalmente, de seus efeitos como precipitados ^[24]. Nesta seção serão abordados os elementos presentes em aços da classe API, que influenciam a resistência a corrosão.

2.1.5.1. Carbono ^[11, 17, 25]

O carbono (C) é considerado o elemento que oferece a melhor relação custo/benefício para aumentar a resistência mecânica. Comparado com outros mecanismos de endurecimento é considerado o menos desejável pois diminui a tenacidade, ductilidade e soldabilidade ^[17].

Porém, no caso de aços para tubos (API), deve ser utilizado na menor quantidade possível para obter uma melhor soldabilidade (menor carbono equivalente), restringindo a susceptibilidade à trinca a frio na zona termicamente afetada (ZTA), e também melhor tenacidade e ductilidade, já que a diminuição do teor de carbono reduz a temperatura de transição (Dúctil - Frágil), como se pode observar na figura 6 ^[25].

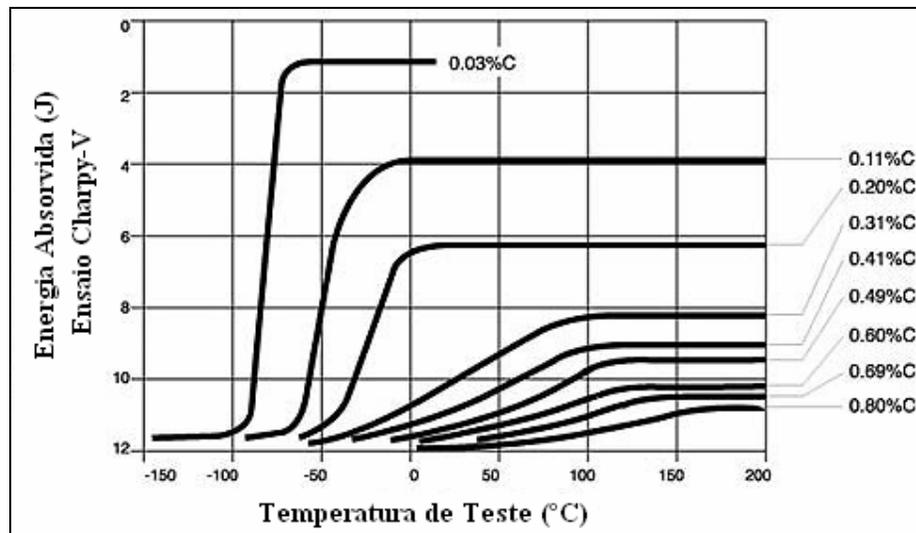


Figura 6

Figura 6. Efeito do teor de carbono nas curvas de temperatura de transição de aços ^[25]

Segundo Hulka ^[25,26], aços de alta resistência e baixa liga com baixos conteúdos de carbono, são um pré-requisito, para evitar as falhas originadas pela recombinação do hidrogênio atômico para H₂ em inclusões alongadas, e sua seguinte propagação em fases duras (por exemplo, a perlita) da microestrutura. Os baixos conteúdos de carbono nestes aços evitam microestruturas bandeadas, dado que qualquer enriquecimento interdendrítico de elementos ligantes durante a solidificação é reduzido.

Conteúdos extremamente baixos de C (<0,01%) podem provocar fratura intergranular na zona afetada termicamente em aços microligados ao nióbio ^[25] quando expostos a corrosão por H₂S. O mecanismo exato de fragilização não está claro, mas a influência do hidrogênio na fragilização do contorno de grão pode ser considerada. Estes resultados sugerem que um conteúdo de carbono de aproximadamente 0,03% favorece o compromisso entre resistência á corrosão e fragilização pelo hidrogênio.

2.1.5.2. Manganês

O manganês (Mn) confere alta resistência mecânica sendo o elemento mais comumente utilizado nos aços ARBL para dutos, que provoca endurecimento por solução sólida. Nas últimas décadas tem se substituído o C pelo Mn, já que uma alta relação Mn/C produz uma melhor tenacidade para um mesmo nível de resistência ^[24]. Por outro lado é prudente limitar o teor de Mn ate 1,2%, elevando desta forma a resistência ao trincamento induzido pelo hidrogênio. Acima de 1,2% Mn, fases duras são formadas na microestrutura, principalmente nas bandas de segregação, que acentuam a união de trincas pelo hidrogênio.

Hulka encontrou que aços com 0,03%C podem tolerar conteúdos de Manganês ate de 1,70% mantendo sua resistência a fragilização pelo hidrogênio. figura 7 ^[27].

As microestruturas ferríticas-perlíticas estão sendo substituídas por estruturas ferrítico-bainíticas, melhorando desta forma a resistência a fragilização pelo hidrogênio do aço. O Mn possui um efeito marcante neste sentido, pois

quando se aumenta o conteúdo de 1,40 para 1,60 e logo para 1,80% a microestrutura transforma-se de ferrita-perlita para ferrita-perlita-bainita e logo para ferrita-bainita, respectivamente [28, 29].

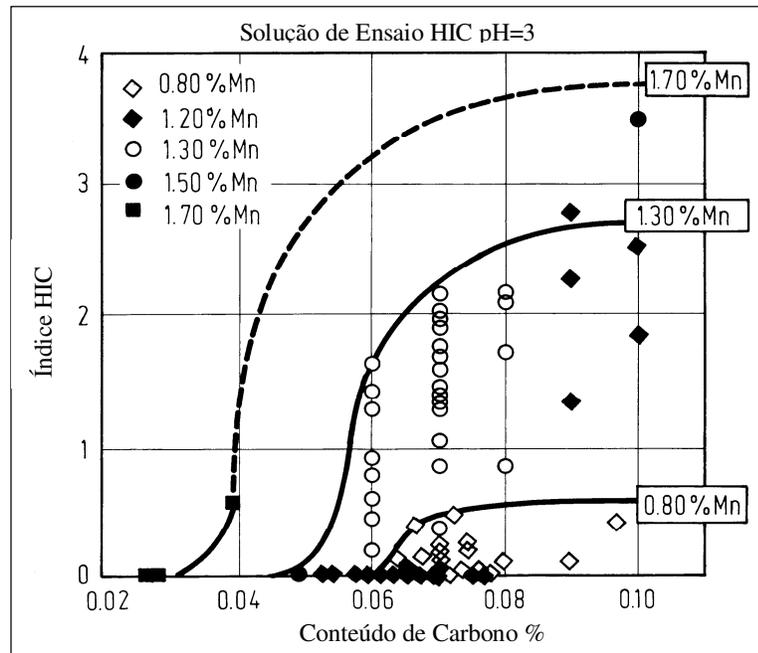


Figura 7. Influência do Carbono e o Manganês na resistência a trincamento pelo hidrogênio [27].

2.1.5.3. Silício

O silício (Si) é usado como desoxidante do aço, favorece sensivelmente a resistência mecânica (limite de escoamento) e a resistência à CST, modificando o formato das inclusões de formas alongadas para pequenas formas globulares [25, 28].

2.1.5.4. Enxofre

O Enxofre (S) é uma impureza extremamente prejudicial, reduz soldabilidade e a ductilidade, em especial o dobramento transversal. Nos aços comuns, o teor de enxofre é limitado a valores abaixo de 0,05% [28]. Valores aproximadamente de 0,005 a 0,010%, geralmente estão presentes uma vez que no processo de fabricação padrão garantem o alongamento requerido e alta energia

charpy, que é necessária para resistir à propagação de trinca em fratura dúctil, por exemplo, nos gasodutos ^[25].

Em condições de serviço ácido, torna-se necessário o controle do teor de enxofre para níveis bem baixos, além de requisitos adicionais como, por exemplo, redução do fosforo, controle das inclusões nas chapas, para melhorar a resistência ao processo de trinca induzida pelo hidrogênio. Estas trincas são causadas pela recombinação do hidrogênio atômico em locais onde há inclusões, resultando em um aumento da pressão no local, elas se formam e juntam em formato de escadas.

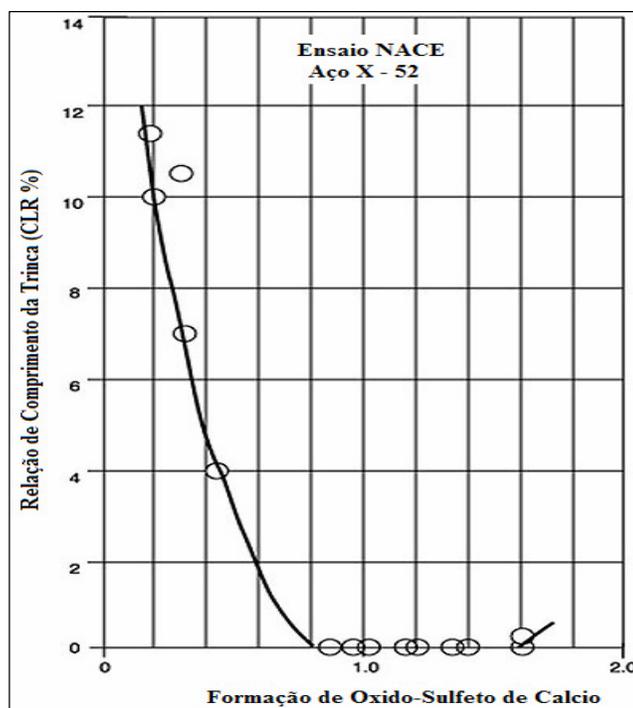


Figura 8. Otimização do controle da forma das inclusões de enxofre como uma função da formação de óxidos-sulfetos de Cálcio. ^[25]

O controle do formato das inclusões de enxofre através da adição de Ca (globulização das inclusões) ajuda a prevenir a formação de MnS de forma alongada, evitando triaxialidade de tensões pontuais ^[25, 29]; há uma faixa ótima de níveis de Ca, para cada conteúdo de enxofre e oxigênio, como indicado na figura 8, que garante o metal livre de trincas. Hulka ^[25] especificou um conteúdo máximo de 10 ppm de S e um residual de Cálcio de 30ppm, para seus testes na pesquisa de aços resistentes a H₂S com 0,03%C e 0,10% Nb.

2.1.5.5. Fósforo

A presença de fósforo (P) aumenta o limite de resistência à tração, favorece a resistência à corrosão e a dureza do material, prejudicando, contudo, a ductilidade e a soldabilidade. A solubilidade do P na ferrita é alta, isso promove o endurecimento e aumenta o tamanho de grão do material, ocasionando a “fragilidade a frio”, representada por baixa resistência ao choque ou baixa tenacidade ^[11], quando ultrapassa certos teores, o fósforo torna o aço quebradiço. Segundo Hulka, a formação de fases duras é promovida pela segregação e o conteúdo de fósforo tem influência sobre o grau de segregação em aços produzidos por lingotamento contínuo, como mostrado na figura 9, pelo tanto o conteúdo de P deve ser controlado para os mínimos valores possíveis (inferiores a 0,015%), e desta forma melhorar a resistência a fragilização pelo hidrogênio ^[25].

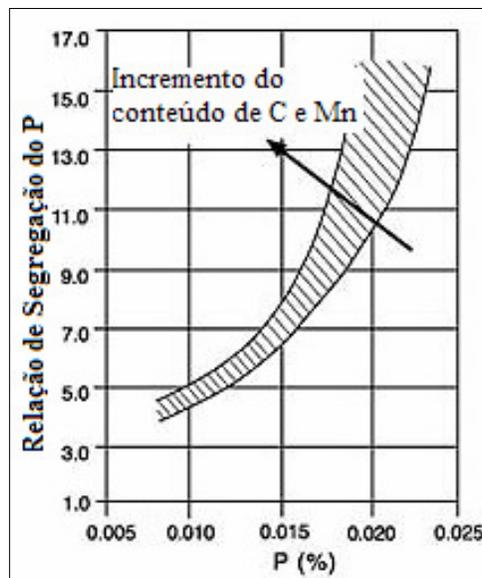


Figura 9. Influência do conteúdo de Fósforo na segregação de aços ARBL produzidos por lingotamento contínuo.^[25]

2.1.5.6. Cobre, Níquel, Cromo e Molibdênio.

A presença de cobre (Cu) em adições de até 0,35% permite a formação de uma camada protetora, que evita a entrada do Hidrogênio no aço, sendo assim eficiente para aumentar a resistência à corrosão atmosférica ^[11, 28].

A adição de Níquel (Ni) provoca também uma mudança na estrutura do material que apresenta melhores características de ductilidade, resistência mecânica a quente, soldabilidade. Aumenta a resistência à corrosão de uma maneira geral [25, 29]. O Cromo (Cr) e Molibdênio (Mo) têm a finalidade de aumentar a resistência à corrosão por via úmida. A presença de Cu, Cr e Mo em solução sólida tende a conter a precipitação, forçando que esta ocorra em uma temperatura mais baixa resultando em um refino dos precipitados.

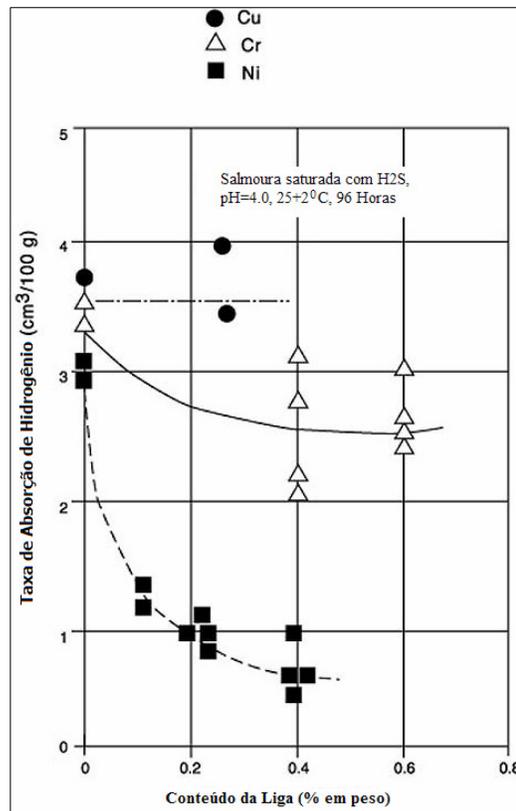


Figura 10. Influência do conteúdo de elementos ligantes na taxa de absorção de Hidrogênio, para aço de alta resistência e baixa liga [25].

O Cr aumenta a resistência mecânica à abrasão e a resistência à corrosão, pois forma camadas de óxidos de Cr que são impermeáveis ao Hidrogênio. O molibdênio aumenta a temperabilidade, diminuindo a formação de perlita e facilitando a formação de ilhas de martensita a partir da austenita retida em uma matriz macia de ferrita [28].

Para testes com baixos valores de pH (pH = 4), figura 10, vários elementos, como níquel (Ni), cromo (Cr) e cobre (Cu), têm o efeito de diminuir a taxa de

corrosão e a absorção de hidrogênio. Considerando a influência benéfica do Cu, Ni, e Cr, estes elementos estão presentes nos aços ARBL para resistir ambientes com H₂S [25].

2.1.5.7. Alumínio

Uma das práticas mais comuns adotadas para a remoção dos óxidos do aço líquido é a desoxidação com Al, devido aos requisitos de soldabilidade, conformabilidade e tenacidade à fratura que demandam pequena quantidade de inclusões não metálicas, implicando em um baixo teor de S e O [29]. O alumínio remanescente no aço após a solidificação, que não estiver na forma de alumina, gera nitreto de alumínio, o qual possui um efeito refinador do grão.

2.1.5.8. Nióbio, Titânio e Vanádio

O nióbio refina o grão melhorando a resistência mecânica e a tenacidade. Este elemento tem diferentes afinidades pelo carbono e nitrogênio na austenita. Nos aços comerciais microligados, o Nb precipita-se normalmente como carbonitreto. Os nitretos de Nb raramente se formam, exceto em aços com muito baixo teor de carbono e muito alto teor de nitrogênio. Por outro lado, nos aços ao Ti, precipitam-se primeiro os nitretos, e após todo o nitrogênio ter-se combinado como nitreto de titânio podem-se precipitar os carbonitretos, caso exista titânio para isso [12]. O Nb e Titânio são elementos "estabilizadores" da austenita, impedem o empobrecimento de cromo via precipitação em forma de carbonetos durante o aquecimento e/ou resfriamento lento em torno dos 700 °C, o que pode levar a uma diminuição da resistência local à corrosão.

O Vanádio (V) proporciona em certos teores um aumento na resistência através do endurecimento por precipitação, para aços de alta resistência o mecanismo predominante do endurecimento envolve a precipitação de nitreto de vanádio na matriz ferrítica [10]. Masakatsu Ueda e colaboradores [1], observaram que para um aço ARBL grau 125 Ksi, a resistência a corrosão em ambientes ácidos melhora quando ocorre redução da densidade de discordâncias e o controle da morfologia dos carbeto no aço. Observaram também que aços contendo vanádio

presentam menor densidade de discordâncias que aços livres de V, apresentando maior resistência a corrosão em ambientes ácidos.

Ensaio de resistência a HIC em metal base e metal de solda de aço X70 ao NbTi e NbV foram feitos por Hillenbrand ^[30], encontrando menores valores das relações de sensibilidade ao trincamento (CSR), comprimento de trinca (CLR), e espessura de trinca (CTR) para o aço X70 microligado ao NbV quando comparado com o X70 microligado ao NbTi (tabela 2), indicando maior resistência a HIC do aço microligado ao NbV.

Tabela 2. Resultados de Ensaio HIC para aço X70 desenhado por Hillenbrand ^[30].

Especificações e Requerimentos		NbTi		NbV	
Condições de Ensaio	Critério de Aceitabilidade	Metal Base	Metal Solda	Metal Base	Metal Solda
pH =3 1 Bar H ₂ S	CTR < 5%	<3%	<5%	< 2%	< 4%
	CLR < 15%	<8%	< 7%	< 7%	< 6%
	CSR < 1,5%	<1%	< 1%	< 1%	< 1%