



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Ciência e Tecnologia

Faculdade de Engenharia

Diego Teixeira Pedro

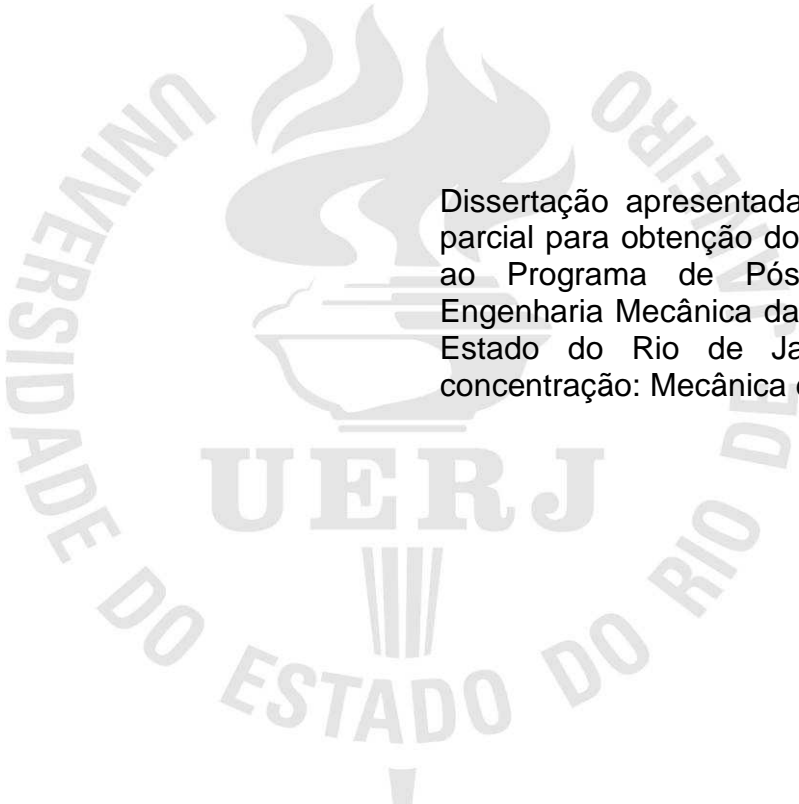
**Caracterização de juntas soldadas por Arame Tubular com
proteção gasosa do aço ferrítico ASTM A335 grau P91, antes e após
situação de duplo reparo**

Rio de Janeiro

2014

Diego Teixeira Pedro

Caracterização de juntas soldadas por Arame Tubular com proteção gasosa do aço ferrítico ASTM A335 grau P91, antes e após situação de duplo reparo



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Mecânica dos Sólidos.

Orientadora: Prof.^a D.Sc. Marília Garcia Diniz

Rio de Janeiro

2014

CATALOGAÇÃO NA FONTE

UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

P372 Pedro, Diego Teixeira.
Caracterização de juntas soldadas por arame tubular com proteção gasosa do aço ferrítico ASTM A335 grau P91, antes e após situação de duplo reparo / Diego Teixeira Pedro. - 2014.
120 f.

Orientador: Marília Garcia Diniz.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Mecânica. 2. Mecânica dos sólidos – Dissertações. 3. Aço – Estruturas soldadas – Dissertações. I. Diniz, Marília Garcia. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 531

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Diego Teixeira Pedro

Caracterização de juntas soldadas por Arame Tubular com proteção gasosa do aço ferrítico ASTM A335 grau P91, antes e após situação de duplo reparo

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Mecânica dos Sólidos.

Aprovado em 22 de outubro de 2014.

Banca Examinadora:

Prof.^a D.Sc. Marília Garcia Diniz (Orientadora)

Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. D.Sc. Francisco José Da Cunha Pires Soeiro

Faculdade de Engenharia - UERJ

Prof. D.Sc. Hector Reynaldo Meneses Costa

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da
Fonseca - CEFET/RJ

Rio de Janeiro

2014

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde e pela força para superar os obstáculos de todos os dias.

À minha esposa Claudiane Campos da Silva pelo apoio nos momentos mais difíceis.

A todos que de alguma forma colaboraram para a execução deste trabalho, em especial:

À minha orientadora, Professora Marília Garcia Diniz, pela companhia, paciência, ensinamentos, pelo profissionalismo e dedicação aos seus alunos e a instituição UERJ.

À empresa UTC Engenharia S.A. que propôs e possibilitou o estudo, disponibilizando o local, o material, equipamentos e os colaboradores necessários para a realização da soldagem, tratamentos térmicos e os ensaios mecânicos de impacto e tração.

Aos Engenheiros da UTC Engenharia S.A. Guttemberg Chagas de Souza e Ismael Cardote Filho pela atenção, paciência e todo o suporte fornecido.

A todos os funcionários da UERJ, principalmente os que estão envolvidos com o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

E por fim, a CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

PEDRO, D. T. *Caracterização de juntas soldadas por Arame Tubular com proteção gasosa do aço ferrítico ASTM A335 P91, antes e após situação de duplo reparo.* 2014. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

Pouco se sabe a respeito das consequências da operação de reparo nas propriedades mecânicas e metalúrgicas das juntas do aço ASTM A335 grau P91 soldadas por Arame Tubular. Neste trabalho foi realizado um estudo para analisar e caracterizar juntas de um tubo do aço P91 soldadas pelo processo Arame Tubular com proteção gasosa, antes e após situação de duplo reparo. Foram utilizadas técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise química semiquantitativa por EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*), microscopia óptica (MO), além da obtenção de medidas de microdureza Vickers e realização de ensaios de impacto e tração à temperatura ambiente. A macrografia revelou a existência de uma nova zona termicamente afetada formada no centro da junta reparada e a análise micrográfica mostrou que esta zona apresentou uma pequena tendência a formação de grãos menores do que na zona de fusão que sofreu reparo, além disso, a região tinha grãos colunares que não são característicos de uma zona termicamente afetada e quantidade de carbonetos menor comparativamente. Não houve variações significativas nos valores de tração e microdureza. Os ensaios de impacto revelaram baixos valores de energia absorvida na zona de fusão do 2º reparo, no entanto, todas as outras zonas avaliadas das juntas com e sem reparo apresentaram valores dentro das especificações.

Palavras-chave: Aço P91; Caracterizar; Arame Tubular; Duplo reparo.

ABSTRACT

PEDRO, D. T. *Characterization of ASTM A335 grade P91 steel joints welded by Flux-Cored Arc Welding (FCAW) with shielding gas, before and after double repair situation. 2014. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.*

Little is known about the consequences of the repair operation on the mechanical and metallurgical properties of ASTM A335 grade P91 steel joints welded by Flux-Cored Arc Welding (FCAW). In this work, a study was made to analyze and characterize joints of P91 steel tube, welded by FCAW with shielding gas, before and after double repair situation. Techniques of scanning electron microscopy (SEM), chemical analysis by semi-quantitative EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) and optical microscopy (OM) were used, in addition, Vickers microhardness measurements, impact and tensile tests at room temperature, were carried out. The macrography revealed the existence of a new heat affected zone formed in the center of the repaired joint and the micrographic analysis showed that this zone has a tendency to formation of smaller grains compared to the repaired fusion zone, furthermore, the region has columnar grains which are not characteristics of a heat affected zone and comparatively lesser amounts of carbides. There were no significant variations in the tensile and hardness values. Impact tests showed low values of absorbed energy in the fusion zone of the second repair; however, all other evaluated zones, with and without repair, had values within specifications.

Keywords: P91 steel; Characterize; FCAW; Double repair.

LISTA DE ILUTRAÇÕES

- Figura 1 - Evolução histórica do aumento da resistência à fluência nos aços ferríticos e austeníticos utilizados em caldeiras **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 2 - Evolução dos aços Cr-Mo em 4 gerações. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 3 - Limite de resistência à ruptura por fluência de aços submetidos a temperaturas entre 500 e 550°C, utilizados em tubulações **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 4 - Temperaturas máximas de serviço de diferentes aços com base numa tensão de 100 MPa para ruptura em 100.000 horas **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 5 - Comparação de espessuras de parede em tubos dos aços P91 e P22 **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 6 - Diagrama CCT do aço ferrítico P91 **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 7 - Microestrutura de martensita revenida do aço P91 modificado obtida por microscopia óptica após ataque químico com reagente Vilella **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 8 - Diagrama de fases do aço P91 **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 9 - Diagrama de Schaeffler, utilizado para estimar as fases metalúrgicas presentes no metal soldado **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 10 - Imagem da microestrutura martensita revenida com presença de ferrita δ no aço P92 obtida por microscopia óptica após ataque químico com reagente Vilella, aumento de 1000x **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 11 - Representação esquemática da localização dos precipitados do aço P91 **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 12 - Microestrutura do aço P91: (a) esquema representativo, (b) microestrutura martensita revenida obtida por MEV. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 13 - Representação esquemática da soldagem TIG **Erro! Indicador não definido.**

- Figura 14 - Representação esquemática da soldagem Arame Tubular com proteção gasosa..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 15 - Zonas constituintes de uma junta soldada em “V” **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 16 - Ciclos térmicos na soldagem do aço P91. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 17 - Efeito do teor de Carbono em relação ao Carbono equivalente sobre a susceptibilidade de fissuração a frio na ZTA **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 18 - Fissura no reaquecimento na ZTA da solda do aço P91: (a) macrografia, (b) micrografia por MO e (c) superfície de fratura obtida por MEV.... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 19 - Representação esquemática das regiões tipicamente encontradas numa junta soldada do aço P91 **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 20 - Microestrutura da zona de fusão: (a) estrutura colunar típica da zona de fusão, (b) microestrutura martensítica completa com a presença de austenita residual e (c) microestrutura martensita revenida em placas **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 21 - Microestrutura da ZTA obtida por microscopia eletrônica de varredura: (a) regiões da ZTA, (b) zona de grãos grosseiros com evidencia da presença de ferrita δ e (c) zona de grãos finos. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 22 - Microestrutura da zona intercrítica obtida por microscopia eletrônica de transmissão: (a) coexistência de ferrita e martensita, (b) presença de ferrita com subgrãos e (c) precipitados **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 23 - Esquema representativo das diferentes transformações microestruturais em cada região da solda **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 24 - Perfil de durezas ao longo da secção transversal do aço P91 soldado após TTPS **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 25 - Perfis de dureza em soldas de aço P91: (a) sem TTPS, (b) após TTPS a 760°C por 2 h e (c) após TTPS a 750°C por 15,3 h **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 26 - Microestrutura dendrítica da zona de fusão antes do TTPS..... **Erro! Indicador não definido.**

- Figura 27 - Ilustração da microestrutura após soldagem multipasses **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 28 - Localização dos tipos (I a IV) mais frequentes de fissuras em juntas soldadas **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 29 - Perfil de fratura do tipo IV em uma junta solda do aço P91 **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 30 - Micrografias e durezas das regiões da junta soldada com fratura do tipo IV **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 31 - Micrografias da zona intercrítica com diferentes ampliações, obtidas por microscopia eletrônica de transmissão: (a, b, c) antes do ensaio de fluência e (d, e, f) após o ensaio de fluência a 600°C, 800 MPa, com tempo de ruptura de 12415 horas **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 32 - Dimensões do chanfro (unidade em mm) . **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 33 - Tubo na posição 6G para soldagem. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 34 - Junta com isolamento térmico..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 35 - Sequência de alterações na junta soldada. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 36 - Amostras para análise macro e micrográfica. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 37 - Regiões e zonas analisadas nas juntas com e sem reparo. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 38 - Linhas de indentação para os perfis de dureza. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 39 - Dimensões do corpo de prova para ensaio de impacto **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 40 - Regiões de retirada dos corpos de prova para impacto da solda com reparo..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 41 - Corpo de prova para ensaio de tração **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 42 - Macrografia da junta sem reparo. Aumento de 50X **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 43 - Macrografia da junta com reparo..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 44 - Aspecto micrográfico do metal de base da amostra reparada. Aspectos micrográficos do metal de base para amostra sem reparo é muito semelhante..... **Erro! Indicador não definido.**

- Figura 45 - Aspecto micrográfico da ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB, região próxima à região intercrítica, amostra com duplo reparo. MO, aumento de 500x. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 46 - Aspecto micrográfico da ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB, região de grãos finos, amostra com duplo reparo. MO, aumento de 500x..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 47 - Aspecto micrográfico da ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB, região de grãos grosseiros, amostra com duplo reparo. MO, aumento de 500x. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 48 - Aspectos micrográficos da ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB, amostra com duplo reparo. MO, aumentos de 1000x: grãos grosseiros (esquerda), grãos finos (centro) e limite com região intercrítica (direita)....
..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 49 - Aspecto micrográfico da ZTA central da junta reparada. MO, região de enchimento, Arame Tubular amostra, com duplo reparo, aumento de 1000x. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 50 - Aspecto micrográfico da ZF do 2º reparo. MO, região de enchimento, Arame Tubular, amostra com duplo reparo, aumento de 1000x. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 51 - Aspecto micrográfico da ZF do 2º reparo. MO, região da raiz, TIG, amostra com duplo reparo, aumento de 1000x. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 52 - Aspecto micrográfico do metal de base, amostra com duplo reparo, obtido por MEV operando no modo elétrons secundários, com aumento de 1000x..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 53 - Aspecto micrográfico da ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB, amostra com duplo, reparo obtido por MEV operando no modo elétrons secundários, com aumento de 1000x..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 54 - Aspecto micrográfico da ZF do 2º reparo, amostra com duplo reparo, obtido por MEV operando no modo elétrons secundários, com aumento de 1000x..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 55 - Espectro referente ao resultado da análise EDS em parte do MB, ZF do lado sem reparo e ZF do 2º reparo. **Erro! Indicador não definido.**

- Figura 56 - Pontos selecionados da ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB para análise química por EDS..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 57 - Espectro do ponto 1. Presença significativa do Cromo. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 58 - Espectro do ponto 2. Picos de energia maiores para o Ferro. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 59 - Análise EDS *line scan*, ZF do 2º reparo, aumento de 25x..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 60 - Espectro referente ao resultado da análise EDS *line scan*, ZF do 2º reparo da Figura 56..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 61 - Aspecto microestrutural da ZTA central da junta reparada, amostra com duplo reparo, obtida por MEV operando no modo elétrons secundários, aumento de 4000x..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 62 - Aspecto microestrutural da ZTA que não sofreu influência do reparo, amostra com duplo reparo, obtida por MEV operando no modo elétrons secundários, aumento de 4000x. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 63 - Imagens das Figuras 62 e 63 que foram submetidas ao processamento digital de imagens para mostrarem apenas os “pontos claros” ou carbonetos: observa-se uma diferença (análise qualitativa) da densidade de carbonetos na ZTA central da junta reparada, (esquerda) em comparação com a ZTA que não sofreu influência do reparo (direita). **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 64 - Aspecto microestrutural da ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB (esquerda) em comparação com a ZTA que não sofreu influência do reparo (direita), aumento de 4000x..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 65 - Densidades de carbonetos na ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB (esquerda) em comparação com a ZTA que não sofreu influência do reparo (direita)..... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 66 - Raiz da ZF da amostra sem reparo soldada por TIG, aumento de 4000x. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 67 - ZF do 2º reparo soldada por TIG, amostra com reparo, aumento de 4000x. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 68 - ZF da amostra sem reparo soldada por Arame Tubular, aumento de 4000x **Erro! Indicador não definido.**

- Figura 69 - ZF do 2º reparo soldada por Arame Tubular, amostra com reparo, aumento de 4000x.....**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 70 - Perfil de microdureza HV da amostra sem reparo na linha 1 (raiz)... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 71 - Perfil de microdureza HV da amostra com reparo na linha 1 (raiz)... **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 72 - Perfil de microdureza HV da amostra sem reparo na linha 2 (enchimento).**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 73 - Perfil de microdureza HV da amostra com reparo na linha 2 (enchimento).**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 74 - Perfil de microdureza HV da amostra sem reparo na linha 3 (reforço). **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 75 - Perfil de microdureza HV da amostra com reparo na linha 3 (reforço). **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 76 - Aspecto dos corpos de prova retirados da junta com reparo após os ensaios de impacto.**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 77 - Gráfico do ensaio de tração da junta sem reparo.**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 78 - Gráfico do ensaio de tração da junta com reparo.**Erro! Indicador não definido.**
- Figura 79 - Corpos de prova de tração fraturados.....**Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Composição química do aço P91 **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 2 - Propriedades mecânicas de alguns aços ferríticos Cr-Mo à temperatura ambiente..... **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 3 - Propriedades do metal fundido após diferentes tempos de exposição de TTPS **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 4 - Composição química do aço P91 **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 5 - Composição química dos consumíveis. **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 6 - Parâmetros de soldagem **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 7 - Resultados quantitativos obtidos pela análise química semiquantativa por EDS em parte do MB, ZF do lado sem reparo e ZF do 2º reparo. **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 8 - Resultados de dureza Vickers (HV5) após a sobreposição de cinco tratamentos térmicos pós-soldagem **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 9 - Valores médios nas zonas da junta sem reparo. **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 10 - Valores médios nas zonas da junta com reparo. **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 11 - Resultado dos ensaios de impacto na junta sem reparo **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 12 - Resultado dos ensaios de impacto na junta com reparo **Erro! Indicador não definido.**
- Tabela 13 - Resultados dos ensaios de tração **Erro! Indicador não definido.**

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ac1	Linha de transformação da ferrita em austenita durante o aquecimento
Ac3	Linha de transformação bifásica (ferrita + austenita) do domínio austenítico durante o aquecimento
Al	Alumínio
As	Arsênio
ASM	<i>American Society of Metals</i>
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
AWS	<i>American Welding Society</i>
C	Carbono
CE	Carbono equivalente
CE _{total}	Carbono equivalente total
Cr	Cromo
C _{req}	Cromo equivalente
Co	Cobalto
Cu	Cobre
EM	<i>European Norm</i>
Fe	Ferro
Fe ₃ C	cementita
H	Hidrogênio
h	horas
HV	<i>Hardness Vickers</i> (dureza Vickers)
J	Joule
Kgf	quilograma-força
kN	quilo Newton
mm	milímetro
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
MPa	mega Pascal
N	Nitrogênio

Nb	Nióbio
Ni	Níquel
Nieq	Níquel equivalente
S	Enxofre
Sb	Antimônio
Si	Silício
Tf	temperatura de fusão
Tp	temperatura de pico
Tpa	temperatura de pré-aquecimento
TTPS	tratamento térmico pós-soldagem
V	Vanádio
W	Tungstênio
wt %	porcentagem em peso
°C	graus Celsius
%	percentual
α	fase ferrita
α'	martensita fresca
γ	fase austenita
δ	ferrita delta
\emptyset	diâmetro

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	18
1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	Erro! Indicador não definido.
1.1	O Aço ASTM A335 Grau P91	Erro! Indicador não definido.
1.1.1	<u>Características Básicas do Aço P91</u>	Erro! Indicador não definido.
1.1.2	<u>Características Microestruturais e Tratamento Térmico do Aço P91</u>	Erro! Indicador não definido.
1.1.3	<u>Características dos Precipitados</u>	Erro! Indicador não definido.
1.2	Soldagem do Aço P91	Erro! Indicador não definido.
1.2.1	<u>Conceitos Básicos do Processo de Soldagem TIG</u>	Erro! Indicador não definido.
1.2.2	<u>Conceitos Básicos do Processo de Soldagem Arame Tubular</u>	Erro! Indicador não definido.
1.2.3	<u>Macroestrutura da Solda</u>	Erro! Indicador não definido.
1.2.4	<u>Energia de Soldagem</u>	Erro! Indicador não definido.
1.2.5	<u>Ciclo Térmico e Cuidados Associados ao Processo de Soldagem</u>	Erro! Indicador não definido.
1.2.5.1	Fissuração a Frio	Erro! Indicador não definido.
1.2.5.2	Pré-aquecimento e Controle da Temperatura entre Passes	Erro! Indicador não definido.
1.2.5.3	Pós-aquecimento	Erro! Indicador não definido.
1.2.5.4	Tratamento Térmico Pós-soldagem	Erro! Indicador não definido.
1.2.5.5	Fissuração no Reaquecimento	Erro! Indicador não definido.
1.2.6	<u>Microestrutura Após o Processo de Soldagem</u>	Erro! Indicador não definido.
1.3	Características das Juntas Soldadas do Aço P91 Relacionadas à Fluência	Erro! Indicador não definido.
1.3.1	<u>Fenômeno de Fluência</u>	Erro! Indicador não definido.
1.3.2	<u>Mecanismos de Fluência</u>	Erro! Indicador não definido.
1.3.3	<u>Falhas em Juntas Soldadas do Aço P91 Submetidas à Fluência</u>	Erro! Indicador não definido.
2	MATERIAIS E MÉTODOS	Erro! Indicador não definido.
2.1	O Material Soldado	Erro! Indicador não definido.

2.2	Procedimento de Soldagem	Erro! Indicador não definido.
2.3	Preparação Metalográfica	Erro! Indicador não definido.
2.4	Análise Macroscópica	Erro! Indicador não definido.
2.5	Microscopia	Erro! Indicador não definido.
2.5.1	<u>Microscopia Óptica</u>	Erro! Indicador não definido.
2.5.2	<u>Microscopia Eletrônica de Varredura</u>	Erro! Indicador não definido.
2.6	Ensaio Mecânicos	Erro! Indicador não definido.
2.6.1	<u>Ensaio de Microdureza</u>	Erro! Indicador não definido.
2.6.2	<u>Ensaio de Impacto</u>	Erro! Indicador não definido.
3.6.3	<u>Ensaio de Tração</u>	Erro! Indicador não definido.
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	Erro! Indicador não definido.
3.1	Macrografia	Erro! Indicador não definido.
3.2	Aspectos Micrográficos	Erro! Indicador não definido.
3.2.1	<u>Microscopia Óptica</u>	Erro! Indicador não definido.
3.2.2	<u>Microscopia Eletrônica de Varredura</u>	Erro! Indicador não definido.
3.3	Ensaio Mecânicos	Erro! Indicador não definido.
3.3.1	<u>Ensaio de Microdureza</u>	Erro! Indicador não definido.
3.3.2	<u>Ensaio de Impacto</u>	Erro! Indicador não definido.
3.3.3	<u>Ensaio de Tração</u>	Erro! Indicador não definido.
4	CONCLUSÃO	Erro! Indicador não definido.
	REFERÊNCIAS	Erro! Indicador não definido.
	ANEXOS	Erro! Indicador não definido.

INTRODUÇÃO

A necessidade por materiais que atendam as demandas da indústria petrolífera é recorrente. A classe de aços ferríticos Cr-Mo resistentes à fluência é muito utilizada em aplicações na indústria de geração de energia. O aço ASTM grau P91, pertencente a tal classe, é fabricado para uso em tubulações com aplicações típicas como vaso de pressão em ambientes com alta temperatura.

Existe um esforço contínuo para aumentar a economia, eficiência e produtividade nos diversos processos industriais. Contudo, na soldagem deste material, seja para montagem ou operações de reparo, as juntas precisam ser analisadas de forma cuidadosa para que sua resistência não seja prejudicada devido às muitas variáveis existentes nos processos de soldagem [Hilkes & Gross, 2009].

A soldagem é um processo delicado realizado em várias etapas geralmente com a aplicação de um elevado aporte térmico que, conseqüentemente, altera as propriedades dos materiais. Estas alterações nem sempre são desejáveis ou aceitáveis, elas dependem de reações ocorridas durante a solidificação e resfriamento do cordão de solda e de sua microestrutura resultante.

Essencialmente, uma junta soldada possui em sua região características muito particulares que vão distinguir o metal fundido do metal de base e que precisam ser estudadas para prevenir possíveis falhas prematuras em operação, estas características também se alteram de acordo com o processo de soldagem utilizado. Cada processo de soldagem em si conta com inúmeros parâmetros variáveis, como: tensão do arco, corrente, gás de proteção, aporte térmico, temperatura de pré-aquecimento, tratamento térmico de alívio de tensões, entre outras variáveis que podem influenciar na resistência da junta soldada [Marques et al., 2005].

Este trabalho busca analisar e caracterizar juntas de um tubo do aço ASTM A335 grau P91 soldadas pelo processo Arame Tubular com proteção gasosa, antes e após situação de duplo reparo. Embora o processo Arame Tubular seja relativamente antigo, sua utilização na soldagem do aço P91 ainda não está bastante difundida, sobretudo quanto à influência do reparo que, basicamente, é a execução de uma nova solda em uma região que já sofreu efeitos de uma soldagem anterior.

O tema deste estudo foi proposto e apoiado pela empresa UTC Engenharia S.A., que disponibilizou o local, o material e os colaboradores para a realização da soldagem e dos tratamentos térmicos pós-soldagem.

Portanto, o estudo buscou, em um primeiro instante, apresentar as principais características do aço P91 utilizado, tais como sua microestrutura, fases presentes, tipos de precipitados e propriedades mecânicas. Além disso, o estudo abordou a etapa de soldagem do aço P91, incluindo ciclo térmico característico, cuidados associados, o processo de soldagem que foi utilizado na confecção das juntas para o trabalho experimental e o fenômeno de fluência no qual a junta do aço pode ser sujeita em campo. Por fim, o trabalho apresenta os resultados e uma discussão, onde na parte experimental foram utilizadas as técnicas de microscopia óptica (MO), microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise química semiquantitativa por EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*), ensaios de microdureza Vickers, ensaios de impacto e de tração à temperatura ambiente.