



COPPE/UFRJ

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO POR PITES DE AÇOS INOXIDÁVEIS
AUSTENÍTICOS E AUSTENO-FERRÍTICOS EM ÁGUA DO MAR SINTÉTICA COM
DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÍONS CLORETO, PRESENÇA DE CO₂ E
TEMPERATURAS DE 25 E 80°C

Ednilton Alves Pereira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

Orientador: José Antônio da Cunha Ponciano
Gomes

Rio de Janeiro
Abril de 2010

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO POR PITES DE AÇOS INOXIDÁVEIS
AUSTENÍTICOS E AUSTENO-FERRÍTICOS EM ÁGUA DO MAR SINTÉTICA COM
DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÍONS CLORETO, PRESENÇA DE CO₂ E
TEMPERATURAS DE 25 E 80°C

Ednilton Alves Pereira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA METALÚRGICA E DE MATERIAIS.

Examinada por:

Prof. José Antônio da Cunha Ponciano Gomes, D.Sc.

Dra. Olga Baptista Ferraz, D.Sc.

Dra. Zehbour Panossian, D. Sc.

Prof. Achilles Junqueira Bourdot Dutra, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL DE 2010

Pereira, Ednilton Alves

Avaliação da Resistência à Corrosão por Pites de Aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos em água do mar sintética com diferentes concentrações de íons cloreto, presença de CO₂ e temperaturas de 25 e 80°C / Ednilton Alves Pereira. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XXV, 153 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: José Antônio da Cunha Ponciano Gomes
Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, 2010.

Referencias Bibliográficas: p. 144-146.

1. Corrosão por Pite. 2. Aços Inoxidáveis. 3. Água do Mar Sintética. 4. Gás Carbônico

I. Gomes, José Antônio da Cunha Ponciano. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus por guiar meus caminhos, concedendo-me saúde para desenvolver este trabalho e alcançar todos os meus objetivos.

Ao Prof. José Antônio da Cunha Ponciano Gomes pela valiosa orientação e apoio na realização deste trabalho.

A minha mãe, Natalice Leila Alves Pereira, exemplo de força, trabalho, postura acadêmica e ética. Agradeço os conselhos e todo esforço dedicado a mim para que pudesse estar sempre realizando meus sonhos, apesar de saber que todos os agradecimentos que eu venha a fazer ainda serão poucos.

Ao meu pai, Nilton Augusto Pereira, pelos princípios de honestidade demonstrados e críticas feitas as quais contribuíram para minha formação moral e profissional.

Aos meus irmãos, Lenilton Alves Pereira e Thatiane Alves Pereira, que com amizade e companheirismo caminharam comigo em toda esta etapa de minha vida.

A minha namorada, Lícia Cristina Miranda Malavota, pelo apoio incansável durante todas as etapas da elaboração deste trabalho. Agradeço em especial pela compreensão e paciência dispensada, já que muitos foram os momentos de ausência dedicados ao estudo.

A todos os diretores e funcionários da Associação Brasileira de Corrosão – ABRACO, que apoiaram o desenvolvimento deste trabalho e que sempre estiveram dispostos a fornecer auxílio nas mais diversas formas.

A todos do laboratório de Corrosão do PEMM e da Secretaria do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, em especial aos funcionários Alecir, Flávio, Francisco e Chintia.

Aos meus amigos e familiares que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO POR PITES DE AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS E AUSTENO-FERRÍTICOS EM ÁGUA DO MAR SINTÉTICA COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÍONS CLORETO, PRESENÇA DE CO₂ E TEMPERATURAS DE 25 E 80°C

Ednilton Alves Pereira

Abril / 2010

Orientador: José Antônio da Cunha Ponciano Gomes

Programa: Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Esta pesquisa visa avaliar a resistência à corrosão por pites e características de passivação dos aços inoxidáveis austeníticos UNS S31600 e UNS N08904 e dos aços austeno-ferríticos UNS S31803 e UNS S32760 em água do mar sintética com diferentes concentrações de íons cloreto. O trabalho apresenta também um estudo sobre a influência da temperatura e presença de gás carbônico no meio, simulando condições similares às existentes na exploração *offshore* de petróleo na área conhecida como pré-sal, onde a busca por petróleo alcança profundidades de lâminas d'água acima de 2000 metros. Os resultados dos ensaios de polarização anódica demonstram que o aumento de temperatura, presença de CO₂ e elevação da concentração de íons cloreto do meio influenciam negativamente na resistência à corrosão por pites das ligas analisadas. O aço inoxidável UNS S31600 demonstrou possuir a maior susceptibilidade à corrosão por pites enquanto o aço inoxidável UNS S32760 apresentou a menor susceptibilidade em todas as soluções, temperaturas e condições avaliadas.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.)

EVALUATION OF PITTING CORROSION RESISTANCE OF STAINLESS STEEL
AUSTENITIC AND AUSTENITIC-FERRITIC IN SYNTHETIC SEAWATER WITH
DIFFERENT CONCENTRATIONS OF CHLORIDE IONS, PRESENCE OF CO₂ AND
TEMPERATURES OF 25 AND 80°C

Ednilton Alves Pereira

April / 2010

Advisor: José Antônio da Cunha Ponciano Gomes

Department: Metallurgical Engineering and Materials Science

The objective of this research is to evaluate the resistance to pitting corrosion and passivation characteristics of austenitic stainless steels (UNS S31600 and UNSN08904) and austenitic-ferritic steels (UNS S31803 and UNS S32760) in artificial seawater with different concentrations of chloride ions. This research also presents a study about the influence of temperature and presence of carbon dioxide in the environment, simulating conditions like the *offshore* oil exploration in the area known as pre-salt, where the search for oil reaches depths of water depths over 1.25 miles. The results of anodic polarization tests show that the increase of temperature, presence of CO₂ and elevated concentration of chloride ions had a negative influence on the resistance to pitting corrosion at the analyzed alloys. The stainless steel UNS S31600 demonstrated greater susceptibility to pitting corrosion, and the stainless steel UNS S32760 showed the lowest susceptibility of all the solutions, temperatures and conditions studied.

ÍNDICE

I – INTRODUÇÃO.....	1
II – REVISÃO DA LITERATURA	2
II.1 AÇOS INOXIDÁVEIS.....	2
II.1.1 Aços inoxidáveis austeníticos.....	4
II.1.2 Aços inoxidáveis austeno-ferríticos	6
II.1.3 Comparação de alguns aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos quanto às suas principais propriedades físicas e químicas.....	8
II.2 APLICAÇÕES DOS AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS E AUSTENO-FERRÍTICOS.....	10
II.3 CORROSÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS.....	14
II.3.1 Corrosão por pite	15
II.4 MÉTODOS EXPERIMENTAIS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO POR PITES DOS AÇOS INOXIDÁVEIS.....	30
III – METODOLOGIA DA PESQUISA.....	32
III.1 MÉTODOS EXPERIMENTAIS	32
III.1.1 Polarização anódica	32
III.1.2 Impedância eletroquímica.....	32
III.1.3 Observações em microscópio	33
III.2 MATERIAIS DE PESQUISA.....	33
III.3 SOLUÇÕES E DEMAIS CONDIÇÕES DE ENSAIO	35
IV – RESULTADOS	38
IV.1 POLARIZAÇÃO ANÓDICA	38
IV.1.1 Solução de água do mar sintética com 19830 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	38
IV.1.2 Solução de água do mar sintética com 19830ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80°C e presença de CO ₂	41
IV.1.3 Solução de água do mar sintética com 50000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C	43
IV.1.4 Solução de água do mar sintética com 50000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80°C e presença de CO ₂	46
IV.1.5 Solução de água do mar sintética com 115000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	48

IV.1.6 Solução de água do mar sintética com 115000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C e presença de CO ₂	51
IV.1.7 Solução de água do mar sintética com 150000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	53
IV.1.8 Solução de água do mar sintética com 150000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80°C e presença de CO ₂	56
IV.2 ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA.....	58
IV.2.1 Solução de água do mar sintética com 19830 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C	58
IV.2.2 Solução de água do mar sintética com 19830 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C e presença de CO ₂	60
IV.2.3 Solução de água do mar sintética com 50000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C	63
IV.2.4 Solução de água do mar sintética com 50000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C e presença de CO ₂	66
IV.2.5 Solução de água do mar sintética com 115000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	68
IV.2.6 Solução de água do mar sintética com 115000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C e presença de CO ₂	71
IV.2.7 Solução de água do mar sintética com 150000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	73
IV.2.8 Solução de água do mar sintética com 150000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C e presença de CO ₂	76
IV.3 OBSERVAÇÕES EM MICROSCÓPIO	78
V – DISCUSSÃO	79
V.1 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DO ELETRÓLITO NA CORROSÃO POR PITE DE AÇOS INOXIDÁVEIS.....	80
V.1.1 Aço inoxidável UNS S31600	80
V.1.2 Aço inoxidável UNS N08904	94
V.1.3 Aço inoxidável UNS S31803	108
V.1.4 Aço inoxidável UNS S32760	122
V.2 INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DAS LIGAS NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO POR PITE DOS AÇOS INOXIDÁVEIS	137
VI – CONCLUSÕES	142

VII – SUJETÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES.....	143
VIII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
APÊNDICE	147

LISTA DE FIGURAS

Figura II.1: Curva de polarização de dois aços inoxidáveis superausteníticos (A e B) em meio com 15000 ppm de cloretos, 15000 ppm de fluoretos, pH 3 e a 60 °C	5
Figura II.2: Microestrutura típica do aço inoxidável duplex UNS S31803 X 400	6
Figura II.3: Gráfico de comparação entre a resistência mecânica e resistência à corrosão de diversos aços inoxidáveis	10
Figura II.4: Seleção de materiais para construção original de tubulação de água de serviço de 39 unidades nos EUA.....	12
Figura II.5: Seleção de materiais para substituição de tubulação de água de serviço de 56 unidades nos EUA e Canadá	12
Figura II.6: Corrosão de flange constituída de aço inoxidável superduplex utilizada em uma planta de dessalinização	14
Figura II.7: Casos com problemas de corrosão em aços inoxidáveis do tipo 18Cr-8Ni15	
Figura II.8: Gráfico de densidade de corrente x temperatura dos aços AISI 304 e duplex com 21,4 % de cromo em solução de NaCl 1 mol/L e potencial de 750mV	16
Figura II.9: Potencial de pite dos aços inoxidáveis ASTM A890 graus 1A e 3A em solução de 3,5 % de NaCl nas temperaturas de 25 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C e 55 °C...	17
Figura II.10: Curvas de polarização cíclica para o aço inoxidável superduplex UNS S32750 e o aço 316L obtidas em solução neutra com 3 % de NaCl, temperatura de 25 °C e taxa de varredura de 10 mV/min	18
Figura II.11: Variação do potencial de pite em água do mar estática de algumas ligas em função da temperatura.....	19
Figura II.12: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável superduplex em água do mar estática a (a) 30 °C, (b) 40 °C, (c) 50 °C e (d) 60 °C	20
Figura II.13: Curvas de polarização do aço inoxidável superduplex ASTM A995M-Gr.5A em solução de NaCl com 5800 ppm, 22700 ppm, 58000 ppm e 80000 ppm de íons cloreto a 25 °C	21
Figura II.14: Curvas de polarização do aço inoxidável superduplex ASTM A995M-Gr.5A em solução de NaCl com 22700 ppm de íons cloreto e temperaturas de 5 °C, 25 °C, 45 °C, 60 °C, 70 °C, 74 °C e 80 °C	22
Figura II.15: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável superduplex ASTM A995M-Gr.5A em solução de NaCl com 5800 ppm, 22700 ppm e 58000 ppm de íons cloreto à 25 °C	23
Figura II.16: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável superduplex ASTM A995M-Gr.5A em solução de NaCl com 27000 ppm de íons cloreto e temperaturas de 5 °C, 25 °C, 45 °C, 60 °C, 70 °C e 80 °C	23

Figura II.17: Gráfico Epit x log [Cl ⁻] para as diversas ligas estudadas em meios com diferentes concentrações de cloreto.....	24
Figura II.18: Gráfico Epit x PREN para vários aços inoxidáveis estudados em água do mar.....	25
Figura II.19: pH da solução de água do mar sintética em função do tempo em que se borbulha CO ₂ na mesma	26
Figura II.20: Curva de polarização do aço inoxidável supermartensítico em solução de água do mar sintética aerada com concentração de 20.000 ppm de cloreto	27
Figura II.21: Curva de polarização do aço inoxidável supermartensítico em solução de água do mar sintética aerada com concentração de 80.000 ppm de cloreto	27
Figura II.22: Curva de polarização do aço inoxidável supermartensítico em solução de água do mar sintética saturada com CO ₂ e concentração de 20.000ppm de cloreto...	28
Figura II.23: Curva de polarização do aço inoxidável supermartensítico em solução de água do mar sintética saturada com CO ₂ e concentração de 80.000 ppm de cloreto..	28
Figura II.24: Diagramas de Nyquist de um aço inoxidável com 13 % de cromo em estrato de água obtido de campos petrolíferos nas temperaturas de 30 °C, 60 °C e 90 °C.....	30
Figura II.25: Exemplo de curva de polarização anódica de um determinado metal	31
Figura III.1: Potenciostato AUTOLAB utilizado nos ensaios eletroquímicos	32
Figura III.2: Aparência final do corpo-de-prova	34
Figura III.3: Gráfico da variação de pH em função do tempo de borbulhamento de CO ₂ na solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto.....	37
Figura IV.1: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	39
Figura IV.2: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	39
Figura IV.3: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	40
Figura IV.4: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	40

Figura IV.5: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	41
Figura IV.6: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	42
Figura IV.7: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	42
Figura IV.8: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	43
Figura IV.9: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	44
Figura IV.10: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	44
Figura IV.11: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	45
Figura IV.12: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	45
Figura IV.13: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	46
Figura IV.14: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	47
Figura IV.15: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	47
Figura IV.16: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	48

Figura IV.17: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	49
Figura IV.18: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	49
Figura IV.19: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	50
Figura IV.20: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	50
Figura IV.21: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	51
Figura IV.22: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	52
Figura IV.23: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	52
Figura IV.24: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	53
Figura IV.25: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	54
Figura IV.26: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	54
Figura IV.27: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	55
Figura IV.28: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	55

Figura IV.29: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	56
Figura IV.30: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	57
Figura IV.31: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	57
Figura IV.32: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	58
Figura IV.33: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	59
Figura IV.34: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	59
Figura IV.35: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	60
Figura IV.36: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	60
Figura IV.37: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	61
Figura IV.38: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	62
Figura IV.39: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	62
Figura IV.40: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	63

Figura IV.41: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	64
Figura IV.42: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	64
Figura IV.43: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	65
Figura IV.44: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	65
Figura IV.45: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	66
Figura IV.46: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	67
Figura IV.47: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	67
Figura IV.48: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	68
Figura IV.49: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	69
Figura IV.50: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	69
Figura IV.51: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	70
Figura IV.52: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	70

Figura IV.53: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	71
Figura IV.54: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	72
Figura IV.55: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	72
Figura IV.56: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	73
Figura IV.57: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	74
Figura IV.58: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	74
Figura IV.59: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	75
Figura IV.60: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	75
Figura IV.61: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	76
Figura IV.62: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	77
Figura IV.63: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	77
Figura IV.64: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	78

Figura V.1: Gráfico em colunas dos menores valores de potencial de pite (E_{pite}) do aço inoxidável UNS S31600 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	85
Figura V.2: Gráfico em colunas dos menores valores de faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) do aço inoxidável UNS S31600 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C	87
Figura V.3: Gráfico em colunas dos menores valores de resistência de polarização (R_p) do aço inoxidável UNS S31600 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C	93
Figura V.4: Gráfico em colunas dos menores valores de potencial de pite (E_{pite}) do aço inoxidável UNS N08904 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	99
Figura V.5: Gráfico em colunas dos menores valores de faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) do aço inoxidável UNS N08904 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C	101
Figura V.6: Gráfico em colunas dos menores valores de resistência de polarização (R_p) do aço inoxidável UNS N08904 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C	107
Figura V.7: Gráfico em colunas dos menores valores de potencial de pite (E_{pite}) do aço inoxidável UNS S31803 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	113
Figura V.8: Gráfico em colunas dos menores valores de faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) do aço inoxidável UNS S31803 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C	115
Figura V.9: Gráfico em colunas dos menores valores de resistência de polarização (R_p) do aço inoxidável UNS S31803 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C	121

Figura V.10: Gráfico em colunas dos menores valores de potencial de pite (E_{pite}) do aço inoxidável UNS S32760 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	127
Figura V.11: Gráfico em colunas dos menores valores de faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) do aço inoxidável UNS S32760 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C	129
Figura V.12: Gráfico em colunas dos menores valores de resistência de polarização (R_p) do aço inoxidável UNS S32760 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C	135

LISTA DE TABELAS

Tabela II.1: Microestrutura de alguns aços inoxidáveis.....	4
Tabela II.2: Composição química dos aços inoxidáveis superausteníticos analisados..	5
Tabela II.3: Composição química de aços inoxidáveis do tipo austeníticos e duplex	8
Tabela II.4: Propriedades mecânicas de aços inoxidáveis do tipo austeníticos e duplex	9
Tabela II.5: PREN de alguns aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos.....	9
Tabela II.6: Recomendações de concentrações máximas de cloreto para o aço inoxidável superduplex em diferentes temperaturas da água do mar	14
Tabela II.7: Tabela de potencial de pite e de passivação dos aços inoxidáveis 316L e UNS S32750.....	18
Tabela II.8: Composição da solução de estrato de água obtida de campos petrolíferos utilizada no estudo.....	29
Tabela III.1: Número de certificado de corrida das ligas analisadas	33
Tabela III.2: Composição química declarada pelos fabricantes dos aços inoxidáveis .	34
Tabela III.3: Composição química das soluções de água do mar sintética utilizadas nos ensaios de polarização anódica e impedância eletroquímica	36
Tabela V.1: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	81
Tabela V.2: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	81
Tabela V.3: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	82
Tabela V.4: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	82
Tabela V.5: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do	

mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	83
Tabela V.6: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	83
Tabela V.7: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	84
Tabela V.8: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	84
Tabela V.9: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	88
Tabela V.10: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	89
Tabela V.11: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	89
Tabela V.12: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C	90
Tabela V.13: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	90
Tabela V.14: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	91
Tabela V.15: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	91

Tabela V.16: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	92
Tabela V.17: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	95
Tabela V.18: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	95
Tabela V.19: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	96
Tabela V.20: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ e do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	96
Tabela V.21: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	97
Tabela V.22: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ e do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	97
Tabela V.23: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ e do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	98
Tabela V.24: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ e do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	98

Tabela V.25: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	102
Tabela V.26: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	103
Tabela V.27: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	103
Tabela V.28: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	104
Tabela V.29: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	104
Tabela V.30: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	105
Tabela V.31: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	105
Tabela V.32: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	106
Tabela V.33: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	109
Tabela V.34: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	109
Tabela V.35: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	110

Tabela V.36: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	110
Tabela V.37: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	111
Tabela V.38: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	111
Tabela V.39: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	112
Tabela V.40: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	112
Tabela V.41: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	116
Tabela V.42: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	117
Tabela V.43: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	117
Tabela V.44: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	118
Tabela V.45: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	118

Tabela V.46: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	119
Tabela V.47: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	119
Tabela V.48: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	120
Tabela V.49: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	122
Tabela V.50: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	123
Tabela V.51: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	123
Tabela V.52: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	124
Tabela V.53: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	124
Tabela V.54: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	125
Tabela V.55: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	125

Tabela V.56: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	126
Tabela V.57: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	130
Tabela V.58: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	131
Tabela V.59: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	131
Tabela V.60: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.....	132
Tabela V.61: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	132
Tabela V.62: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	133
Tabela V.63: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	133
Tabela V.64: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO ₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C	134
Tabela V.65: Comparação entre os diversos aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos avaliados em relação aos vários meios e condições de análise	138
Tabela V.66: Valores de PREN e concentração de cromo, molibdênio, tungstênio e nitrogênio dos aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos analisados.....	140

I – INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, os aços inoxidáveis têm sido amplamente utilizados pela indústria de petróleo e gás devido às suas propriedades que aliam boa resistência mecânica com alta resistência à corrosão. Os aços inoxidáveis do tipo 304 e 316 são os aços mais empregados pela indústria, porém em determinadas condições de alta agressividade podem sofrer severos processos corrosivos, dentre os mais comuns, a corrosão por pites e a corrosão sob tensão.

Tais ambientes de grande agressividade se tornam cada vez mais comuns na indústria de petróleo e gás, devido ao crescimento da produção *offshore* no Brasil e no mundo, onde os diversos materiais se encontram sob condições com altas concentrações de cloretos, elevadas pressões e presença significativa de CO₂ e H₂S.

Neste sentido, muitos tipos de aços inoxidáveis, com características especiais de resistência mecânica e resistência à corrosão, foram e continuam sendo desenvolvidos com o intuito de serem utilizados em tais ambientes com elevada agressividade. Como exemplos destas ligas especiais, podem ser citados os aços inoxidáveis duplex, superduplex e superausteníticos.

Sendo assim, este trabalho visa a avaliação da resistência à corrosão por pite e características de passivação dos aços inoxidáveis austeníticos UNS S31600 e UNS N08904 (superaustenítico) e dos aços austeno-ferríticos UNS S31803 (duplex) e UNS S32760 (superduplex) em água do mar sintética com diferentes concentrações de íons cloreto, tanto na ausência quanto na presença de CO₂. O estudo visa também avaliar a influência do aumento da temperatura do meio na susceptibilidade à corrosão por pites dos diversos materiais avaliados.

II – REVISÃO DA LITERATURA

II.1 AÇOS INOXIDÁVEIS

A expressão aço inoxidável expressa a idéia de um tipo de aço que não sofre oxidação. Entretanto, este termo não define com precisão este tipo de material, visto que em determinadas condições, estes aços podem sofrer oxidação. Em geral, os aços inoxidáveis podem ser definidos como ligas em que a composição é caracterizada pela presença do ferro e um teor mínimo de 10 % de cromo (PANOSSIAN, 1993).

Os aços inoxidáveis são classificados em 5 (cinco) grupos, de acordo com sua microestrutura, estrutura cristalográfica, composição química e mecanismos de endurecimento. São eles:

- a) aços inoxidáveis martensíticos;
- b) aços inoxidáveis ferríticos;
- c) aços inoxidáveis austeníticos;
- d) aços inoxidáveis austeno-ferríticos (duplex) e
- e) aços inoxidáveis endurecíveis por precipitação.

Os aços inoxidáveis martensíticos são ligas que apresentam em sua composição química até 1,2 % de carbono e cromo na faixa entre 11,5 % e 18 %, porém outros elementos podem ser adicionados para a obtenção de características especiais. Sua estrutura em altas temperaturas é do tipo austenita, que se transforma em martensita pelo resfriamento até a temperatura ambiente (ASM HANDBOOK V. 13B, 2005). A resistência à corrosão destes aços é definida pela sua relação carbono/cromo, já que o carbono pode reagir com o cromo, acarretando em uma redução de cromo na matriz pela formação de carbonetos, responsável pela formação da camada protetora de óxido do aço. Além disso, a formação de carbonetos proporciona a diminuição de carbono na matriz, o que dificulta a obtenção da martensita. Como a martensita é responsável pelo endurecimento deste tipo de aço, sua composição deve ser balanceada de modo que sejam obtidas uma alta resistência mecânica e adequada resistência à corrosão (PANOSSIAN, 1993).

Os aços inoxidáveis ferríticos são materiais de microestrutura ferrítica e estrutura cristalina cúbica de corpo centrada (ccc). Estas ligas são compostas de Fe-Cr, onde a quantidade de cromo varia entre 10,5 % e 30 %. Como principais características

destes aços podem ser citados o elevado limite de escoamento, a baixa ductilidade e serem ferromagnéticos (ASM HANDBOOK V. 13B, 2005).

Os aços inoxidáveis austeníticos são ligas de Fe-Cr-Ni que possuem baixo limite de escoamento, além de elevada tenacidade e ductilidade. Sua estrutura cristalina é do tipo cúbica de face centrada (cfc). Os aços austeníticos são ligas que podem sofrer corrosão sob tensão, entretanto com a adição de elevadas quantidades de determinados elementos, como o níquel e o molibdênio, podem apresentar resistência satisfatória a este tipo de corrosão. Além disso, quando expostos a altas temperaturas, podem sofrer sensitização (ASM HANDBOOK V. 13B, 2005). A composição química destes aços inoxidáveis varia entre 0,02 % e 0,15 % para o carbono, teor mínimo de níquel de 8 % e quantidade de cromo superior a 16 % (PANOSSIAN, 1993). Os aços inoxidáveis superausteníticos são ligas de elevada resistência à corrosão, em especial, corrosão por pite e em frestas. Esta maior resistência à corrosão é conseguida com a adição de elementos como o cobre e o molibdênio. Além disso, seu baixo teor de carbono, aliado a quantidades elevadas de níquel e cromo, conferem aos aços superausteníticos propriedades mecânicas e físicas particulares (LEÃO, 2008).

Os aços inoxidáveis austeno-ferríticos também são chamados de duplex, devido sua matriz ser composta por ferrita e austenita. A porcentagem de austenita e ferrita geralmente é de 50 % em ambos os casos. Estas ligas possuem uma maior resistência mecânica aliada a uma elevada resistência à corrosão. Estes aços apresentam em sua composição química elementos estabilizadores da fase austenita, como o nitrogênio e o níquel, e elementos que estabilizam a fase ferrita, como o cromo e o molibdênio (ASM HANDBOOK V. 13B, 2005). Já os aços inoxidáveis superduplex são ligas que possuem resistência à corrosão ainda maior, já que são definidos como os aços inoxidáveis duplex que apresentam índice de resistência ao pite (*PREN - Pitting Resistance Equivalent Number*) maior que 40. A adição de maiores quantidades de cromo, nitrogênio e molibdênio confere aos aços inoxidáveis superduplex esta maior resistência à corrosão (LEÃO, 2008).

Os aços endurecidos por precipitação são subdivididos em martensíticos, semi-austeníticos e austeníticos. Este tipo de aço foi desenvolvido com o intuito de se obter um material de melhor soldabilidade e alta resistência mecânica (PANOSSIAN, 1993). O teor de cromo deste tipo de liga varia entre 10,0 % e 18,5 % e a quantidade de níquel está na faixa de 4,25 % e 25,0 %. Os aços inoxidáveis endurecidos por

precipitação geralmente possuem maior suscetibilidade à fragilização por hidrogênio e uma menor resistência à corrosão (LEÃO, 2008).

Os aços inoxidáveis objeto desta pesquisa apresentam microestrutura austenítica ou austeno-ferríticas, como pode ser observado na tabela II.1.

Tabela II.1: Microestrutura de alguns aços inoxidáveis

Aço inoxidável	Microestrutura
UNS S31600	Austenítica
UNS S31803	Austeno-ferrítica (duplex)
UNS S32760	Austeno-ferrítica (duplex)
UNS N08904	Austenítica

As principais características dos aços inoxidáveis que são objeto desta pesquisa (austeníticos e austeno-ferríticos) serão apresentadas em detalhes nos itens a seguir.

II.1.1 Aços inoxidáveis austeníticos

Em geral, os aços inoxidáveis austeníticos são ligas de elevada resistência à corrosão, porém quando em contato com meios com a presença de íons cloretos, fluoretos, brometos ou iodetos podem sofrer corrosão por pite ou corrosão sob tensão, já que os íons citados podem romper de maneira localizada a camada passivadora destes aços. Dentre os íons citados, o cloreto é o mais importante devido sua maior agressividade e por ser comumente encontrado na prática, como por exemplo, na água do mar (TELLES, 2003).

Segundo PANOSSIAN (1993), a presença de molibdênio em teores superiores a 2 % nos aços inoxidáveis austeníticos proporciona um aumento sensível da resistência à corrosão por pite destas ligas. TELLES (2003) afirma também que a adição de molibdênio resulta em um aumento da resistência à corrosão sob tensão deste tipo de aço inoxidável.

Nos meios com a presença de cloreto, a suscetibilidade à corrosão por pites dos aços inoxidáveis austeníticos aumenta em função da elevação da temperatura e concentração do íon cloreto (TELLES, 2003). Desta forma, devido sua maior resistência à corrosão por pites, os aços inoxidáveis superausteníticos têm sido muitas vezes utilizados em ambientes agressivos como os encontrados em aplicações

industriais, onde altas concentrações de íons cloreto e fluoreto são comuns (BASTIDAS *et al.*, 1996).

BASTIDAS *et al.* (1996) em estudo realizado para determinar a resistência à corrosão de dois aços inoxidáveis superausteníticos em soluções aquosas mistas de cloreto e fluoreto com pH 3,0 e temperatura de 60 °C, constatou que as ligas analisadas não apresentaram pites nas condições de ensaio. O estudo foi realizado utilizando uma solução com 15000 ppm de cloreto e 15000 ppm de fluoreto. Já a composição dos aços inoxidáveis superausteníticos avaliados pelos autores se encontram detalhados na tabela II.2.

Tabela II.2: Composição química dos aços inoxidáveis superausteníticos analisados

Material	Composição química (% m/m)								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	N	Cu	Fe
A	0,012	0,826	0,21	20,8	24,5	6,22	0,189	0,87	restante
B	0,021	3,203	0,12	24,0	21,6	5,55	0,488	1,61	restante

A figura II.1 mostra a curva de polarização dos dois aços inoxidáveis superausteníticos (A e B) obtida por BASTIDAS *et al.* (1996). Como pode ser observado no gráfico, as duas ligas apresentaram uma extensa faixa onde o aumento de potencial não implica em considerável aumento de densidade de corrente.

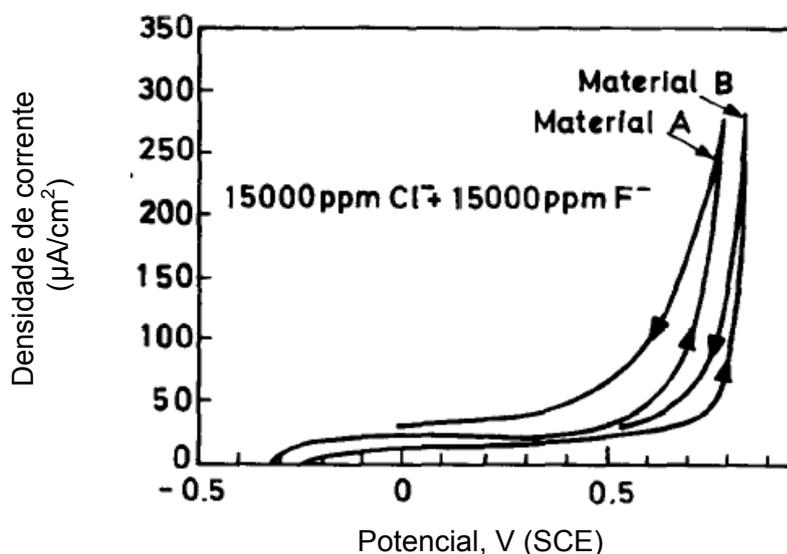


Figura II.1: Curva de polarização de dois aços inoxidáveis superausteníticos (A e B) em meio com 15000 ppm de cloretos, 15000 ppm de fluoretos, pH 3 e a 60 °C (BASTIDAS *et al.*, 1996)

II.1.2 Aços inoxidáveis austeno-ferríticos

Os aços inoxidáveis austeno-ferríticos são conhecidos também como aços inoxidáveis duplex. Estes aços se caracterizam por possuírem uma estrutura bifásica composta de austenita e ferrita, com uma relação de aproximadamente 50 % de austenita e 50 % de ferrita. O termo duplex se refere justamente a esta proporção de 50 % de cada fase deste tipo de aço (LEITE *et al.*, 2008). Entretanto, a composição destas fases pode variar entre 35 % a 55 % de ferrita e 45 % a 65 % de austenita (FINZETTO, SENATORE e PEREA, 2006).

Esta microestrutura duplex pode ser obtida pela combinação entre tratamento termomecânico e o balanceamento dos elementos de liga. O tratamento termomecânico destes aços ocorre na faixa entre 1000 °C e 1250 °C, o que fornece a estas ligas uma estrutura lamelar com grãos alongados na direção de laminação, sendo composta por uma matriz ferrítica com ilhas de austenita. A figura II.2 apresenta a microestrutura típica do aço inoxidável duplex UNS S31803 (FINZETTO, SENATORE e PEREA, 2006).

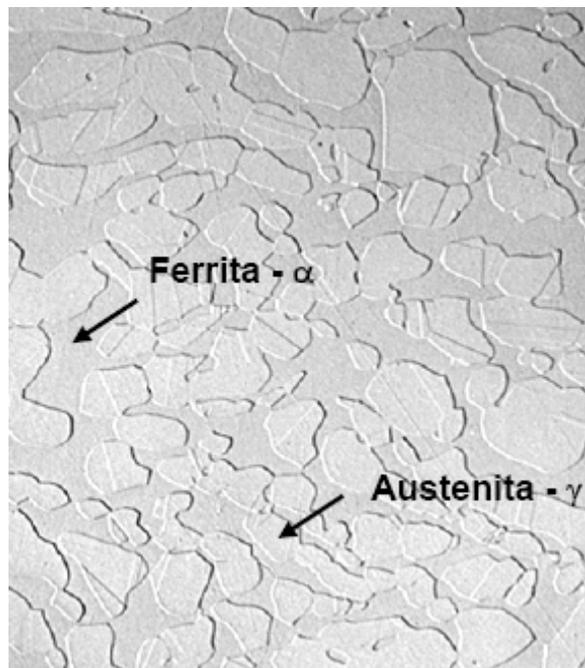


Figura II.2: Microestrutura típica do aço inoxidável duplex UNS S31803 X 400 (FINZETTO, SENATORE e PEREA, 2006)

Já o balanceamento dos elementos de liga é feito como forma de controlar o teor de elementos estabilizadores de austenita (gamagênicos) e elementos estabilizadores de

ferrita (alfagênicos). Entre os elementos que promovem a estabilização de ferrita, podem-se citar o cromo, o molibdênio e o silício. Já os elementos que conduzem à estabilização de austenita na liga são o carbono, o níquel e o nitrogênio (FINZETTO, SENATORE e PEREA, 2006).

Os aços inoxidáveis classificados como superduplex são ligas constituídas de uma maior porcentagem de cromo, nitrogênio, molibdênio e níquel, quando comparados aos demais aços inoxidáveis do tipo duplex. Este maior teor de liga do aço inoxidável superduplex confere ao mesmo melhores propriedades de resistência aos diversos tipos de corrosão. Devido esta maior resistência à corrosão, os aços inoxidáveis classificados como superduplex têm sido cada vez mais utilizados em indústrias químicas, petroquímicas, nucleares, entre outras (LEITE *et al.*, 2008).

Com relação à composição química dos diversos aços inoxidáveis austeno-ferríticos (duplex), estes materiais podem ser divididos em três grupos. São eles:

- a) aços inoxidáveis duplex de baixa liga;
- b) aços inoxidáveis duplex de média liga e
- c) aços inoxidáveis de alta liga.

O aço inoxidável duplex de baixa liga se caracteriza por ser um material mais econômico quando comparado aos demais aços duplex, devido ao seu menor teor de elementos de liga. São ligas do tipo Cr-Ni-N que podem ser utilizados para substituir os aços inoxidáveis austeníticos do tipo AISI 304 e AISI 316 (LEÃO, 2008).

Já os aços inoxidáveis duplex de média liga possuem maior resistência à corrosão que os aços inoxidáveis do tipo AISI 304 e AISI 316, porém são menos resistentes que os aços inoxidáveis superausteníticos. Um aço inoxidável que representa esta família é o aço UNS S31803, um dos aços duplex mais utilizados na indústria.

A família de aços inoxidáveis duplex de alta liga engloba os aços austeno-ferríticos designados como superduplex. Estes materiais possuem alto teor de liga e apresentam grande resistência à corrosão comparável aos aços inoxidáveis superausteníticos. Um representante desta família de aços duplex é o UNS S32760 (FINZETTO, SENATORE e PEREA, 2006).

II.1.3 Comparação de alguns aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos quanto às suas principais propriedades físicas e químicas

Este item tem a finalidade de apresentar comparações entre as principais propriedades físicas e químicas dos aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos que são de interesse nesta pesquisa.

Neste sentido, a tabela II.3 apresenta a composição química dos aços inoxidáveis austeníticos UNS S31600, UNS N08904 e austeno-ferríticos UNS S31803 e UNS S32760.

Tabela II.3: Composição química de aços inoxidáveis do tipo austeníticos e duplex (ASTM A 240/A 240M – 04 A, 2004)

	Elemento	Aço inoxidável (designação)			
		UNS S31600	UNS S31803	UNS S32760	UNS N08904
Composição química típica (m/m)	C	0,08	0,03	0,03	0,02
	N	0,1	0,02 – 0,08	0,2 – 0,3	0,1
	Cr	16 – 18	21 – 23	24 – 26	19 – 23
	Ni	10 – 14	4,5 – 6,5	6 – 8	23 – 28
	Mo	2 – 3	2,5 – 3,5	3 – 4	4 – 5
	Mn	2	2	1	2
	P	0,045	0,03	0,03	0,045
	S	0,03	0,02	0,01	0,035
	Si	0,75	1	1	1
	Cu	-	-	0,5 – 1	1-2
	W	-	-	0,5 – 1	-

Assim como apresentado anteriormente, os aços inoxidáveis austeníticos e duplex aliam elevada resistência mecânica com uma excelente resistência à corrosão. Desta forma, a tabela II.4 apresenta as propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis objetivo deste estudo.

Tabela II.4: Propriedades mecânicas de aços inoxidáveis do tipo austeníticos e duplex (ASTM A 240/A 240M – 04A, 2004)

Aço inoxidável (designação)	Propriedades Mecânicas			
	Resistência à tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Alongamento em 50mm (em %)	Dureza
UNS S31600	515	205	40	95(a)
UNS S31803	620	450	25	293(b)
UNS S32760	750	550	25	270(b)
UNS N08904	490	220	35	90(a)

(a): Rockwell B; (b): Brinell

Em relação à resistência à corrosão dos diversos aços inoxidáveis, um ranking empírico foi desenvolvido para descrever a suscetibilidade à corrosão por pite dos diversos aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos. O índice equivalente de resistência à pite (PREN - *Pitting Resistance Equivalent Number*) prevê, em função da quantidade de cromo, molibdênio, tungstênio e nitrogênio, a resistência à corrosão por pite destas ligas. A tabela II.5 apresenta os valores de PREN dos aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos utilizados nesse trabalho (ROBERGE, 2006).

Segundo ROBERGE (2006), o valor de PREN das ligas pode ser calculado pela fórmula a seguir:

$$PREN = \%Cr + 3,3\%(Mo + 0,5W) + 16\%N$$

Tabela II.5: PREN de alguns aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos

Aço inoxidável (designação)	PREN (<i>pitting resistance equivalent number</i>)
UNS S31600	25
UNS S31803	32
UNS S32760	41
UNS N08904	35

De acordo com LO, SHEK e LAI (2009) o nitrogênio e o molibdênio agem sinergicamente no aumento da resistência à corrosão por pite dos aços inoxidáveis.

Considerando os valores de resistência à corrosão e resistência mecânica de alguns aços inoxidáveis, a figura II.3 apresenta uma comparação destas características para as respectivas ligas.

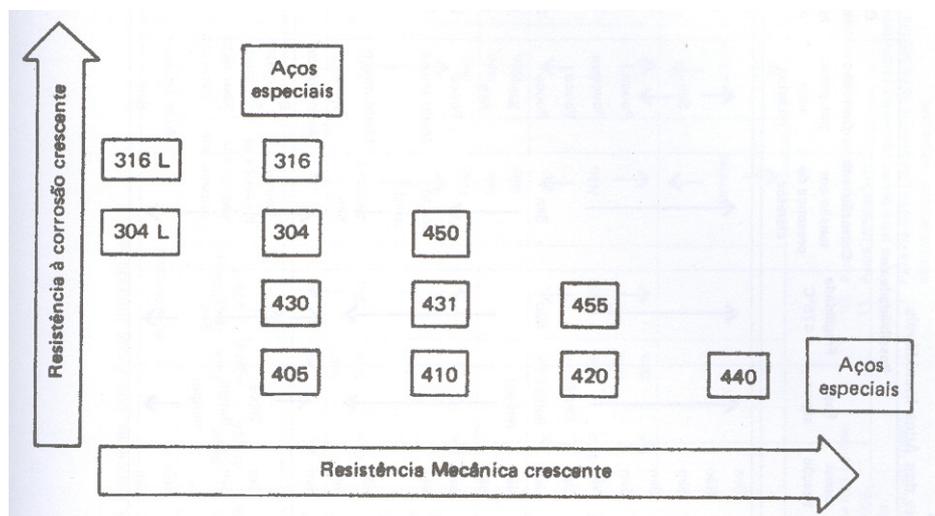


Figura II.3: Gráfico de comparação entre a resistência mecânica e resistência à corrosão de diversos aços inoxidáveis (TELLES, 2003).

II.2 APLICAÇÕES DOS AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS E AUSTENO-FERRÍTICOS

Ao longo de muitos anos, os aços inoxidáveis convencionais do tipo AISI 304 e AISI 316 têm sido amplamente empregados na indústria de petróleo e gás. Entretanto, nos últimos 30 anos a participação da produção *offshore* cresceu de 10 % para 38 % da produção mundial de petróleo, deslocando as buscas por petróleo para profundidades de lâminas d'água acima de 2000 metros (BARBOSA, 2008).

Em condições com água salgada, a utilização de qualquer aço inoxidável deve ser muito criteriosa, devido à suscetibilidade deste material à corrosão por pites e corrosão sob tensão. Em geral, os aços inoxidáveis do tipo AISI 316, AISI 316L e AISI 317 podem ser utilizados em água do mar muito aerada e como temperaturas inferiores à 50 °C, de forma a manter a passividade dos aços. Em condições mais severas, os aços inoxidáveis convencionais não devem ser empregados (TELLES, 2003).

Com o intuito de se atender às demandas da indústria, numerosos tipos de aços inoxidáveis foram desenvolvidos para o uso em determinadas aplicações específicas. Em geral, estes aços inoxidáveis especiais são mais caros que os convencionais e

foram desenvolvidos com o objetivo de se obter uma maior resistência mecânica e elevada resistência à corrosão, especialmente para a corrosão por pites, corrosão sob tensão e corrosão intergranular (TELLES, 2003).

Exemplos destas ligas especiais desenvolvidas para o emprego em ambientes severos são os aços inoxidáveis duplex, superduplex e superausteníticos. Segundo LEITE *et al.* (2008), estas ligas têm sido cada vez mais utilizadas em aplicações *offshore*, especialmente em equipamentos submersos em água do mar.

O mesmo é destacado por BARBOSA (2008) quando afirma que os aços inoxidáveis duplex e ligas à base de níquel têm sido empregados com sucesso em poços profundos no golfo do México, Estados Unidos da América e Mar do Norte. Estes poços apresentam um ambiente altamente agressivo com pressões de cerca de 138 MPa (20.000 psi), presença significativa de dióxido de carbono (CO₂) e sulfeto de hidrogênio (H₂S), além do íon cloreto com concentrações que chegam a 200.000 ppm.

TELLES (2003) também destaca que os aços inoxidáveis austeno-ferríticos (duplex) podem ser empregados com sucesso em serviços com água salgada, em virtude de sua elevada resistência à corrosão por pites em ambientes com cloreto.

Nos últimos anos, a diminuição das reservas tem levado ao aumento da profundidade dos poços de óleo e gás (freqüentemente maior que 6000 m). Os ambientes freqüentemente encontrados nestas profundidades de poços contêm água salgada, além de quantidades substanciais de CO₂ e H₂S (poços ácidos). Neste ambiente altamente agressivo, a corrosão sob tensão pode ocorrer nos materiais usados na fabricação dos diversos equipamentos. Uma solução para este problema seria a utilização de materiais de alta liga que podem resistir a corrosividade dos fluidos dos poços.

Segundo SMUK (2004), os aços inoxidáveis duplex e superduplex são empregados pela indústria química, petroquímica, de geração de energia e indústria de produção de petróleo e gás (tanto *onshore* quanto *offshore*). Estes materiais já têm sido utilizados em tubulações, bombas, aquecedores e até mesmo em arquitetura.

Um exemplo do aumento gradativo da utilização dos aços inoxidáveis nos diversos projetos é a substituição do material empregado em tubulações de água de serviço. Devido à ocorrência de diversos problemas de corrosão uniforme e por pite nestes

sistemas, muitas das plantas dos EUA e Canadá substituíram o aço-carbono utilizado originalmente por aço inoxidável austenítico. Outras plantas com ambientes mais agressivos realizaram a substituição do mesmo aço-carbono por aço inoxidável com 6 % de molibdênio (mais resistente à corrosão). As figuras II.4 e II.5 resumem os materiais utilizados na construção original e materiais para substituição da tubulação de água de serviço de algumas unidades dos EUA e Canadá (LICINA, 2007).

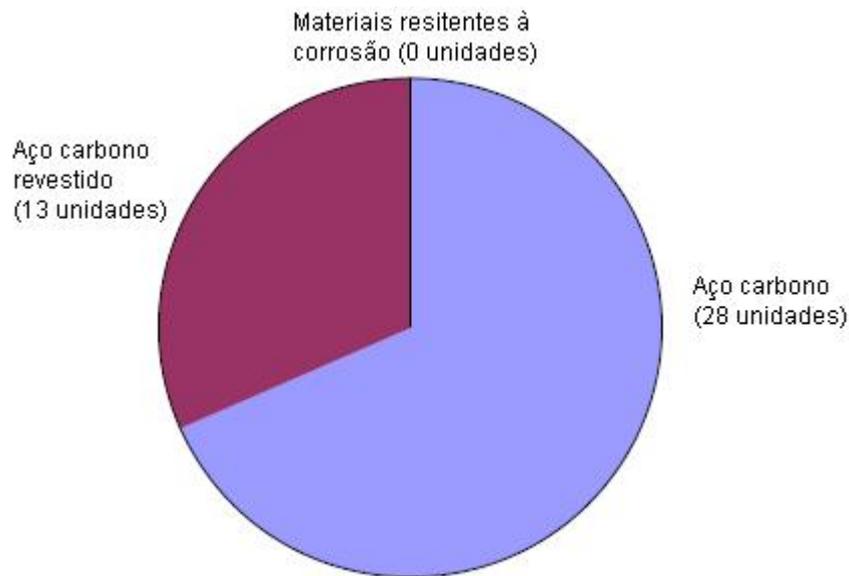


Figura II.4: Seleção de materiais para construção original de tubulação de água de serviço de 39 unidades nos EUA (LICINA, 2007)

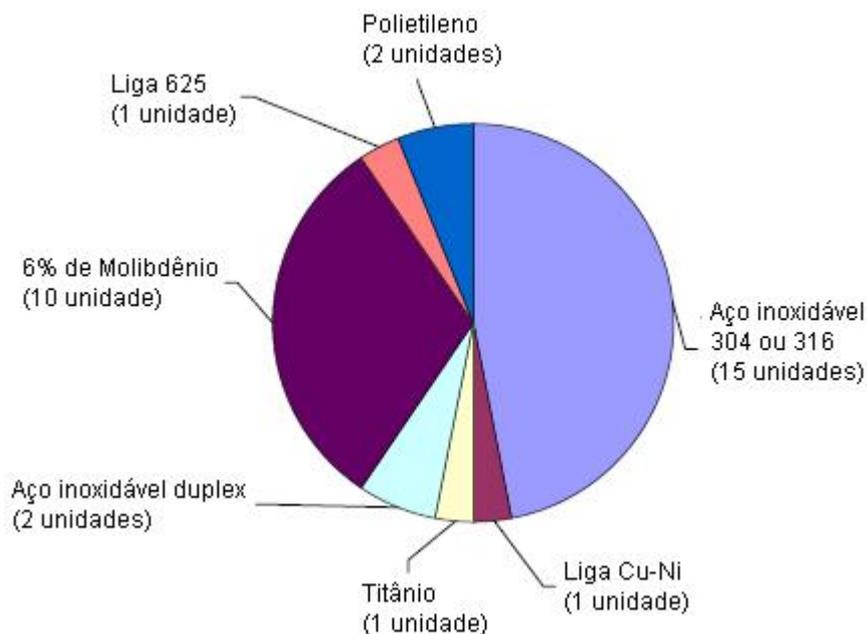


Figura II.5: Seleção de materiais para substituição de tubulação de água de serviço de 56 unidades nos EUA e Canadá (LICINA, 2007)

Em revisão bibliográfica realizada por FRANCIS e BYRNE (2007), os autores também constataram que os aços inoxidáveis têm sido utilizados de modo crescente em sistemas de resfriamento com água do mar, particularmente os materiais de alta liga, como o superduplex e o superaustenítico. A utilização de aços inoxidáveis de alta liga é atribuída a uma maior resistência à corrosão sob tensão em água do mar. O trabalho dos autores destaca também que aços inoxidáveis de baixa liga, como o AISI 316L, sofrem corrosão em fresta em água do mar e em todas as águas com mais de 1000 mg/L de cloreto. Do mesmo modo, os aços inoxidáveis de alta liga, como o superaustenítico UNS N08904 e o duplex UNS S31803 podem sofrer este mesmo tipo de corrosão em água do mar a temperatura ambiente. FRANCIS e BYRNE (2007) destacam que apenas ligas com um PREN (índice equivalente de resistência a pite) maior que 40, onde o $PREN = \% Cr + 3.3 \times \% Mo + 16 \times \% N$, se mostram resistentes à corrosão em fresta em água do mar e temperatura ambiente. Como exemplos destas ligas, têm-se alguns aços inoxidáveis superduplex e aços inoxidáveis austeníticos com 6 % de molibdênio.

Estudo parecido foi feito por FRITZ e KOVACH (2007), em que foi constatado que em sistemas de tubulação de água de serviço inicialmente projetados com a utilização de aço-carbono, estavam sendo substituídos por aços inoxidáveis do tipo UNS S30403, UNS S31603, superaustenítico com 6 % de molibdênio (UNS N08367) e superduplex UNS S32205.

Entretanto, FRANCIS e BYRNE (2007) mostraram que a corrosão de flanges pode ser causada por uma excessiva concentração de cloreto ou por elevada temperatura da água do mar. Um exemplo de corrosão de flanges de superduplex é apresentado na figura II.6.



Figura II.6: Corrosão de flange constituída de aço inoxidável superduplex utilizada em uma planta de dessalinização (FRANCIS e BYRNE, 2007)

FRANCIS e BYRNE (2007) mostraram que parâmetros como temperatura da água do mar e a concentração de cloretos estão correlacionados quanto aos efeitos corrosivos ao aço inoxidável superduplex. Desta forma, os autores apresentaram recomendações quanto à utilização destes aços, com base em uma série de ensaios de laboratório realizados pelos mesmos. A tabela II.6 apresenta estas recomendações quanto à temperatura e à concentração de cloreto limites para a utilização do aço inoxidável superduplex.

Tabela II.6: Recomendações de concentrações máximas de cloreto para o aço inoxidável superduplex em diferentes temperaturas da água do mar (FRANCIS e BYRNE, 2007)

Temperatura (°C)	Concentração de cloreto (mg/L)
10	200
20	5,0
30	1,0
40	0,7

II.3 CORROSÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS

Como dito anteriormente, apesar do nome inoxidável passar a idéia de que tais aços não sofrem oxidação, os aços inoxidáveis são suscetíveis a várias formas de corrosão, tais como corrosão por pite, corrosão uniforme, corrosão em frestas, corrosão sob tensão, corrosão intergranular e erosão-cavitação. Em estudo citado por PADILHA e

GUEDES (1994), no qual 954 casos de corrosão de aços austeníticos do tipo 18Cr-8Ni foram analisados, as principais formas de corrosão encontradas foram a corrosão sob tensão e a corrosão por pites. A figura II.7 mostra os resultados deste estudo.

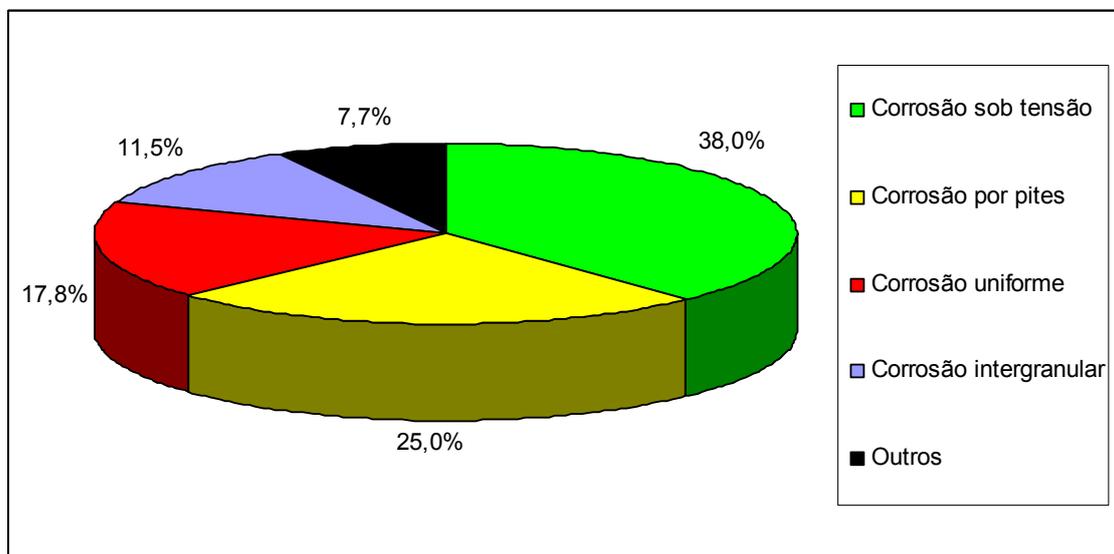


Figura II.7: Casos com problemas de corrosão em aços inoxidáveis do tipo 18Cr-8Ni (PADILHA e GUEDES, 1994)

Normalmente, os aços inoxidáveis não sofrem corrosão uniforme (ou generalizada), em função da passivação destes materiais. Entretanto, na presença de meios redutores, estas ligas podem sofrer corrosão uniforme em taxas comparáveis às do aço-carbono (PANOSSIAN, 2003). Isto explica os casos de corrosão uniforme constatados na figura II.7. Já os aços inoxidáveis austeno-ferríticos e superausteníticos não sofrem ou sofrem muito pouco este tipo de corrosão.

A seguir, será apresentada uma das principais formas de corrosão evidenciada pelos aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos e que é objeto desta pesquisa, a corrosão por pite.

II.3.1 Corrosão por pite

A corrosão por pite nos aços inoxidáveis pode estar relacionado à descontinuidade local da camada de passivação, originada por danos mecânicos ou imperfeições da estrutura metálica. Este tipo de corrosão normalmente ocorre com o rompimento localizado da camada passiva do aço inoxidável, devido à atuação de espécies

agressivas presentes no meio, dentre as quais o íon cloreto é um dos mais importantes.

Segundo GENTIL (2003), a corrosão por pite em materiais metálicos expostos à atmosfera marinha pode ser ocasionada por fatores como contaminantes atmosféricos, defeitos em películas protetoras, partículas de sais e falhas superficiais.

Com o intuito de se avaliar a resistência à corrosão por pite de um aço inoxidável duplex com 21,4 % de cromo em sua composição, WEI *et al.* (2008) realizaram estudos para determinar a temperatura crítica de pite dos aços AISI 304 e do aço inoxidável duplex com a utilização de ensaios eletroquímicos. A pesquisa foi conduzida com a utilização de uma solução de NaCl 1 mol/L e a aplicação de um potencial anódico de 750 mV (SCE). A temperatura da solução de ensaio foi aumentada a uma taxa de 1°C/min com o registro concomitante da densidade de corrente durante o todo o ensaio. A temperatura crítica de pite foi determinada como sendo a temperatura na qual a densidade de corrente ultrapassou 100 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$. A figura II.8 apresenta os resultados da determinação da temperatura crítica de pite (CPT) dos aços inoxidáveis AISI 304 e duplex com 21,4 % de cromo.

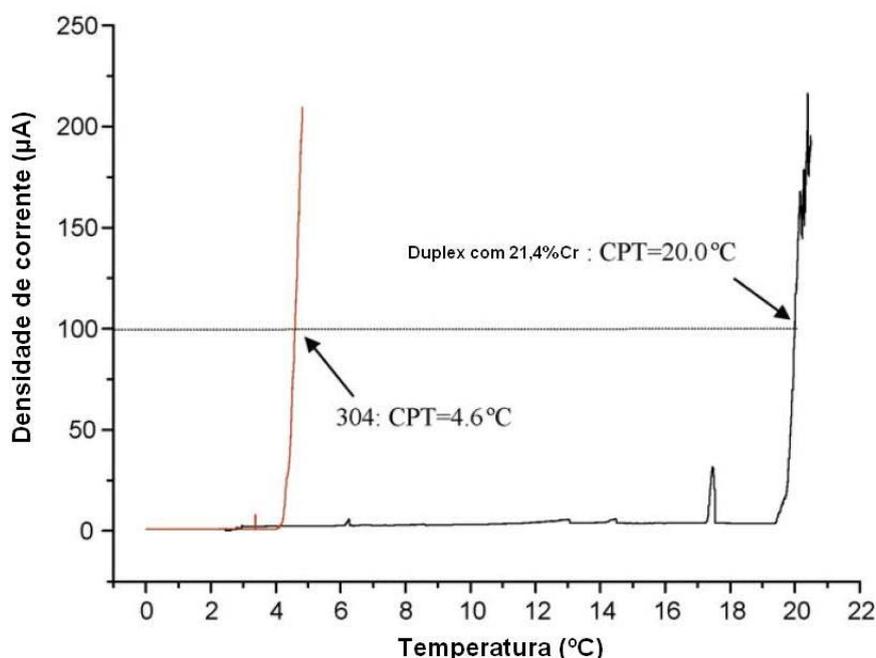


Figura II.8: Gráfico de densidade de corrente x temperatura dos aços AISI 304 e duplex com 21,4 % de cromo em solução de NaCl 1 mol/L e potencial de 750mV (WEI *et al.*, 2008)

Como pode ser observado na figura II.8, a temperatura crítica de pite dos aços inoxidáveis AISI 304 e duplex com 21,4 % de cromo foi de 4,6 °C e 20,0 °C, respectivamente. Isto indica que a liga com 21,4 % de cromo possui maior resistência à corrosão por pite do que o AISI 304.

Em outro estudo realizado por NASCIMENTO *et al.* (2008), os autores buscaram determinar a resistência à corrosão de dois aços inoxidáveis duplex, ASTM A890 graus 1A e 3A, em solução de 3,5 % de NaCl em função da temperatura de ensaio. A figura II.9 mostra o potencial de pite dos aços inoxidáveis ASTM A890 graus 1A e 3A obtidos nos ensaios de polarização anódica em solução de 3,5 % de NaCl nas temperaturas de 25 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C e 55 °C.

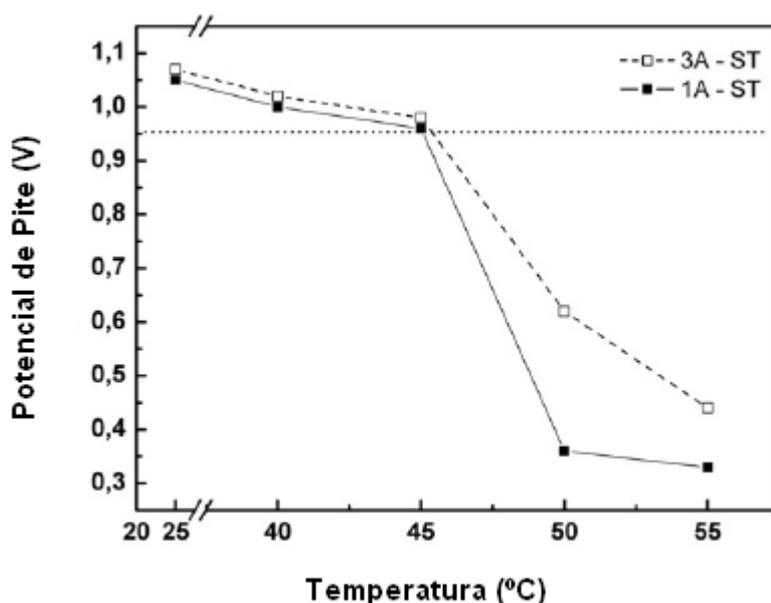


Figura II.9: Potencial de pite dos aços inoxidáveis ASTM A890 graus 1A e 3A em solução de 3,5 % de NaCl nas temperaturas de 25 °C, 40 °C, 45 °C, 50 °C e 55 °C (NASCIMENTO *et al.*, 2008)

Observa-se pela análise da figura II.9 que nos dois aços duplex analisados a elevação da temperatura acima de 45 °C provoca uma acentuada redução no valor de potencial de pite dos materiais.

Com o intuito de se determinar a resistência à corrosão por pite do aço inoxidável superduplex UNS S32750 e do aço inoxidável 316L, FINZETTO, SENATORE e PEREA (2006) utilizaram ensaios eletroquímicos em uma solução neutra de 3% de NaCl e pH 7,0. As curvas de polarização cíclica obtidas são mostradas na figura II.10.

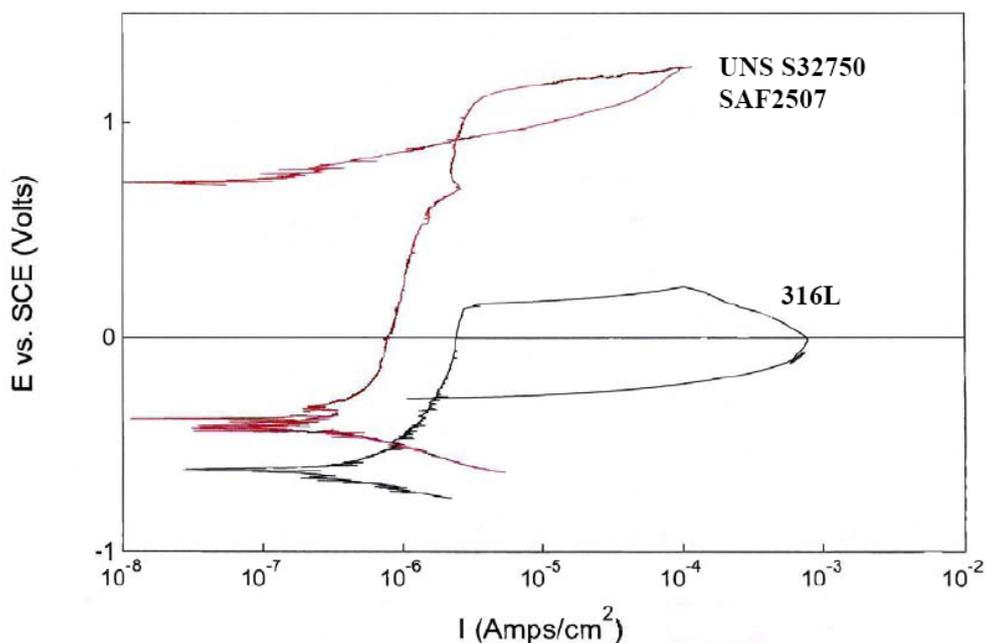


Figura II.10: Curvas de polarização cíclica para o aço inoxidável superduplex UNS S32750 e o aço 316L obtidas em solução neutra com 3 % de NaCl, temperatura de 25 °C e taxa de varredura de 10 mV/min (FINZETTO, SENATORE e PEREA, 2006)

Os potenciais de corrosão de pite (E_{pite}) e de repassivação encontrados para os respectivos aços encontram-se na tabela II.7.

Tabela II.7: Tabela de potencial de pite e de passivação dos aços inoxidáveis 316L e UNS S32750 (FINZETTO, SENATORE e PEREA, 2006)

Aço inoxidável	Potencial de pite (V_{ECS})	Potencial de passivação (V_{ECS})
316L	0,36	-0,16
UNS S32750	1,1	0,89

NEVILLE e HODGKIESS (1996) avaliaram o efeito da elevação da temperatura na resistência à corrosão de vários aços inoxidáveis e ligas especiais em água do mar. O estudo demonstrou que o aumento de temperatura na faixa de 18 °C a 60 °C tem um efeito significativo nas características da polarização eletroquímica dos aços. A figura II.11 mostra o efeito da elevação da temperatura no potencial de pite (E_{pite}) das ligas analisadas.

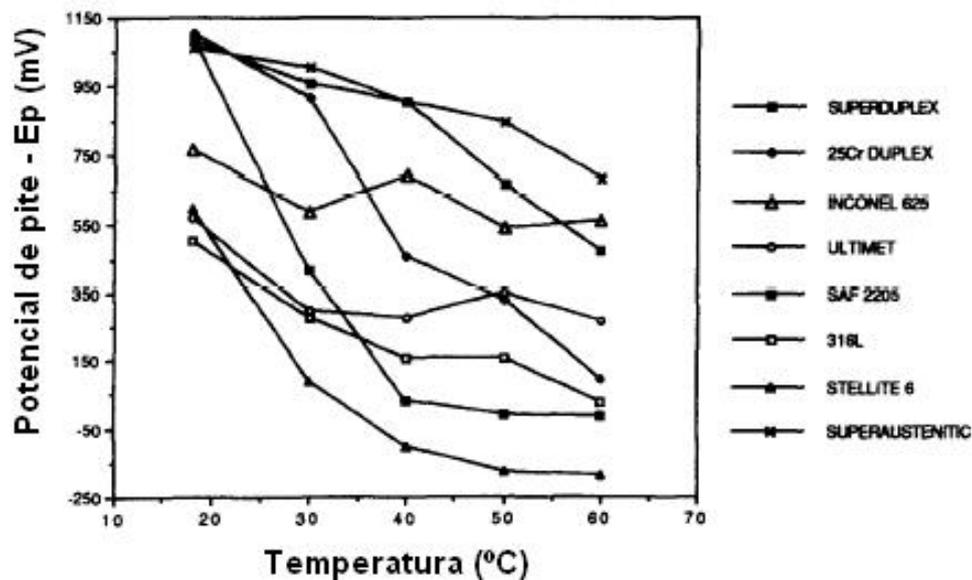


Figura II.11: Variação do potencial de pite em água do mar estática de algumas ligas em função da temperatura (NEVILLE; HODGKIESS, 1996)

NEVILLE e HODGKIESS (1996) verificaram também as mudanças nas características das curvas de polarização anódica do aço inoxidável superduplex com a elevação da temperatura (figura II.12)

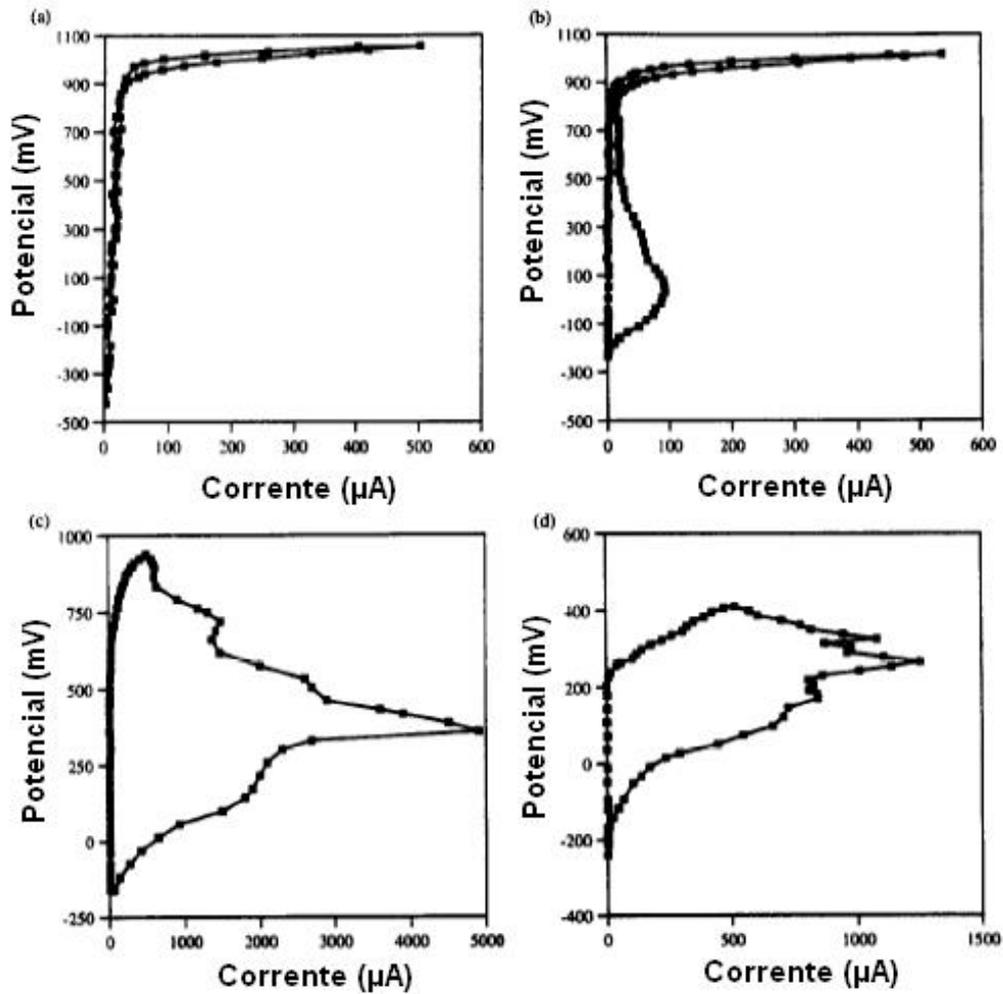


Figura II.12: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável superduplex em água do mar estática a (a) 30 °C, (b) 40 °C, (c) 50 °C e (d) 60 °C (NEVILLE; HODGKIESS, 1996)

SOUZA, ROSSITTI e ROLLO (2010) também realizaram ensaios eletroquímicos com um aço inoxidável superduplex para verificar a influência da concentração de íons cloreto e da temperatura nas propriedades do filme de passivação formado na liga. A figura II.13 mostra as curvas de polarização do aço inoxidável superduplex em solução de NaCl com diferentes concentrações de íons cloreto.

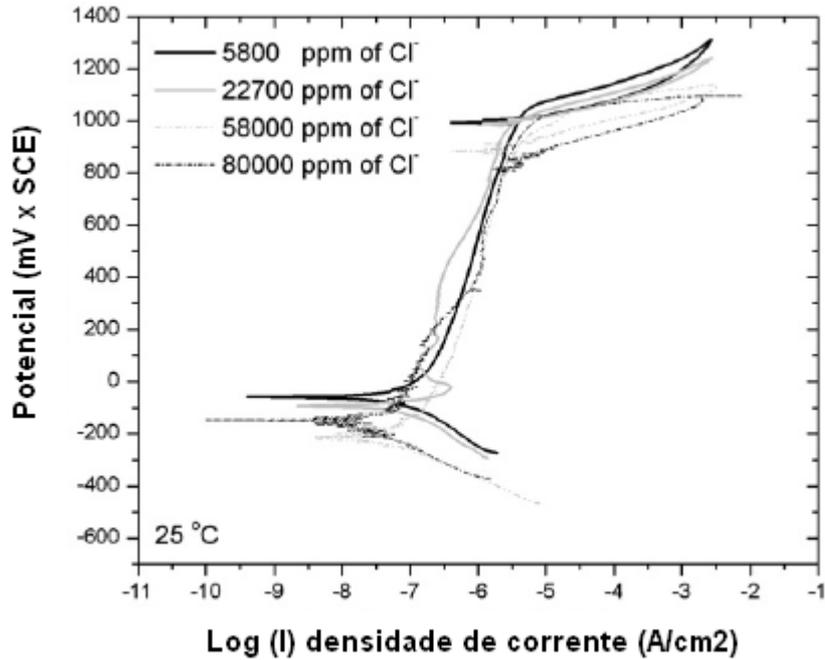


Figura II.13: Curvas de polarização do aço inoxidável superduplex ASTM A995M-Gr.5A em solução de NaCl com 5800 ppm, 22700 ppm, 58000 ppm e 80000 ppm de íons cloreto a 25 °C
(SOUZA, ROSSITTI e ROLLO, 2010)

Já a figura II.14 mostra as curvas de polarização do aço inoxidável superduplex obtidas por SOUZA, ROSSITTI e ROLLO (2010) em solução de NaCl com 22700 ppm de íons cloreto a diferentes temperaturas. Observa-se que o aumento da temperatura influencia negativamente na resistência à corrosão da liga principalmente em temperaturas acima de 60 °C.

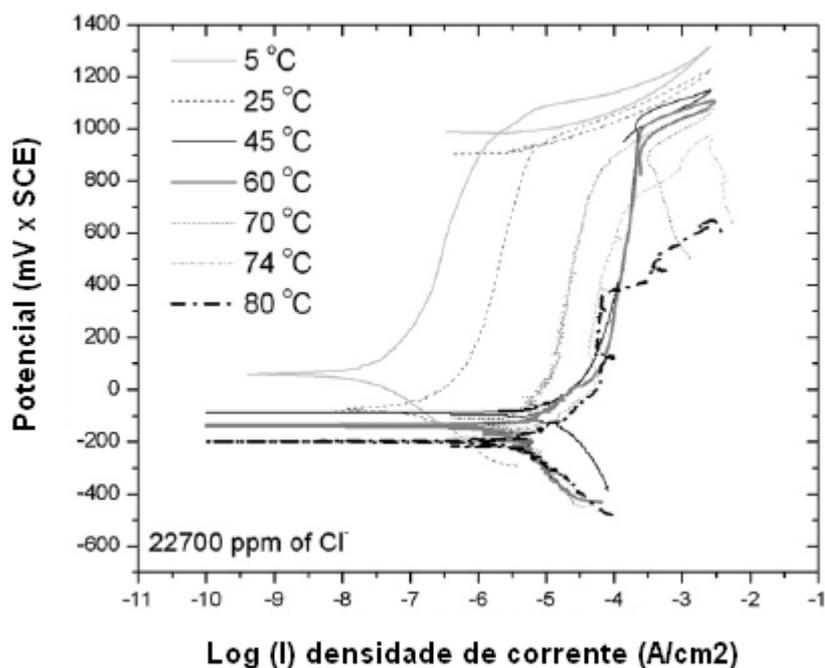


Figura II.14: Curvas de polarização do aço inoxidável superduplex ASTM A995M-Gr.5A em solução de NaCl com 22700 ppm de íons cloreto e temperaturas de 5 °C, 25 °C, 45 °C, 60 °C, 70 °C, 74 °C e 80 °C (SOUZA, ROSSITTI e ROLLO, 2010)

SOUZA, ROSSITTI e ROLLO (2010) também levantaram os diagramas de Nyquist do aço inoxidável superduplex em soluções de NaCl com 5800 ppm, 22700 ppm e 58000 ppm de cloretos a 25 °C (figura II.15) e em solução de NaCl com 27000 ppm de íons cloreto em diferentes temperaturas (figura II.16).

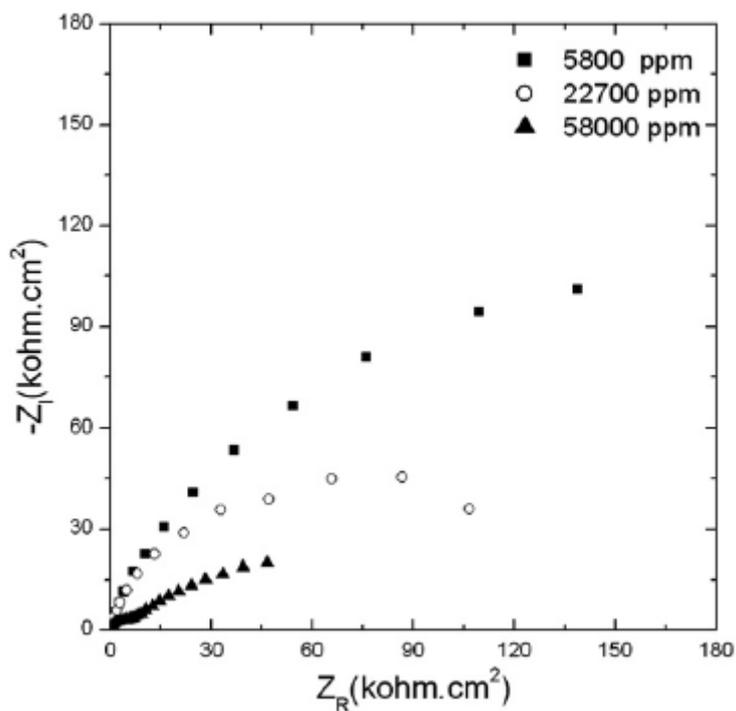


Figura II.15: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável superduplex ASTM A995M-Gr.5A em solução de NaCl com 5800 ppm, 22700 ppm e 58000 ppm de íons cloreto à 25 °C (SOUZA, ROSSITTI e ROLLO, 2010)

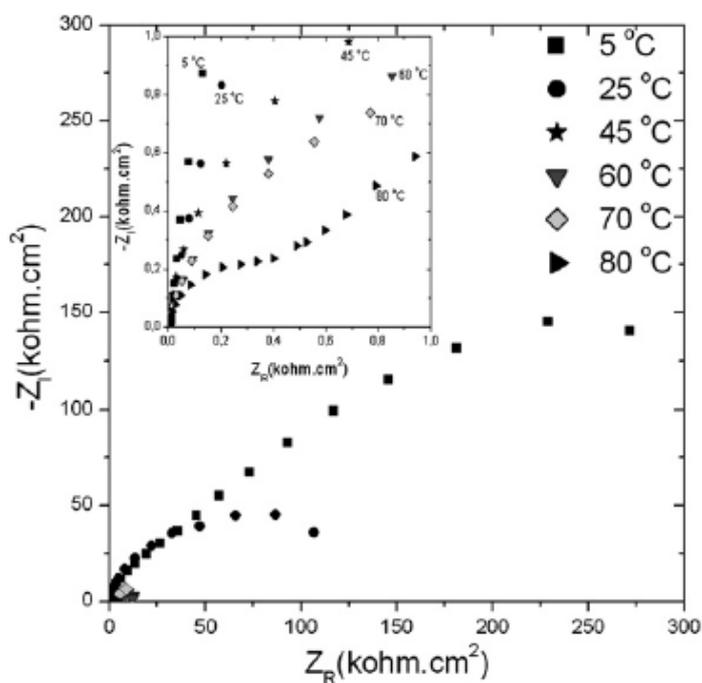


Figura II.16: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável superduplex ASTM A995M-Gr.5A em solução de NaCl com 27000 ppm de íons cloreto e temperaturas de 5 °C, 25 °C, 45 °C, 60 °C, 70 °C e 80 °C (SOUZA, ROSSITTI e ROLLO, 2010)

Em outro estudo realizado por MALIK *et al.* (1995), o comportamento de vários aços inoxidáveis convencionais e de alta liga do tipo austeníticos, ferríticos e duplex foram estudados a 50 °C em água do mar do Golfo.

Os autores verificaram que o potencial de pite das ligas fica mais negativo com o aumento da concentração de cloreto no meio, conforme figura II.17. A relação entre $\log [Cl^-] \times E_{pite}$ segue uma relação linear na maioria das ligas estudadas.

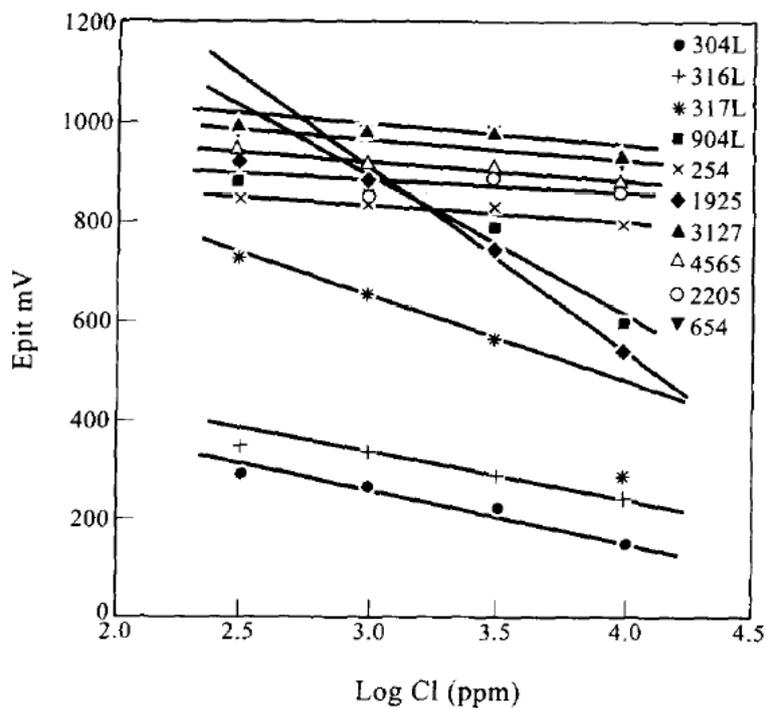


Figura II.17: Gráfico Epit x $\log [Cl^-]$ para as diversas ligas estudadas em meios com diferentes concentrações de cloreto (MALIK *et al.*, 1995)

A relação entre o potencial de pite (E_{pite}) e o índice equivalente de resistência a pite (PREN) também é discutida (figura II.18). Os resultados do estudo indicam que a presença de elementos de liga como cromo, molibdênio e nitrogênio tem uma influência benéfica na resistência à corrosão por pite dos aços inoxidáveis, já que materiais com maior PREN possuem menor tendência a sofrer corrosão por pites.

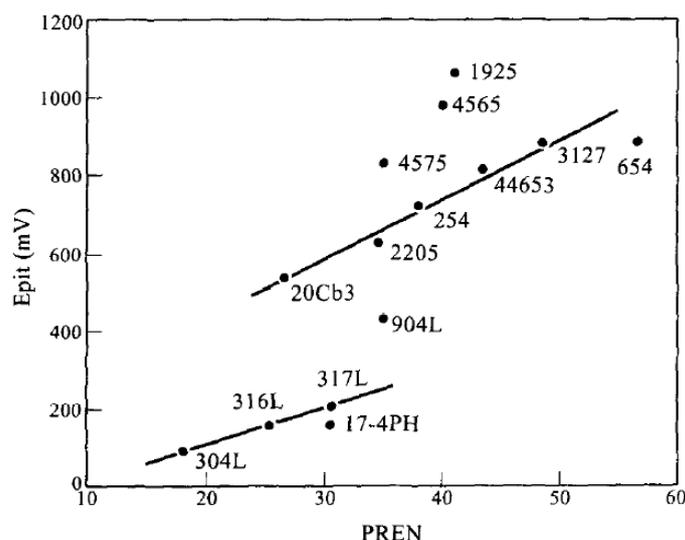


Figura II.18: Gráfico Epite x PREN para vários aços inoxidáveis estudados em água do mar (MALIK *et al.*, 1995)

Com o objetivo de estudar o efeito do CO₂ em uma liga especial, ANSELMO *et al.* (2006) levantaram as curvas de polarização de um aço inoxidável supermartensítico em água do mar sintética com e sem a presença de CO₂. As curvas potenciodinâmicas foram medidas com um potencial de varredura de 1 mV/s, iniciando-se pelo potencial de corrosão. Polarizações anódicas foram feitas a 5 °C, 25 °C e 60 °C em água do mar sintética e diferentes concentrações de cloreto (20000 ppm e 80000 ppm de cloreto). A água do mar sintética foi preparada de acordo com a norma ASTM D1141. As amostras foram expostas a estes meios sob duas diferentes condições: em solução aerada e solução saturada com CO₂. O pH de todas as soluções foi ajustado para 7,6 +/- 0,1 com solução de HCl (contendo a mesma concentração de cloretos), de maneira que a concentração de cloreto na solução final fosse alterada o mínimo possível. Para os meios saturados com este gás, foi borbulhado CO₂ por 45 minutos (quando o pH da solução se estabilizava em torno de 5,1 +/- 0,1 (Figura II.19). Todos os experimentos foram iniciados após uma hora de imersão das amostras nas soluções de ensaio.

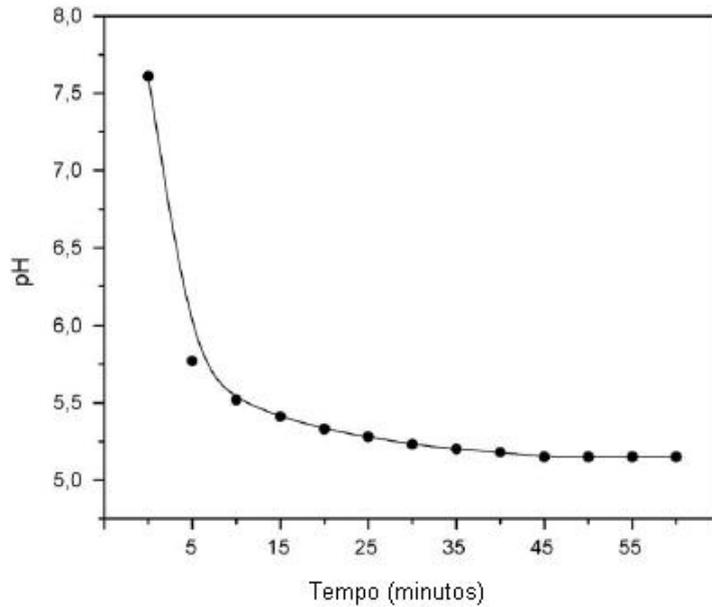


Figura II.19: pH da solução de água do mar sintética em função do tempo em que se borbulha CO₂ na mesma (ANSELMO *et al.*, 2006)

As figuras II.20 e II.21 apresentam as curvas de polarização anódica do aço inoxidável supermartensítico em solução aerada, enquanto que as figuras II.22 e II.23 mostram as curvas em solução saturada com CO₂.

As curvas de polarização apresentadas nas figuras II.20 e II.21 foram obtidas em soluções aeradas contendo 20000 ppm e 80000 ppm de cloreto, respectivamente. Como pode ser observada nos gráficos, a suscetibilidade à corrosão por pite do material é dependente da concentração de cloreto e da temperatura.

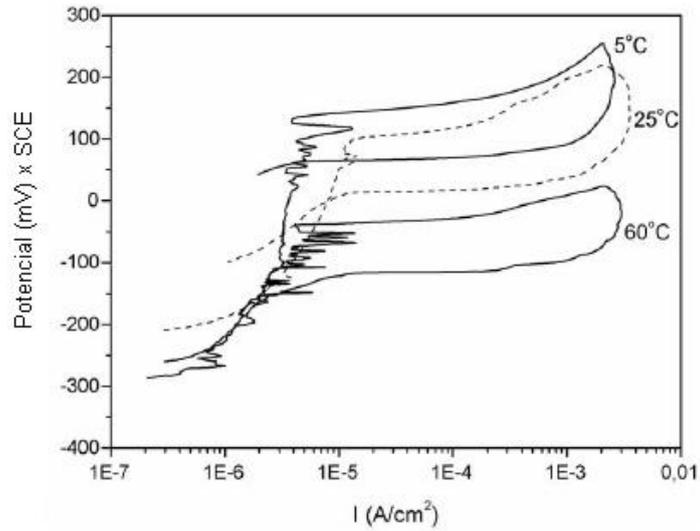


Figura II.20: Curva de polarização do aço inoxidável supermartensítico em solução de água do mar sintética aerada com concentração de 20.000 ppm de cloreto (ANSELMO *et al.*, 2006)

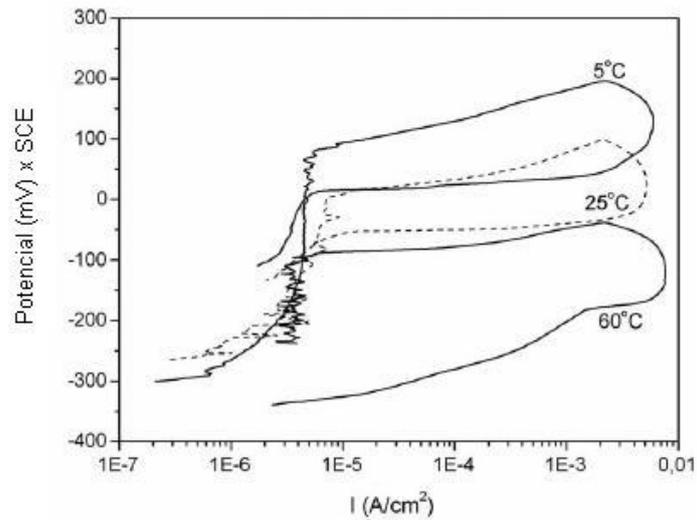


Figura II.21: Curva de polarização do aço inoxidável supermartensítico em solução de água do mar sintética aerada com concentração de 80.000 ppm de cloreto (ANSELMO *et al.*, 2006)

Similarmente, as figuras II.22 e II.23 mostram que a resistência a pite do aço inoxidável supermartensítico na solução saturada com CO₂ depende da concentração de cloreto e da temperatura em que se processa o teste.

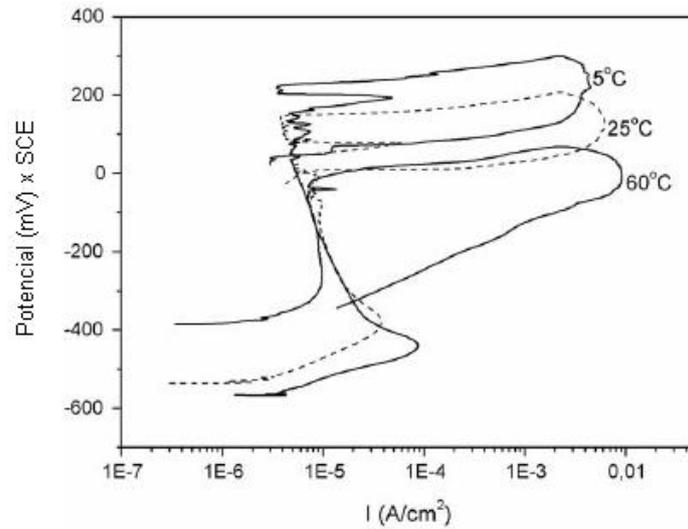


Figura II.22: Curva de polarização do aço inoxidável supermartensítico em solução de água do mar sintética saturada com CO₂ e concentração de 20.000ppm de cloreto (ANSELMO *et al.*, 2006)

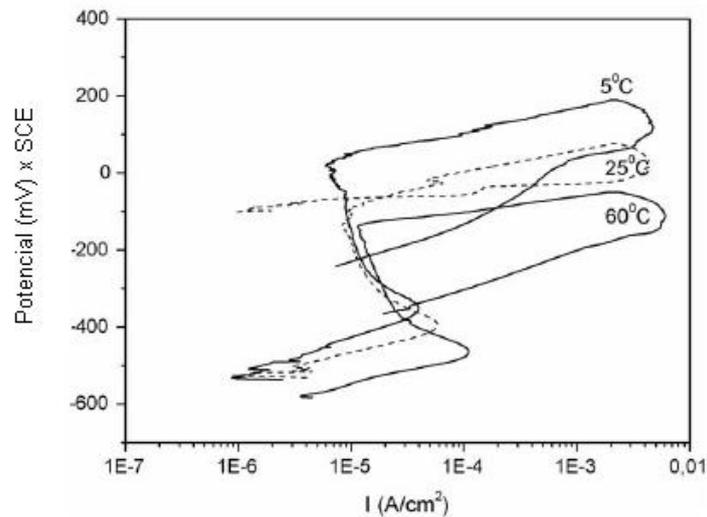
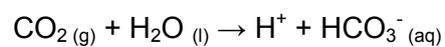


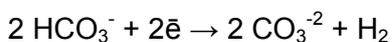
Figura II.23: Curva de polarização do aço inoxidável supermartensítico em solução de água do mar sintética saturada com CO₂ e concentração de 80.000 ppm de cloreto (ANSELMO *et al.*, 2006)

De acordo com PFENNIG e BABLER (2009), o mecanismo corrosivo do CO₂ se inicia com a dissolução do CO₂ no meio, através da seguinte reação:



PFENNIG e BABLER (2009) destacam também que, após a dissolução do CO₂, as reações catódicas e anódicas descritas abaixo completam a ação corrosiva do CO₂ com a consequente formação de carbonato de ferro na superfície da liga:

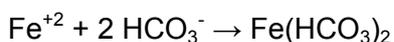
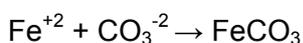
Reações catódicas:



Reação anódica:



Formação do carbonato de ferro:



MU e ZHAO (2010) também estudaram o comportamento corrosivo do CO₂ sobre um aço inoxidável com 13 % de cromo em estrato de água obtido de campos petrolíferos nas temperaturas de 30 °C, 60 °C e 90 °C. A tabela II.8 apresenta a composição do estrato de água de campos petrolíferos utilizado no trabalho.

Tabela II.8: Composição da solução de estrato de água obtida de campos petrolíferos utilizada no estudo (MU; ZHAO, 2010)

ÍON	CONCENTRAÇÃO (g/L)
Cl ⁻	19
CO ₃ ⁻²	0,12
HCO ₃ ⁻	0,6
SO ₄ ⁻²	1,14
Ca ⁺²	0,39
Na ⁺	11,99
Mg ⁺²	1,05

No estudo realizado por MU e ZHAO (2010), os autores observaram que os diagramas de Nyquist nas três temperaturas de estudo possuem características semelhantes, ou seja, são compostas de dois semicírculos, na qual o semicírculo na região de alta frequência aumenta significativamente com a redução da temperatura. A figura II.24

apresenta os diagramas de Nyquist do aço inoxidável com 13 % de cromo em estrato de água obtido de campos petrolíferos nas temperaturas de 30 °C, 60 °C e 90 °C

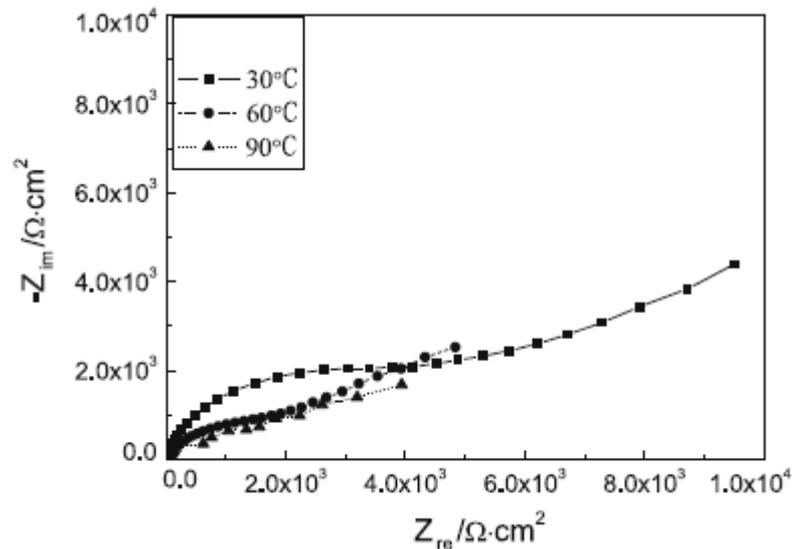


Figura II.24: Diagramas de Nyquist de um aço inoxidável com 13 % de cromo em estrato de água obtido de campos petrolíferos nas temperaturas de 30 °C, 60 °C e 90 °C

(MU; ZHAO, 2010)

II.4 MÉTODOS EXPERIMENTAIS UTILIZADOS NA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À CORROSÃO POR PITES DOS AÇOS INOXIDÁVEIS

Como dito anteriormente, a corrosão por pite em aços inoxidáveis se caracteriza pelo ataque localizado da camada passivante destas ligas. Entretanto, este tipo de corrosão apenas ocorre quando, em um dado meio, um determinado potencial é alcançado. Este potencial limite, onde a corrosão dos aços se inicia, é chamado de potencial de pite (E_{pite}). Desta forma, a medida deste potencial é um parâmetro básico na avaliação da resistência à corrosão por pite destes materiais em relação aos diversos meios a que estão expostos (WOLYNEC, 2003)

O levantamento da curva de polarização do metal pode ser feito pela utilização de técnicas eletroquímicas como a técnica potenciodinâmica. Neste método, a determinação da curva de polarização do metal é realizada na direção anódica, a partir de um potencial específico (geralmente o potencial de corrosão – E_{corr}), com uma determinada velocidade de varrimento e respectiva solução de ensaio.

A figura II.25 representa a curva de polarização anódica de um determinado metal. A curva se inicia no potencial de corrosão do metal no meio, no qual se pode observar que com o aumento do potencial há uma conseqüente dissolução do material. Em seguida, a densidade de corrente se reduz rapidamente, obtendo neste ponto a passivação do metal. Com o término da faixa de passivação do material, o processo de dissolução do metal ocorre em elevadas taxas.

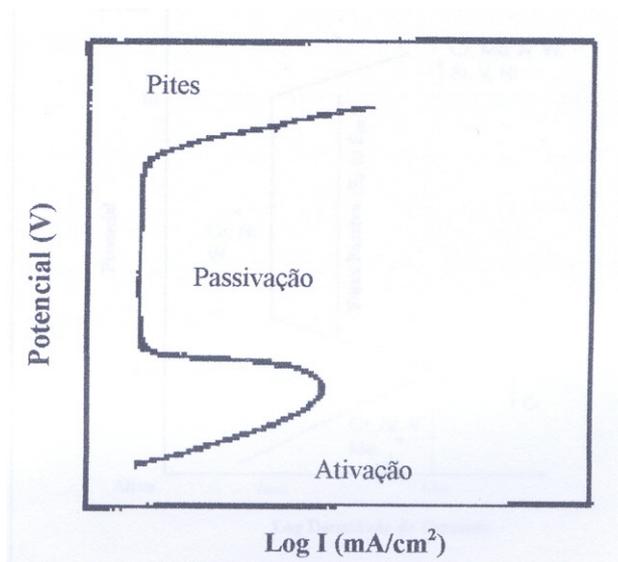


Figura II.25: Exemplo de curva de polarização anódica de um determinado metal

Uma outra técnica para se avaliar a resistência à corrosão de metais é técnica de impedância eletroquímica. Neste método se aplica um potencial de corrente alternada com diversos valores de frequência ao invés de corrente contínua (técnica de polarização).

Dentre as vantagens que a técnica de impedância eletroquímica apresenta sobre as técnicas de corrente contínua, pode-se citar o emprego de sinais extremamente pequenos que não afetam as propriedades do eletrodo e a possibilidade de realização de medidas de taxas de corrosão em meios de baixa condutividade (WOLYNEC, 2003).

III – METODOLOGIA DA PESQUISA

III.1 MÉTODOS EXPERIMENTAIS

A resistência à corrosão por pite dos aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos utilizados nesta pesquisa foi avaliada utilizando-se as técnicas de polarização anódica e impedância eletroquímica, conforme descrevem os itens III.1.1 e III.1.2 apresentados a seguir.

III.1.1 Polarização anódica

Todas as amostras foram analisadas quanto ao seu comportamento anódico nas soluções de ensaio e temperaturas definidas no item III.3. As curvas de polarização anódica foram obtidas com a utilização de um potenciostato AUTOLAB (figura III.1) acoplado a um microcomputador. As varreduras anódicas foram iniciadas a partir dos potenciais de corrosão dos materiais nas soluções de ensaio, estabelecidos após uma hora de imersão. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.



Figura III.1: Potenciostato AUTOLAB utilizado nos ensaios eletroquímicos

O aquecimento das soluções foi realizado com a utilização de um banho-maria com controlador eletrônico e indicador digital de temperatura.

III.1.2 Impedância eletroquímica

As amostras foram analisadas com a utilização do mesmo potenciostato AUTOLAB definido no item III.1.1 acoplado a um microcomputador, porém com o emprego do módulo FRA (*Frequency Response Analyser*). Os ensaios foram realizados nos

potenciais de circuito aberto dos materiais após imersão das amostras nas soluções de ensaio por uma hora.

As condições e temperaturas de ensaio foram as mesmas adotadas no item III.1.1 e todos os ensaios foram realizados em triplicata.

III.1.3 Observações em microscópio

Após a realização dos ensaios de polarização anódica, os corpos-de-prova foram observados em microscópio para a confirmação da formação de pites nas amostras. Os equipamentos utilizados nestas observações foram um microscópio OLYMPUS SZ60 acomplado a uma câmera digital de marca NIKON, modelo E995 e equipamento de iluminação HIGHLIGHT 2000 de marca OLYMPUS.

III.2 MATERIAIS DE PESQUISA

Os números de certificado e de corrida dos materiais avaliados encontram-se descritos na tabela III.1. Todos os materiais foram fornecidos sob a forma de barra de seção circular.

Tabela III.1: Número de certificado de corrida das ligas analisadas

Designação do material	Número do certificado	Número da corrida
UNS S31600	D.H.EXPORTS PVT / E49788	RO-4576
UNS S31803	BGH / 88025	85745
UNS S32760	BGH / 172863	57078
UNS N8904	BGH / 137051	759902

As composições químicas dos aços inoxidáveis objetos desta pesquisa são apresentadas na tabela III.2, segundo informações dos respectivos fabricantes.

Tabela III.2: Composição química declarada pelos fabricantes dos aços inoxidáveis
(LEÃO, 2008)

Elemento	Aço inoxidável (designação)			
	UNS S31600	UNS S31803	UNS S32760	UNS N08904
C	0,02	0,02	0,022	0,01
N	-	0,175	0,27	0,07
Cr	17,10	22,15	25,7	19,9
Ni	11,39	5,65	6,15	24,5
Mo	2,19	3,24	3,62	4,2
Mn	1,36	1,88	0,6	1,85
P	0,028	0,022	0,025	0,022
S	0,027	0,002	0,001	0,001
Si	0,37	0,42	0,41	0,3
Cu	-	-	0,92	1,3
W	-	-	0,6	-
V	-	-	0,063	-
Nb	-	-	0,002	-
Ti	-	-	0,003	-
Al	-	-	0,004	-

Os corpos-de-prova foram preparados de maneira que pequenas amostras dos materiais foram soldados em fio e embutidos em resina. A aparência final do corpo-de-prova é mostrada na figura III.2.



Figura III.2: Aparência final do corpo-de-prova

Todos os corpos-de-prova utilizados nos ensaios de impedância e polarização anódica foram lixados com lixas de granulometria 100, 220, 320, 400, 500 e 600. Após serem lixados, os corpos-de-prova foram lavados com álcool e secos com ar quente.

As áreas medidas dos corpos-de-prova utilizados nas análises foram de 0,50 cm², 0,95 cm², 0,86 cm² e 0,95 cm² para os aços inoxidáveis UNS S31600, UNS S31803, UNS N08904 e UNS S32760, respectivamente.

III.3 SOLUÇÕES E DEMAIS CONDIÇÕES DE ENSAIO

O estudo foi conduzido utilizando as soluções de ensaios descritas na tabela III.3. Todas as soluções foram preparadas conforme norma ASTM D1141-98 (2003) na qual variou-se apenas a concentração de cloretos da solução para verificar o efeito deste íon na resistência à corrosão das ligas. Em todos os casos, o pH foi ajustado para o valor de 8,2 com solução de hidróxido de sódio 0,1 mol/L.

Os reagentes utilizados para o preparo das soluções foram:

- a) NaCl P.A.
- b) Na₂SO₄ anidro P.A.
- c) MgCl₂ • 6H₂O P.A.
- d) CaCl₂ anidro P.A.
- e) SrCl₂ • 6H₂O P.A.
- f) KCl P.A.
- g) NaHCO₃ P.A.
- h) KBr P.A.
- i) H₃BO₃ P.A.
- j) NaF P.A.

A tabela III.3 apresenta a composição química das soluções de água do mar sintética utilizadas nos ensaios de polarização anódica e impedância eletroquímica dos materiais estudados.

Tabela III.3: Composição química das soluções de água do mar sintética utilizadas nos ensaios de polarização anódica e impedância eletroquímica

SOLUÇÃO	Concentração em ppm					
	Na ₂ SO ₄	NaHCO ₃	KBr	H ₃ BO ₃	NaF	Cl ⁻ (NaCl, MgCl ₂ , CaCl ₂ , SrCl ₂ e KCl)
1	4090	201	101	27	3	19830
2	4090	201	101	27	3	50000
3	4090	201	101	27	3	115000
4	4090	201	101	27	3	150000

As demais condições estabelecidas para a condução dos ensaios estão descritas a seguir:

- a) imersão dos corpos-de-prova nas soluções de ensaio por uma hora;
- b) temperaturas ambiente (25 °C) e de 80 °C ± 1 °C;
- c) presença e ausência de gás carbônico.

Para a simulação das condições com presença de CO₂ foi borbulhado este gás nas soluções, até estabilização do pH das mesmas, por cerca de 40 minutos. O gráfico da figura III.3 mostra a variação do pH da solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto em função do tempo de borbulhamento de CO₂ na solução.

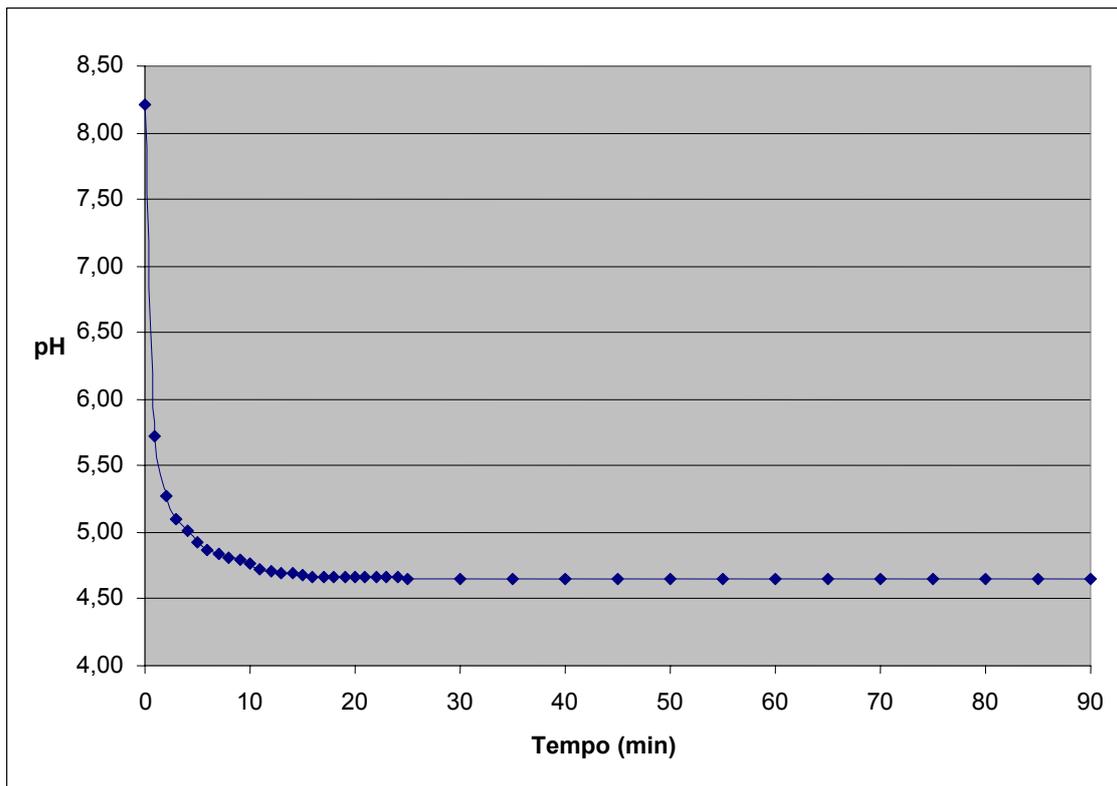


Figura III.3: Gráfico da variação de pH em função do tempo de borbulhamento de CO_2 na solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto

IV – RESULTADOS

Os resultados dos ensaios realizados para a avaliação da resistência à corrosão por pite dos materiais objetos deste estudo são apresentados neste capítulo, considerando as variáveis de ensaio definidas no item III.3. Os efeitos da temperatura, presença de CO_2 e concentração de íons cloreto do meio serão discutidos no capítulo V.

O estudo foi realizado utilizando as técnicas de polarização anódica dos sistemas em condição estacionária e impedância eletroquímica, conforme métodos descritos nos itens III.1.1 e III.1.2, respectivamente. Após os ensaios de polarização anódica, os corpos-de-prova foram observados em microscópio ótico para a confirmação da formação de pites nos materiais, indicada pelas curvas de polarização anódica.

IV.1 POLARIZAÇÃO ANÓDICA

O experimento foi realizado conforme método descrito no item III.1.1. Os resultados são apresentados a seguir, nas diferentes condições.

IV.1.1 Solução de água do mar sintética com 19830 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Foram realizados experimentos em água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e pH ajustado para 8,2, nas temperaturas ambiente e 80 °C.

As figuras IV.1, IV.2, IV.3 e IV.4 apresentam as curvas de polarização anódica, potencial versus densidade de corrente, dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80°C.

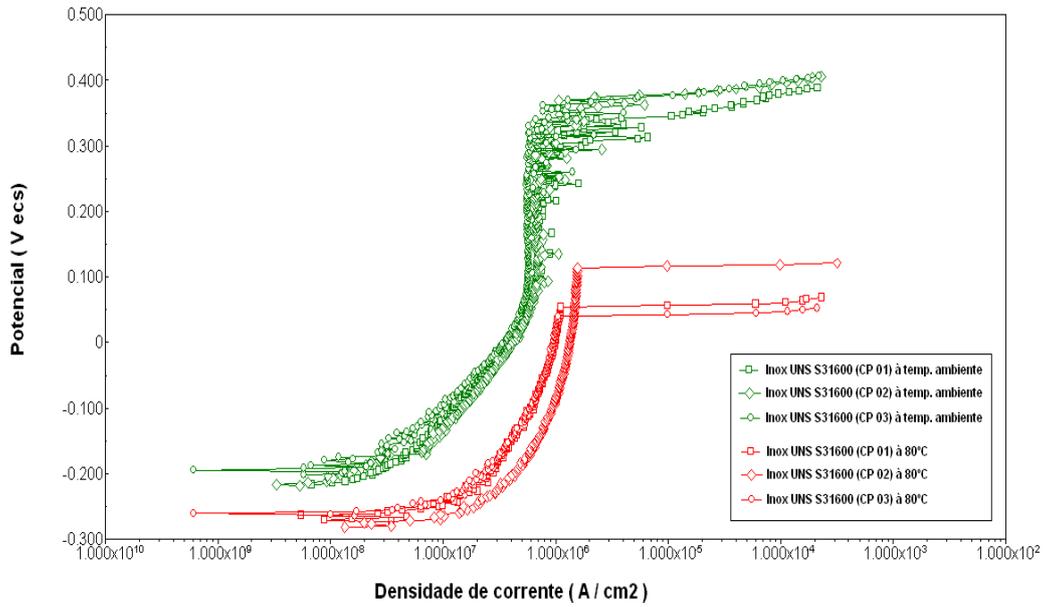


Figura IV.1: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

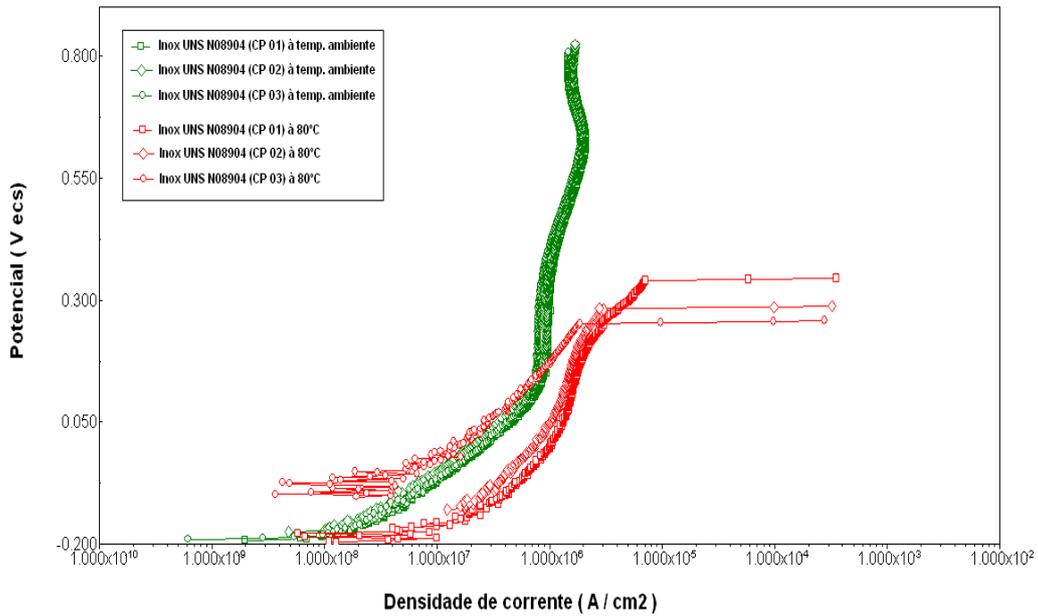


Figura IV.2: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

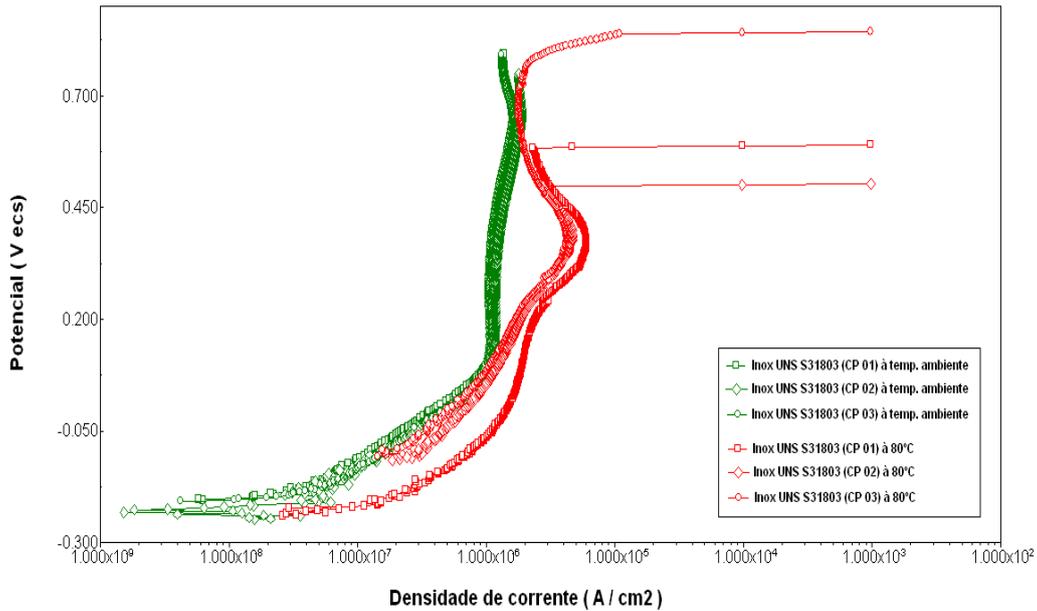


Figura IV.3: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

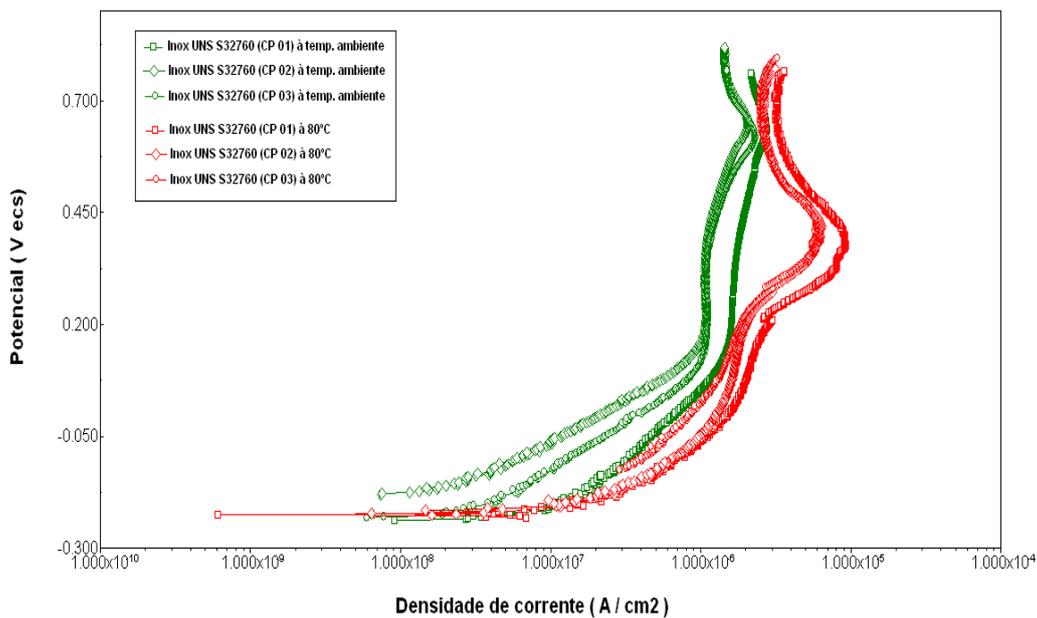


Figura IV.4: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.1.2 Solução de água do mar sintética com 19830ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80°C e presença de CO₂

Da mesma forma que no item anterior, foram realizados experimentos de polarização anódica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto, com o pH ajustado para 8,2, nas temperaturas ambiente e 80 °C. Borbulhou-se CO₂ na solução por cerca de 40 minutos, até estabilização do pH da mesma.

As figuras IV.5, IV.6, IV.7 e IV.8 apresentam as curvas de polarização anódica, potencial versus densidade de corrente, dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

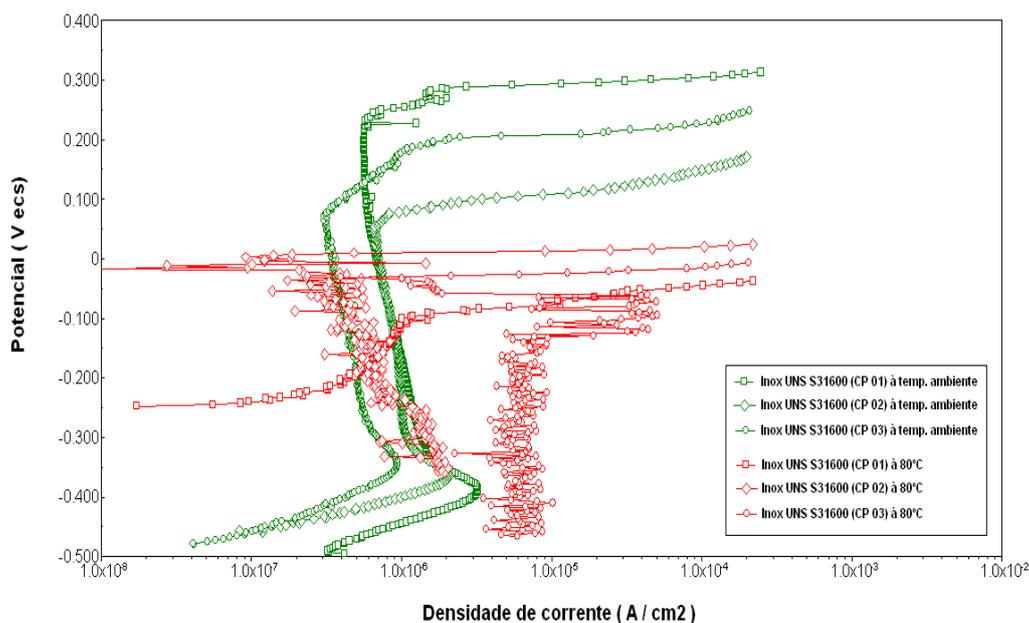


Figura IV.5: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

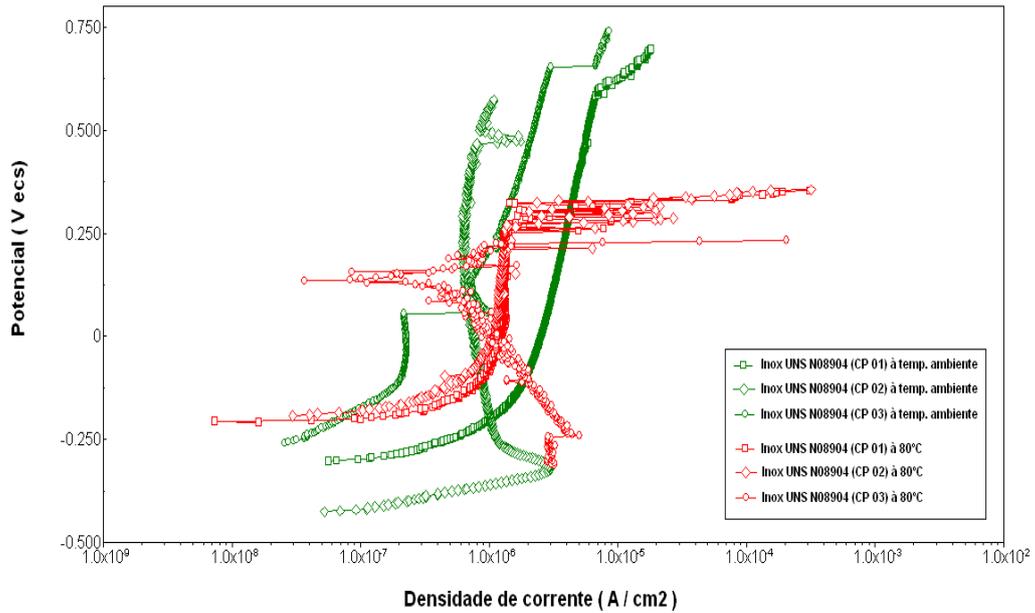


Figura IV.6: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

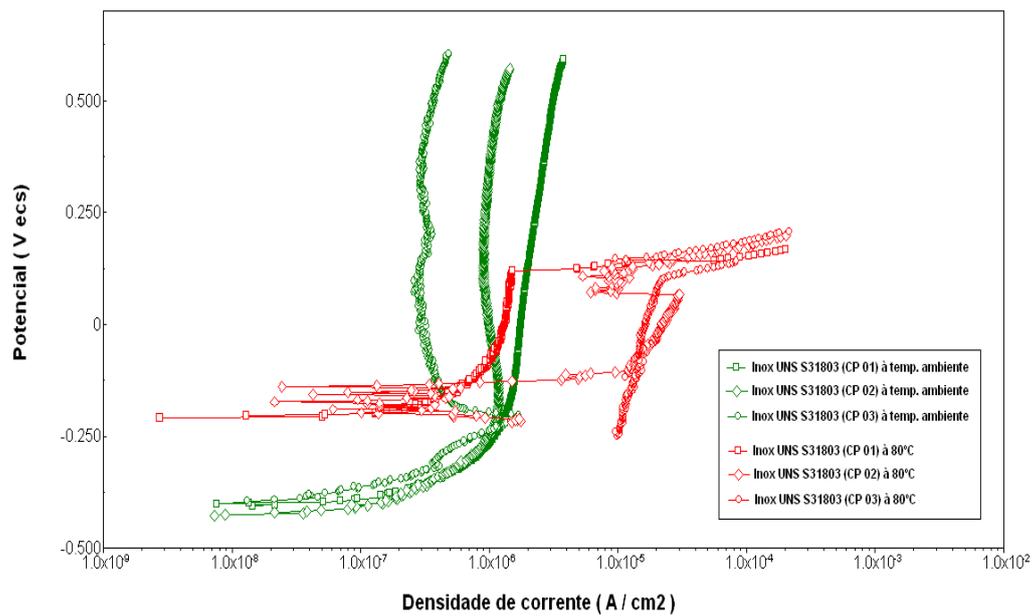


Figura IV.7: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

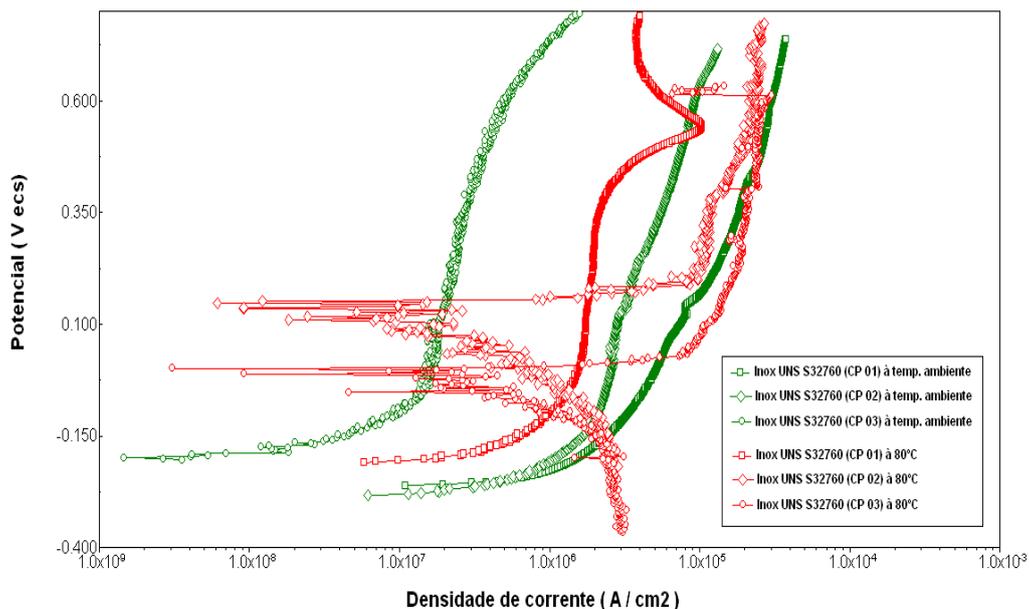


Figura IV.8: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.1.3 Solução de água do mar sintética com 50000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Foram realizados ensaios de polarização anódica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto, com o pH ajustado para 8,2, nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

As figuras IV.9, IV.10, IV.11 e IV.12 apresentam as curvas de polarização anódica, potencial versus densidade de corrente, dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

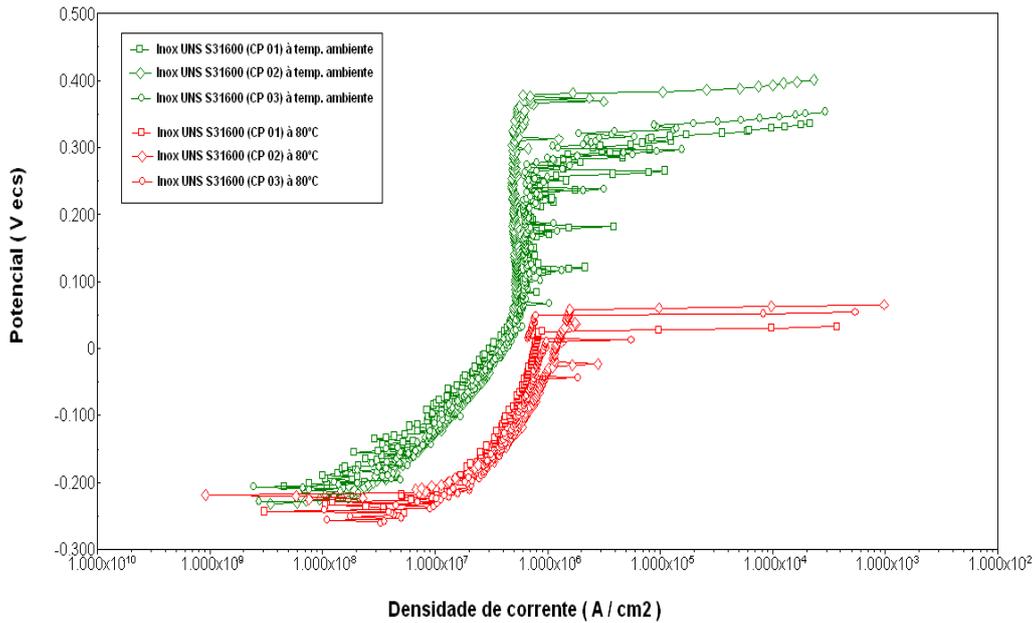


Figura IV.9: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

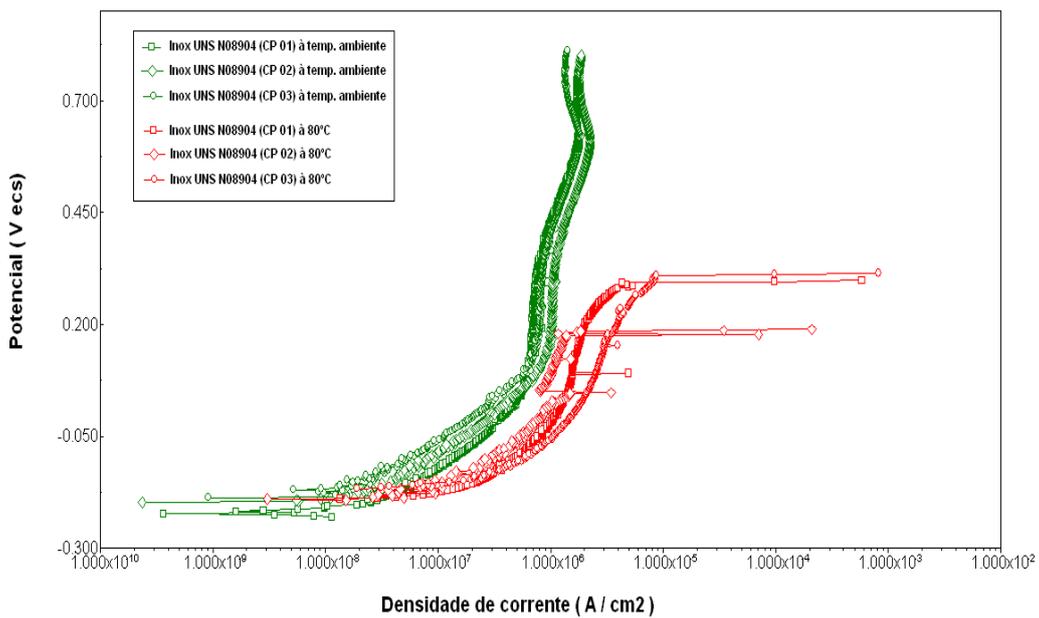


Figura IV.10: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

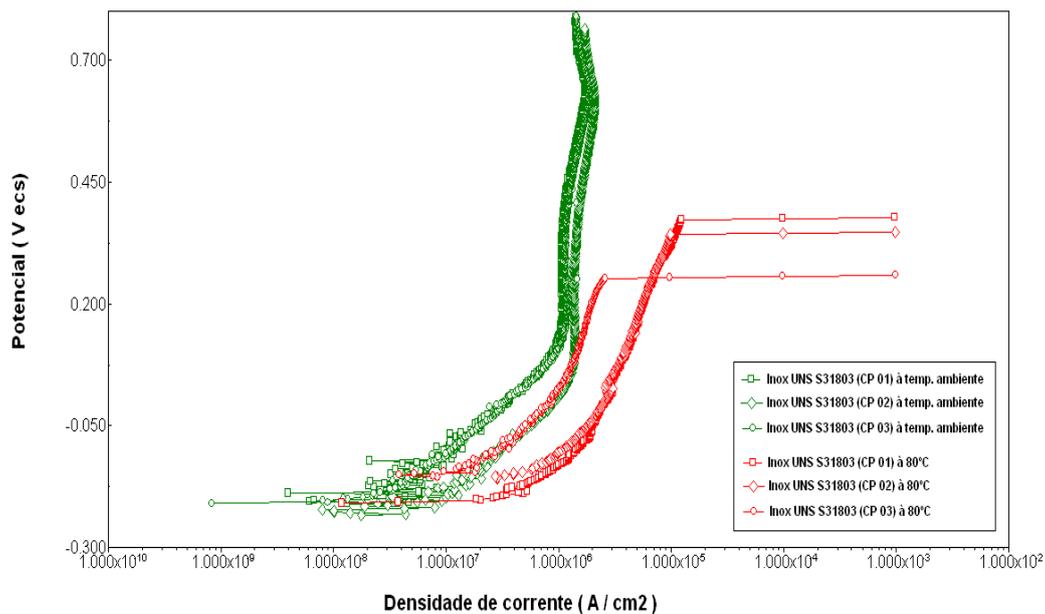


Figura IV.11: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

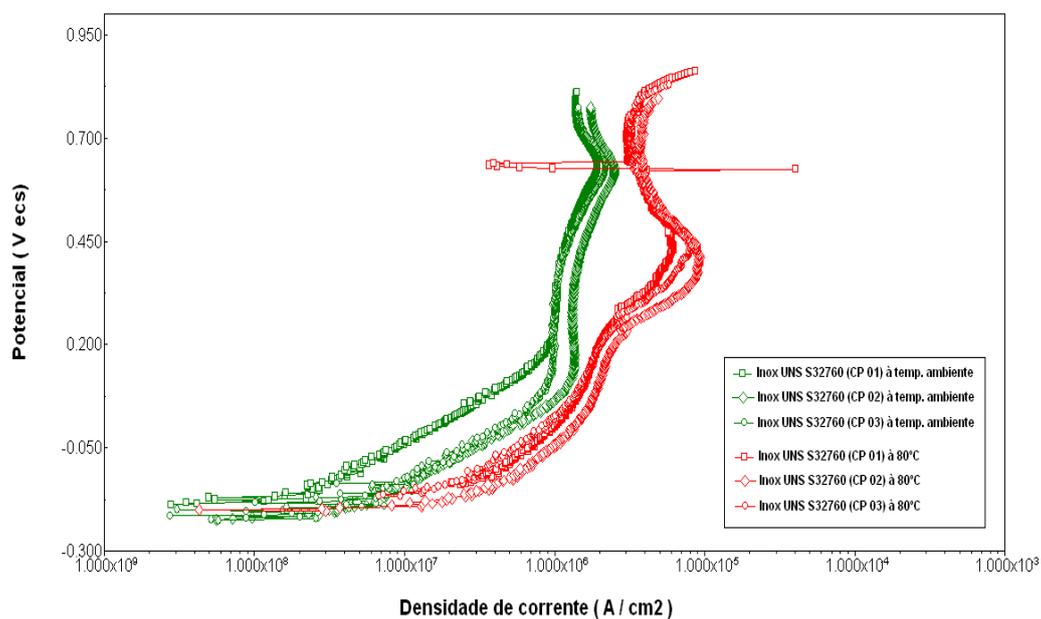


Figura IV.12: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.1.4 Solução de água do mar sintética com 50000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80°C e presença de CO₂

Foram realizados experimentos de polarização anódica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto, com o pH ajustado para 8,2, nas temperaturas ambiente e 80 °C. Borbulhou-se CO₂ na solução por cerca de 40 minutos, até estabilização do pH da mesma.

As figuras IV.13, IV.14, IV.15 e IV.16 apresentam as curvas de polarização anódica, potencial versus densidade de corrente, dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

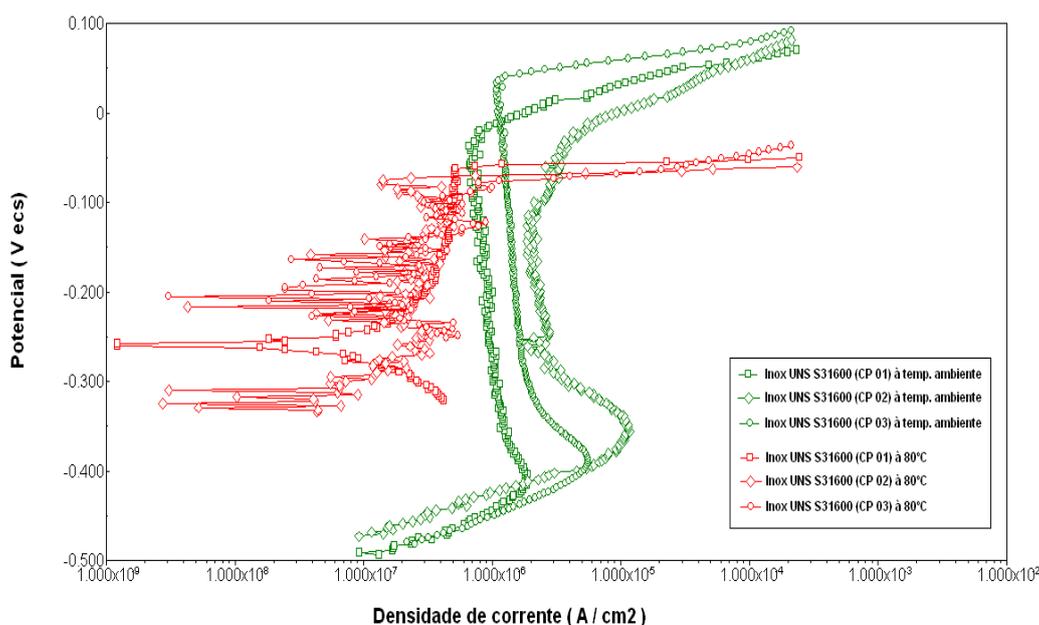


Figura IV.13: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

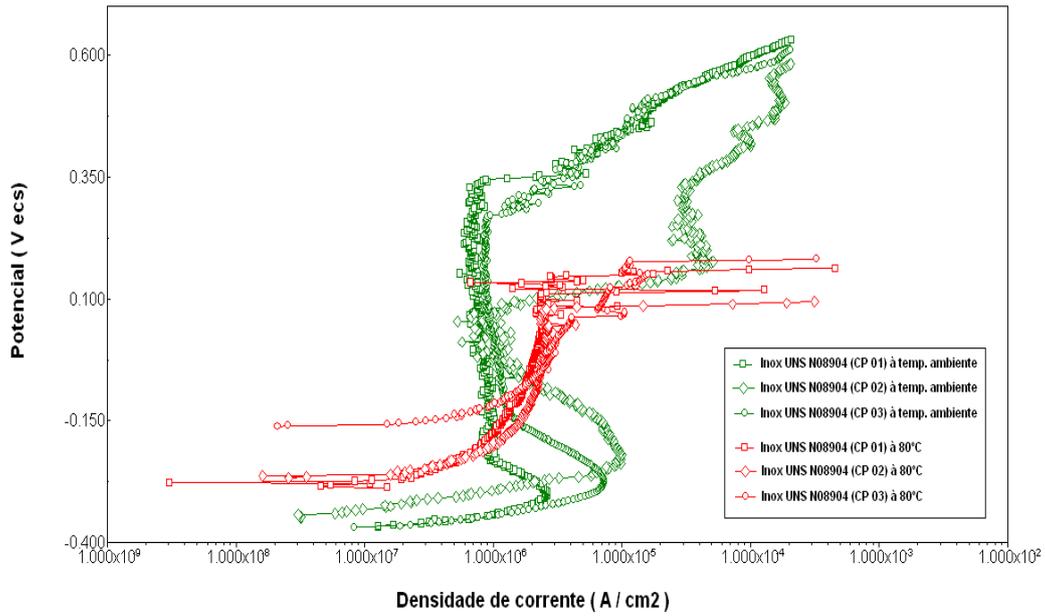


Figura IV.14: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

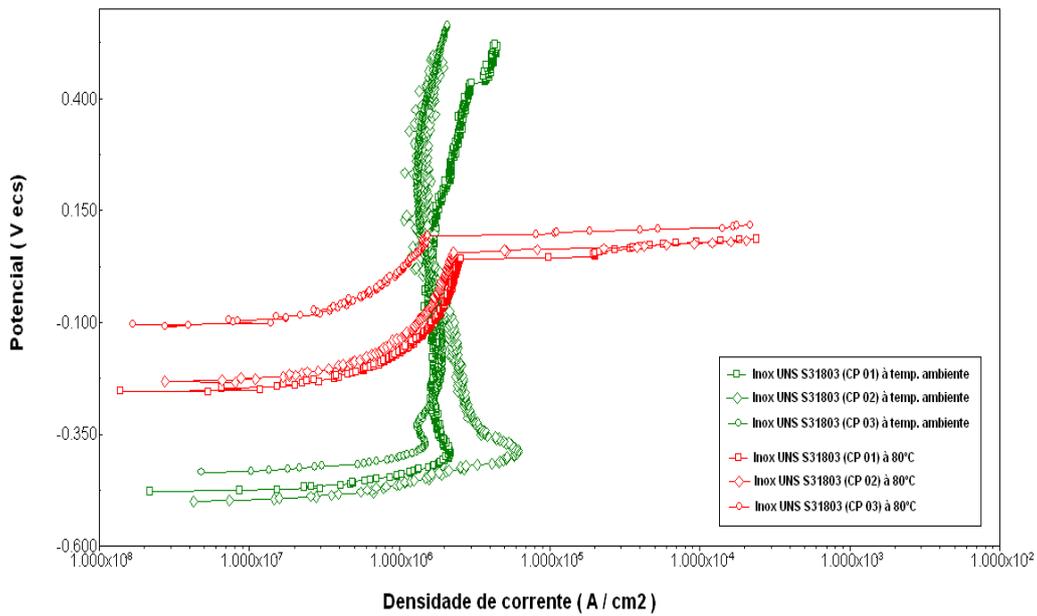


Figura IV.15: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

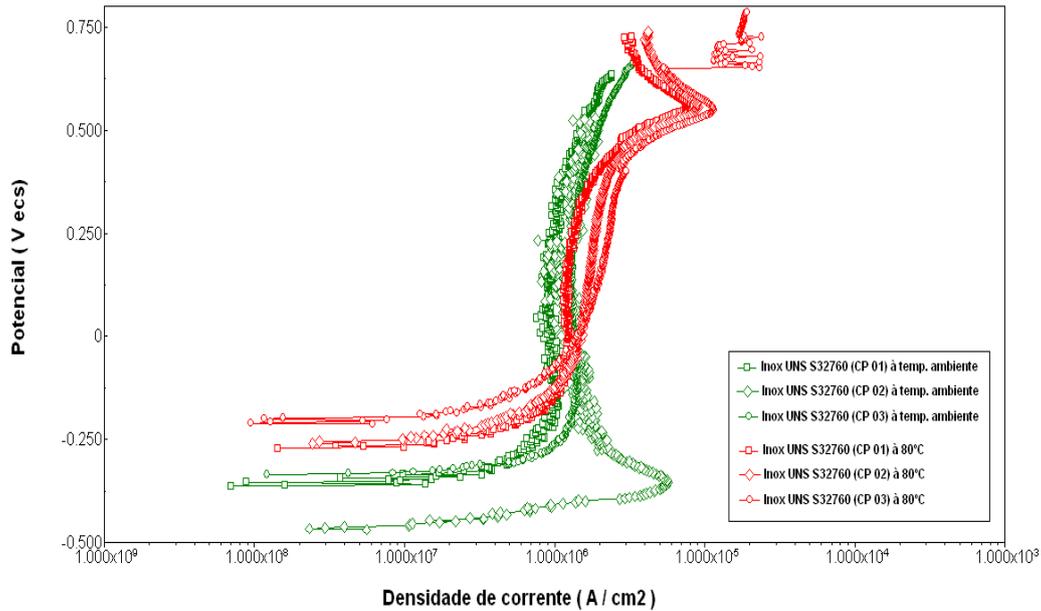


Figura IV.16: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.1.5 Solução de água do mar sintética com 115000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Foram realizados ensaios de polarização anódica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto, com o pH ajustado para 8,2, nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

As figuras IV.17, IV.18, IV.19 e IV.20 apresentam as curvas de polarização anódica, potencial versus densidade de corrente, dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

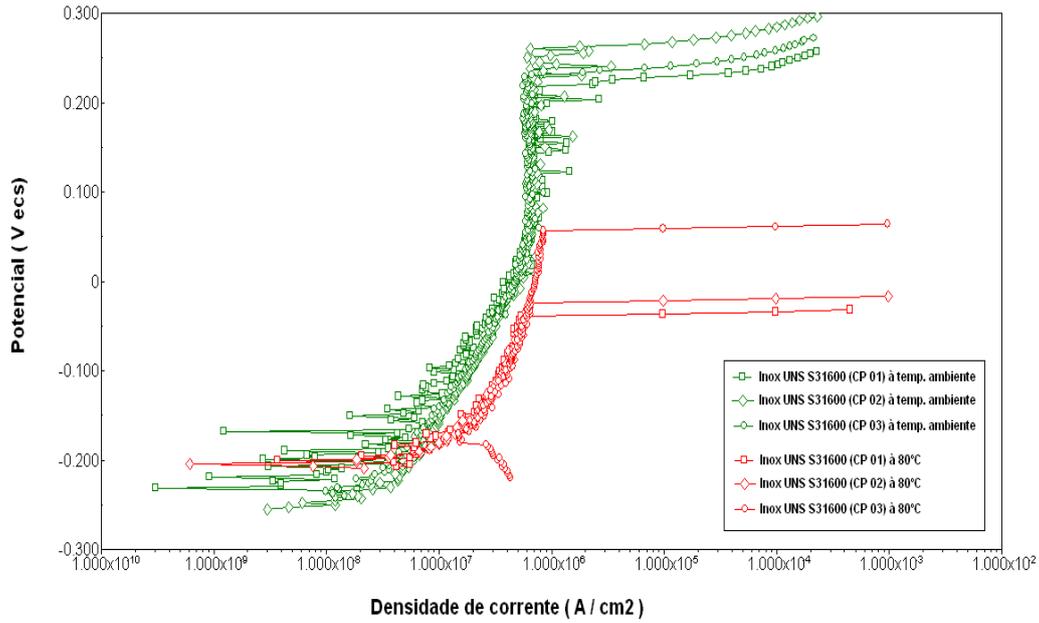


Figura IV.17: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

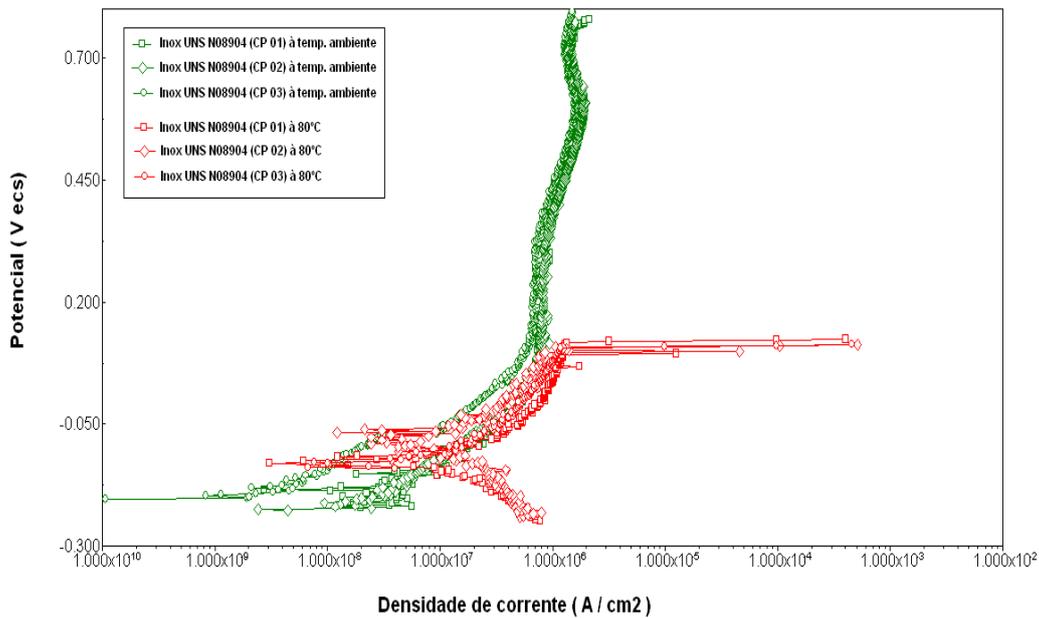


Figura IV.18: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

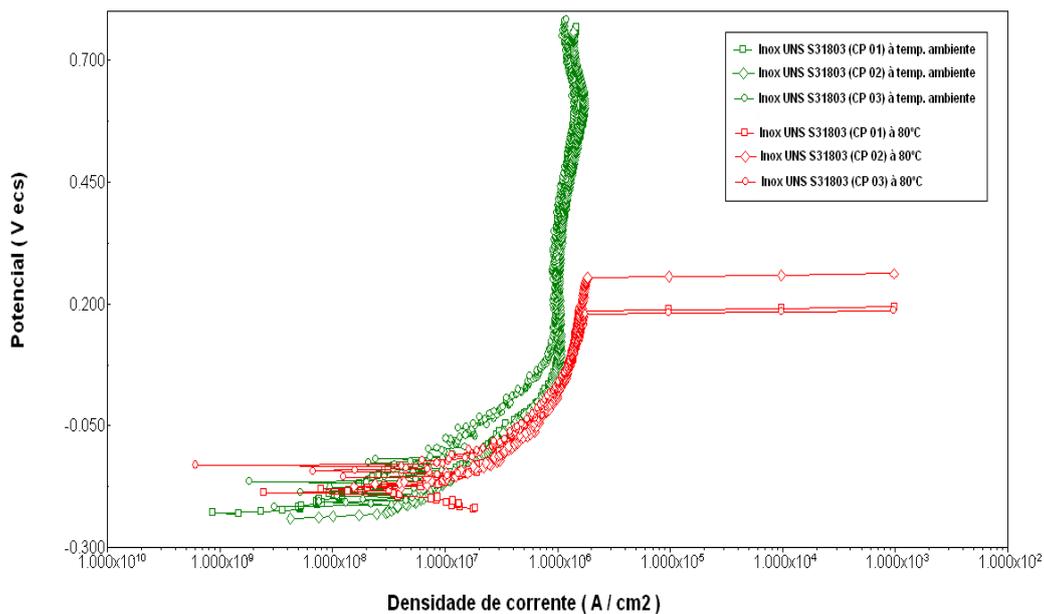


Figura IV.19: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

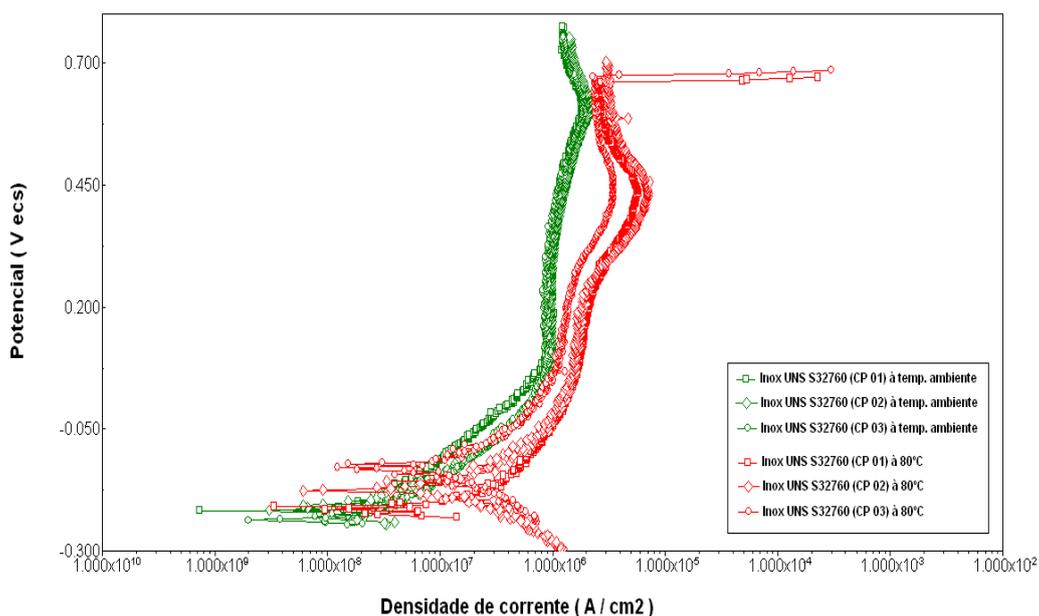


Figura IV.20: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.1.6 Solução de água do mar sintética com 115000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C e presença de CO₂

Foram realizados experimentos de polarização anódica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto, com o pH ajustado para 8,2, nas temperaturas ambiente e 80 °C. Borbulhou-se CO₂ na solução por cerca de 40 minutos, até estabilização do pH da mesma.

As figuras IV.21, IV.22, IV.23 e IV.24 apresentam as curvas de polarização anódica, potencial versus densidade de corrente, dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

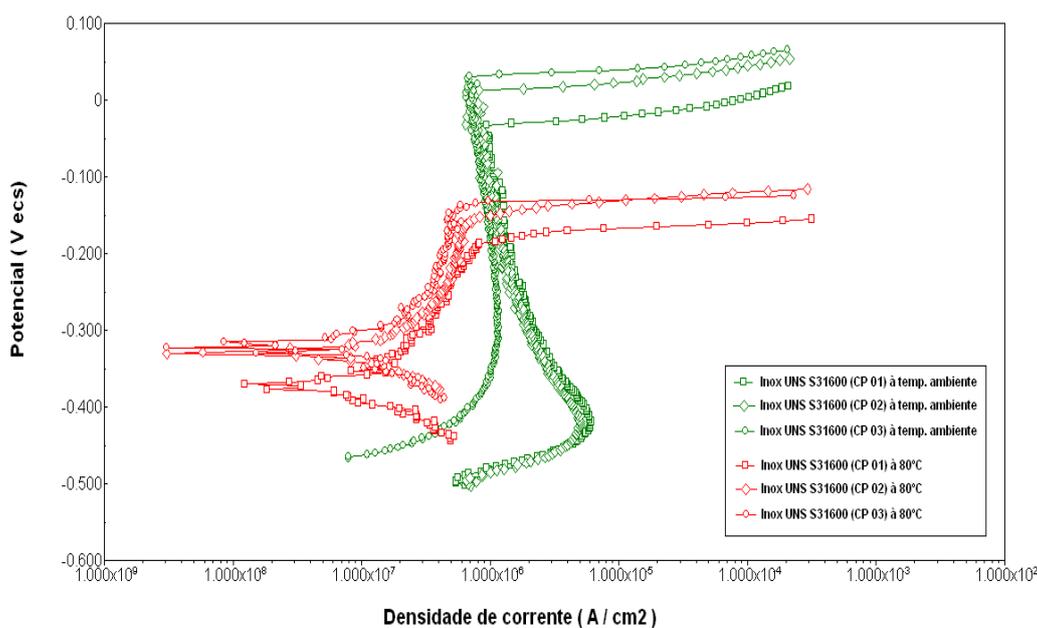


Figura IV.21: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

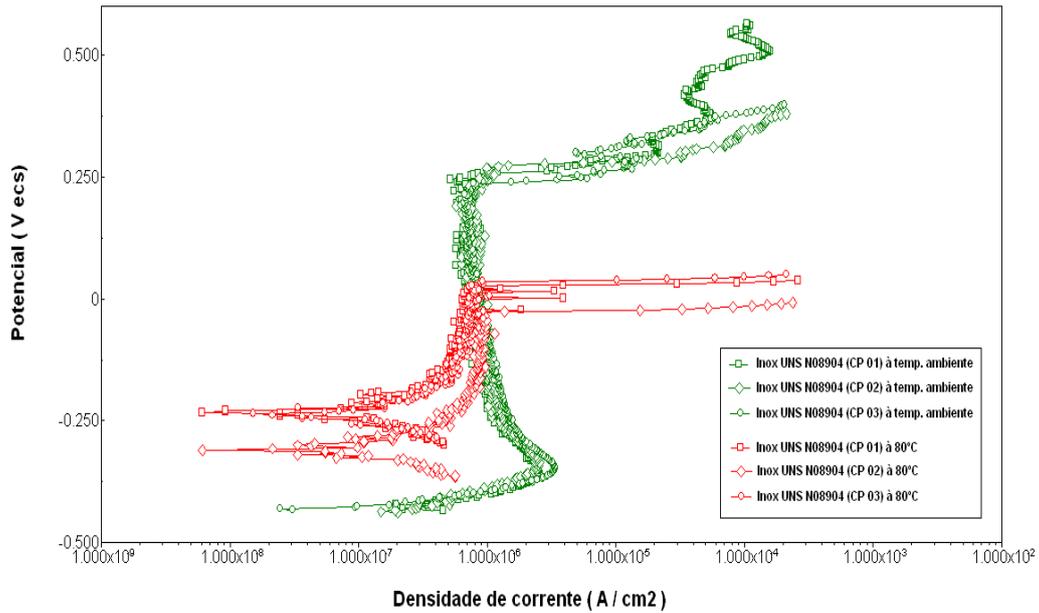


Figura IV.22: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

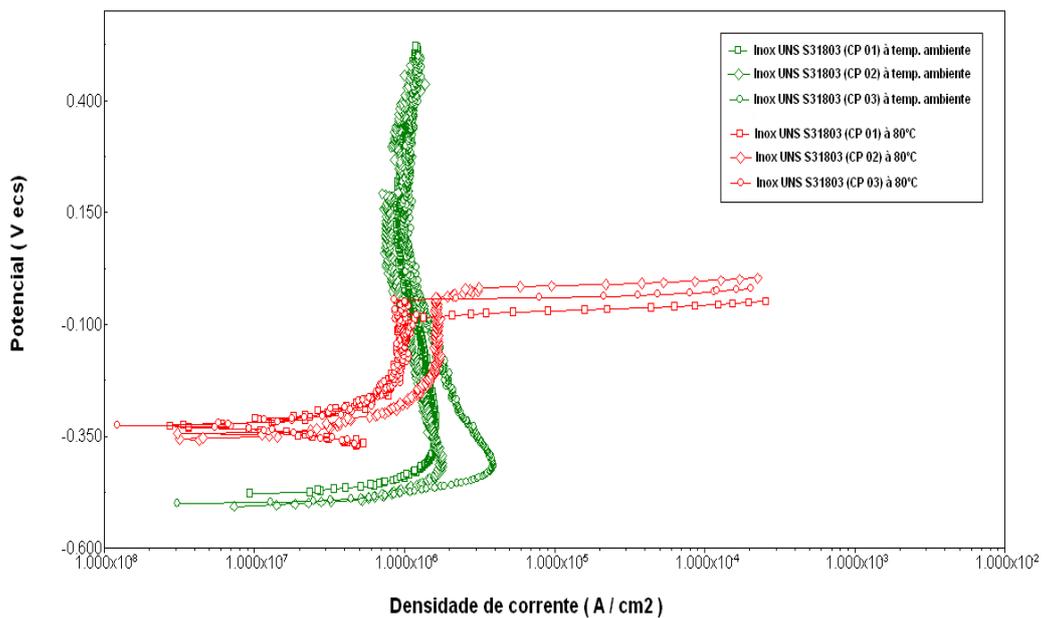


Figura IV.23: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

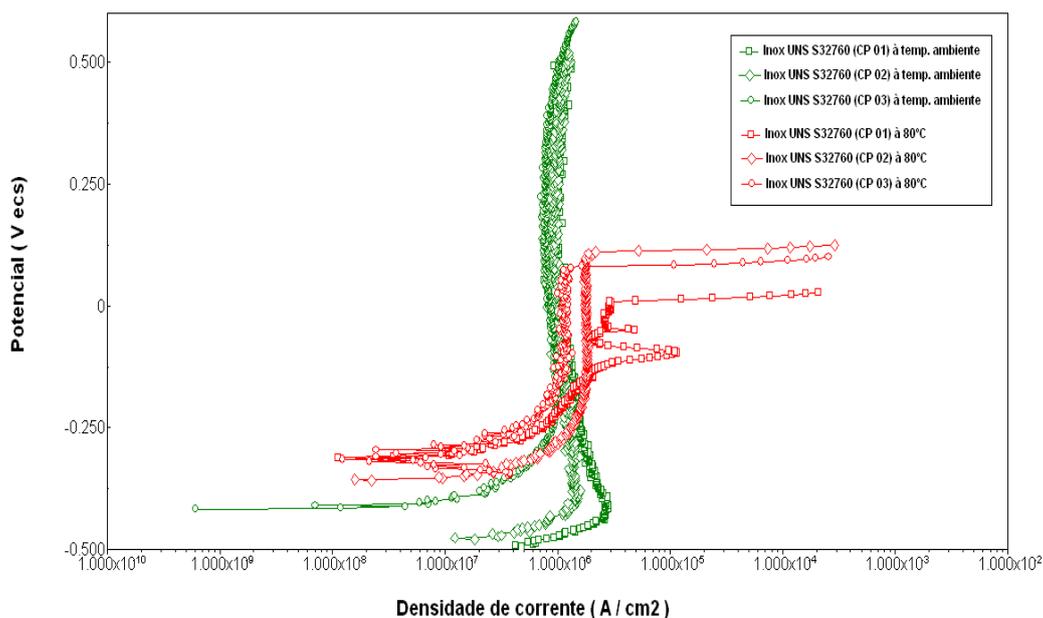


Figura IV.24: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.1.7 Solução de água do mar sintética com 150000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Foram realizados ensaios de polarização anódica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto, com o pH ajustado para 8,2, nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

As figuras IV.25, IV.26, IV.27 e IV.28 apresentam as curvas de polarização anódica, potencial versus densidade de corrente, dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

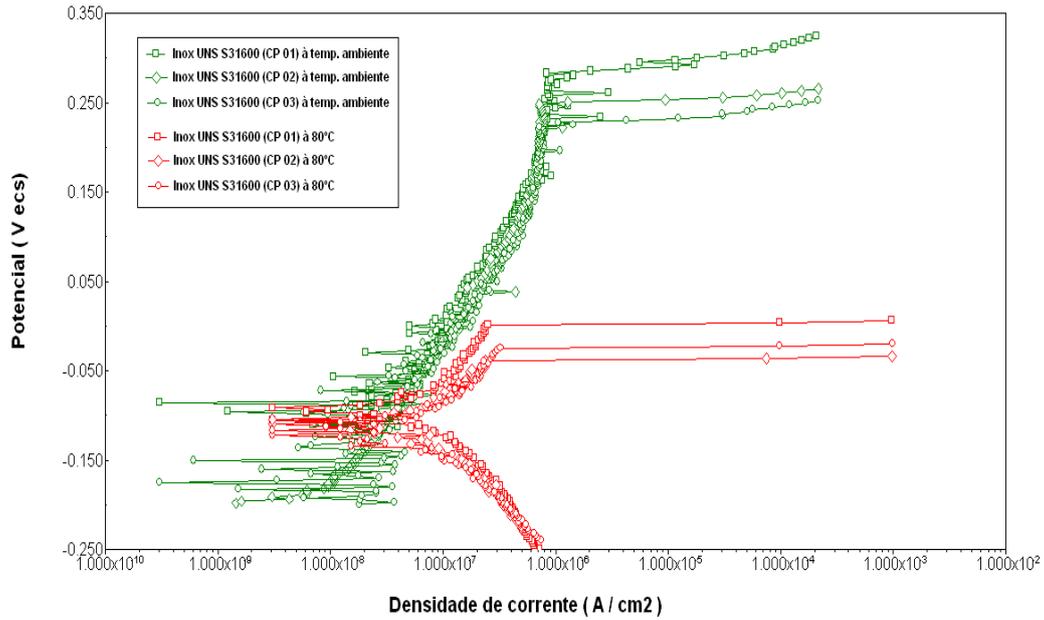


Figura IV.25: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

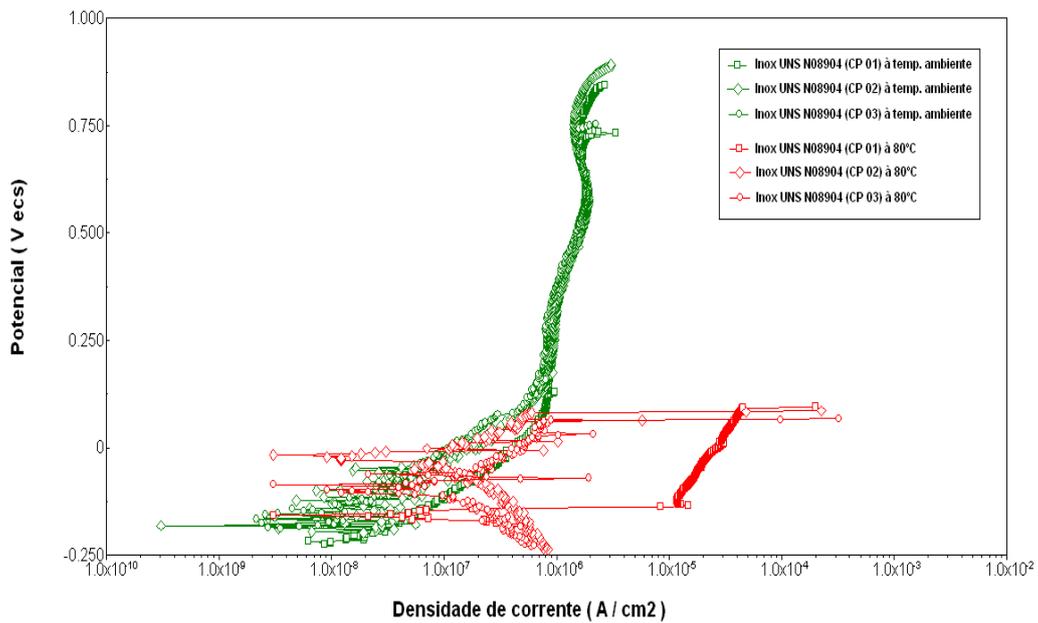


Figura IV.26: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

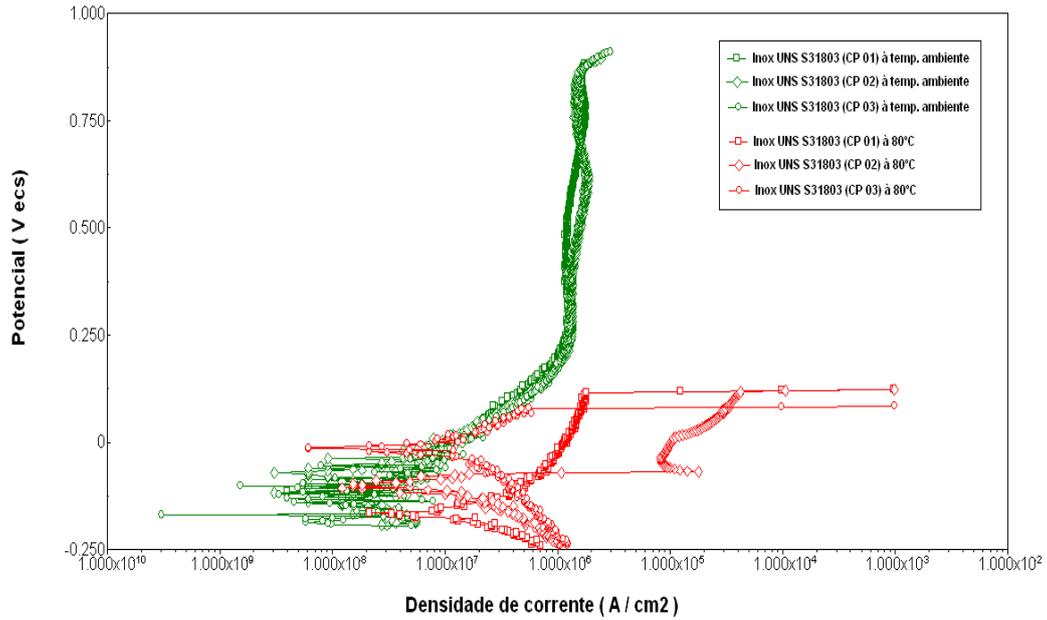


Figura IV.27: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

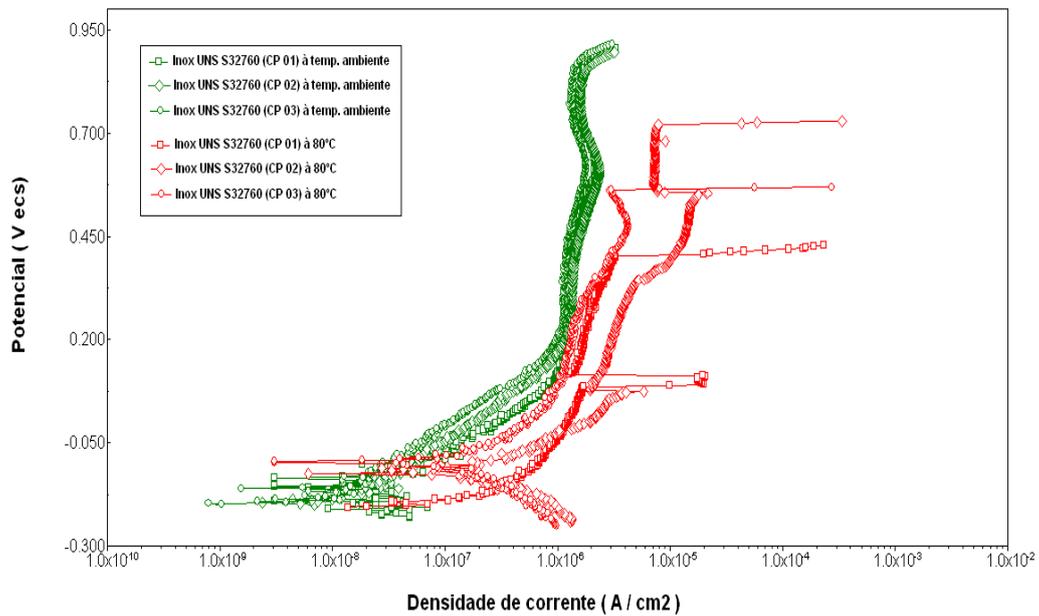


Figura IV.28: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.1.8 Solução de água do mar sintética com 150000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80°C e presença de CO₂

Foram realizados experimentos de polarização anódica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto, com o pH ajustado para 8,2, nas temperaturas ambiente e 80 °C. Borbulhou-se CO₂ na solução por cerca de 40 minutos, até estabilização do pH da mesma.

As figuras IV.29, IV.30, IV.31 e IV.32 apresentam as curvas de polarização anódica, potencial versus densidade de corrente, dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

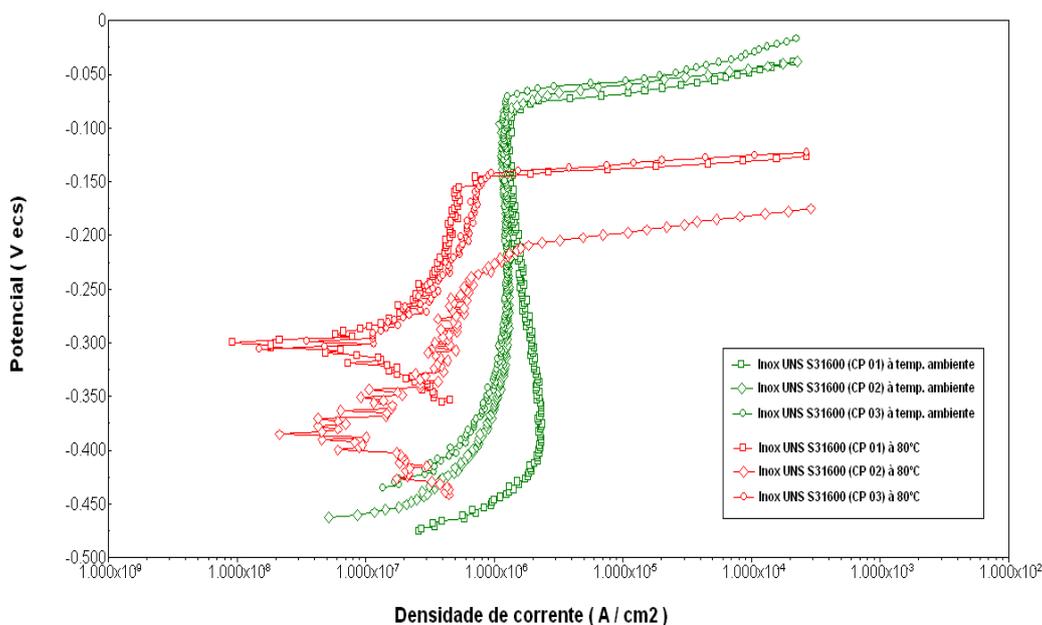


Figura IV.29: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

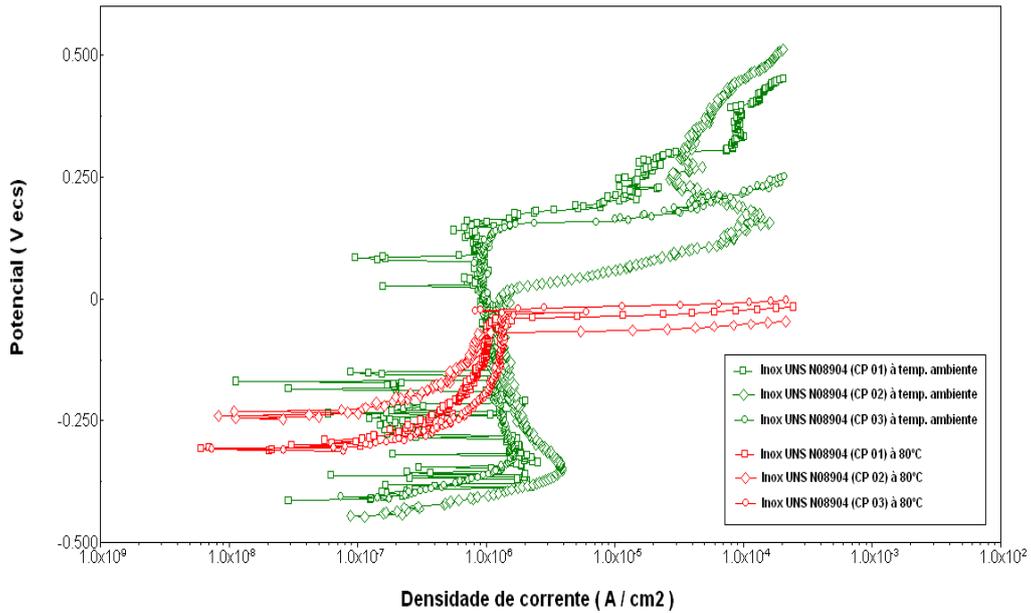


Figura IV.30: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

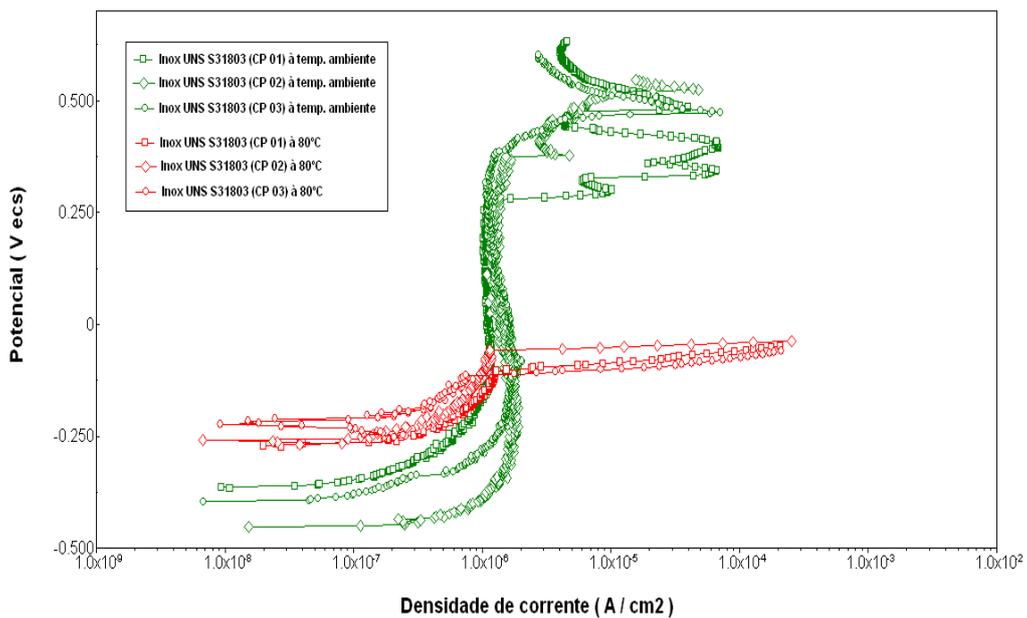


Figura IV.31: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

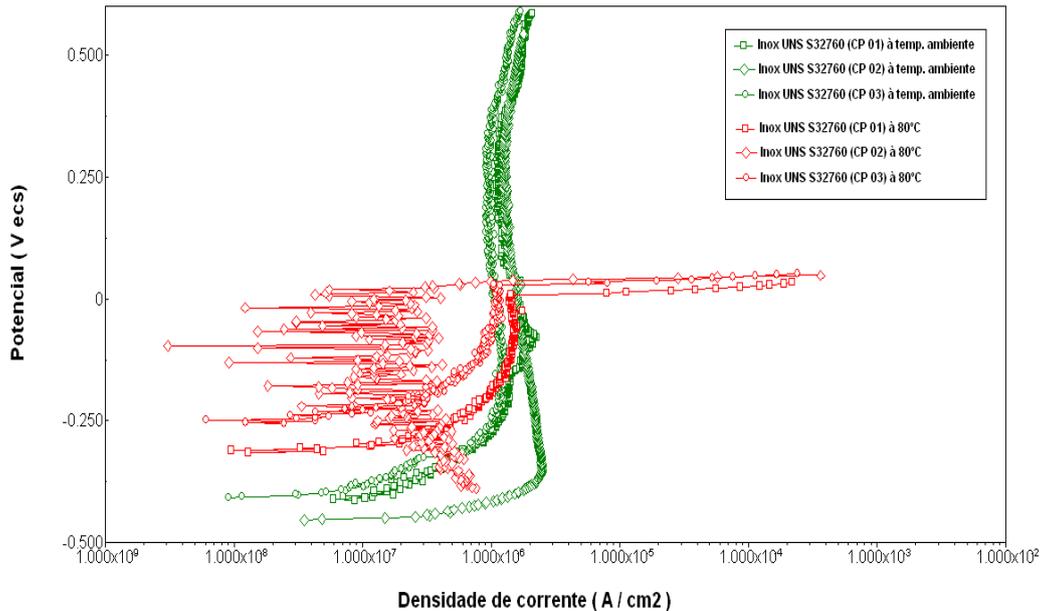


Figura IV.32: Curvas de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.2 ESPECTROSCOPIA DE IMPEDÂNCIA ELETROQUÍMICA

As características da interface passiva dos aços austeníticos UNS S31600 e UNS N08904 (superaustenítico) e dos aços austeno-ferríticos UNS S31803 (duplex) e UNS S32760 (superduplex) nas condições de ensaio foram avaliadas pela técnica de impedância eletroquímica, conforme método descrito no item III.1.2. Os resultados são apresentados a seguir por meio dos diagramas de Nyquist dos materiais.

IV.2.1 Solução de água do mar sintética com 19830 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Foram realizados ensaios de impedância eletroquímica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de cloretos, com o pH ajustado para 8,2, nas temperaturas ambiente (25 °C) e 80 °C.

As figuras IV.33, IV.34, IV.35 e IV.36 apresentam os diagramas de Nyquist dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

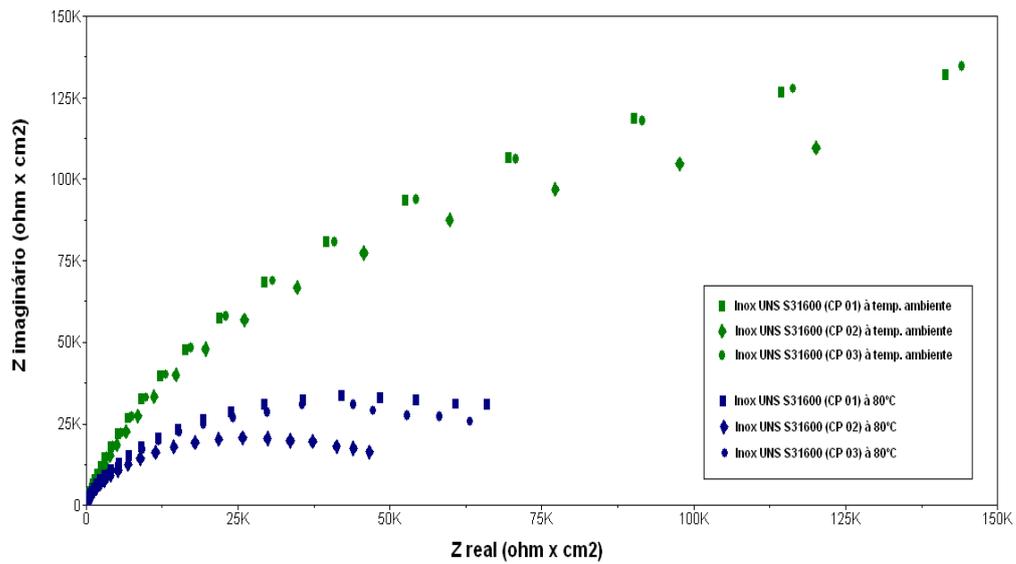


Figura IV.33: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

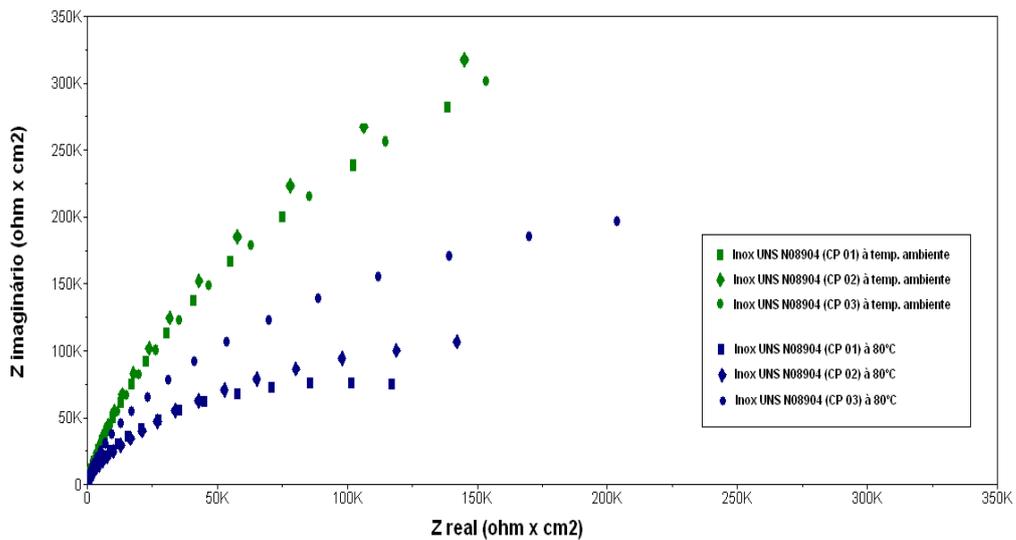


Figura IV.34: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

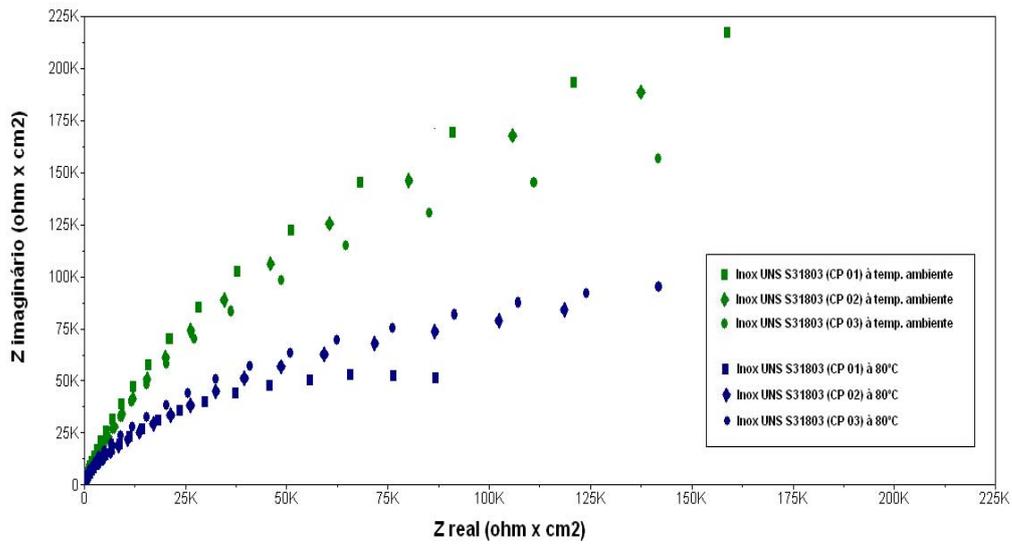


Figura IV.35: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

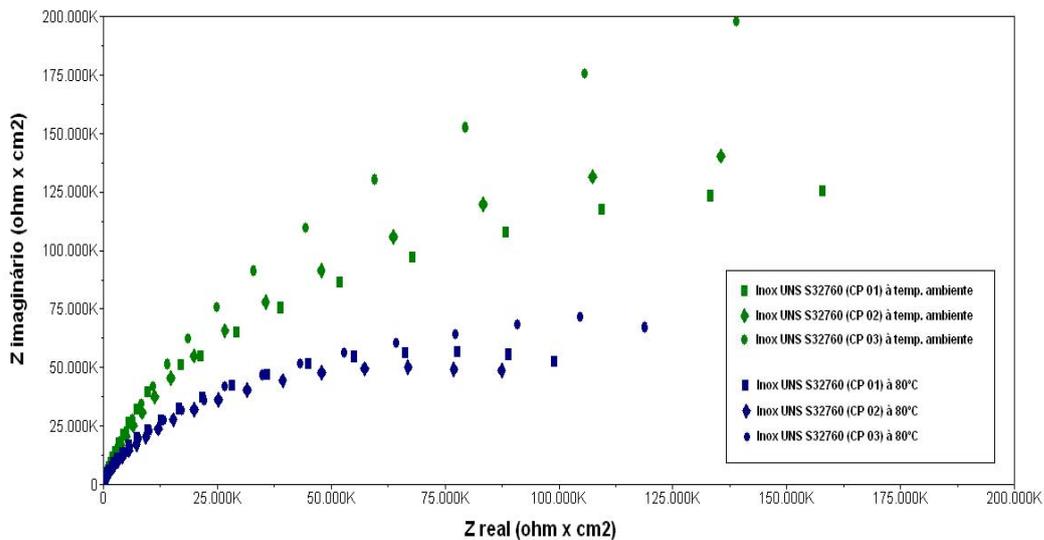


Figura IV.36: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.2.2 Solução de água do mar sintética com 19830 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C e presença de CO₂

Foram realizados ensaios de impedância eletroquímica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de cloretos, com o pH

ajustado para 8,2, nas temperaturas de 25 °C e 80 °C. Borbulhou-se CO₂ na solução por cerca de 40 minutos, até estabilização do pH da mesma.

As figuras IV.37, IV.38, IV.39 e IV.40 apresentam os diagramas de Nyquist dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloretos e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80°C.

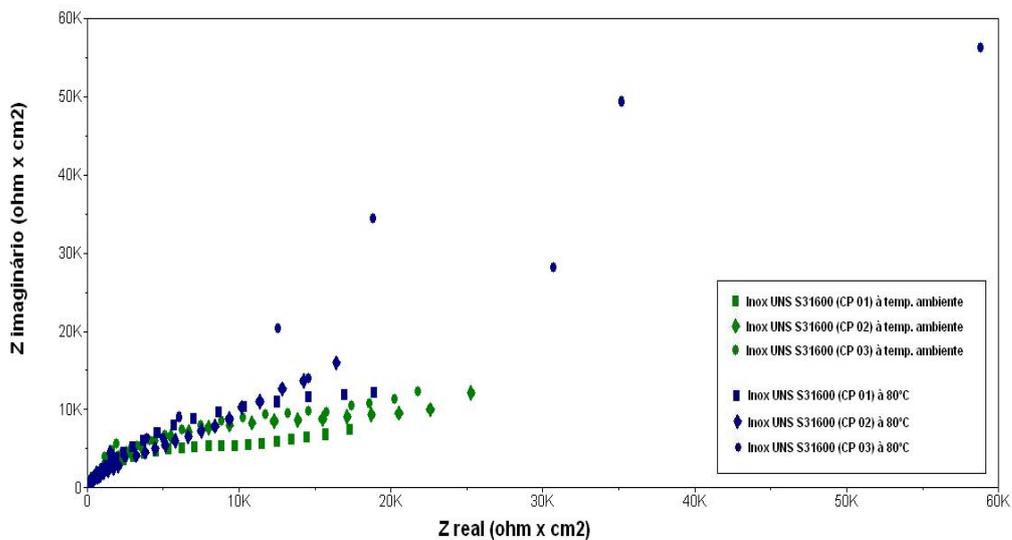


Figura IV.37: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

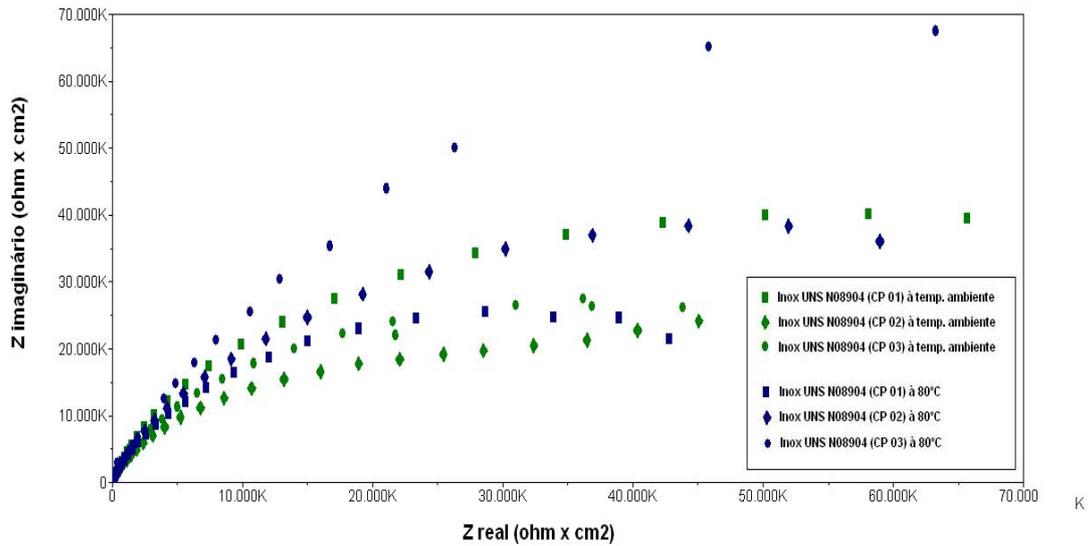


Figura IV.38: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

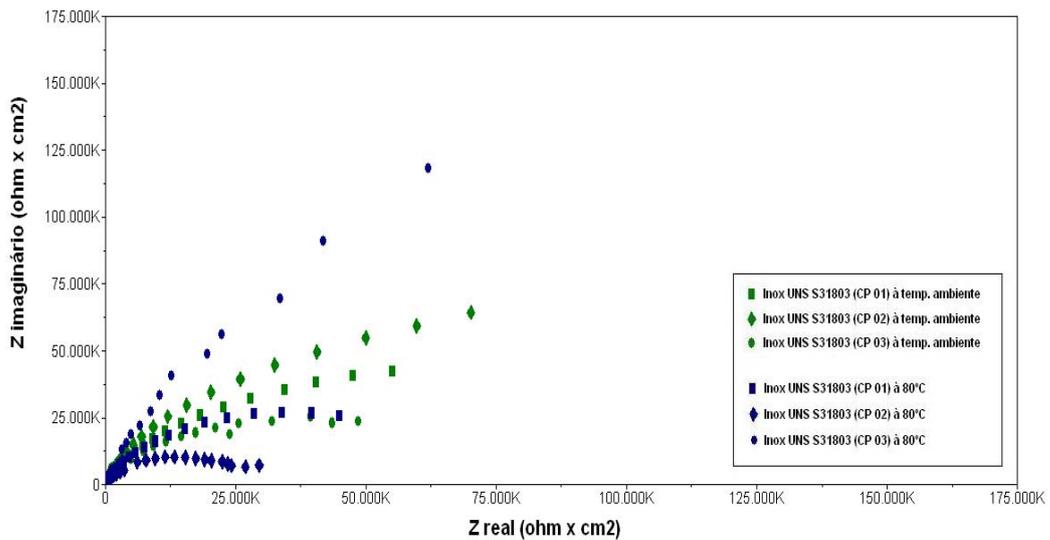


Figura IV.39: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

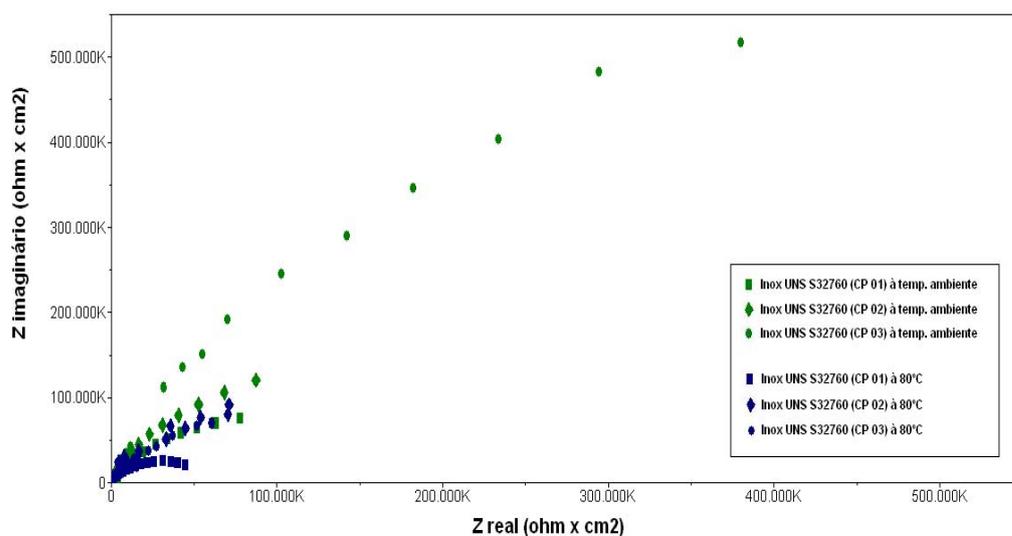


Figura IV.40: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.2.3 Solução de água do mar sintética com 50000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Foram realizados ensaios de impedância eletroquímica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de cloretos, com o pH ajustado para 8,2, nas de 25 °C e 80 °C.

As figuras IV.41, IV.42, IV.43 e IV.44 apresentam os diagramas de Nyquist dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

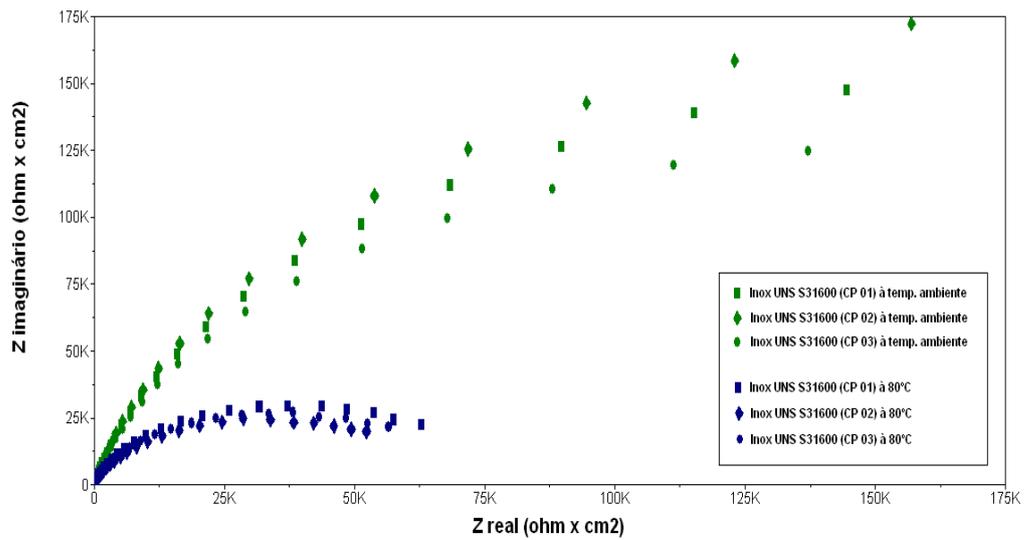


Figura IV.41: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

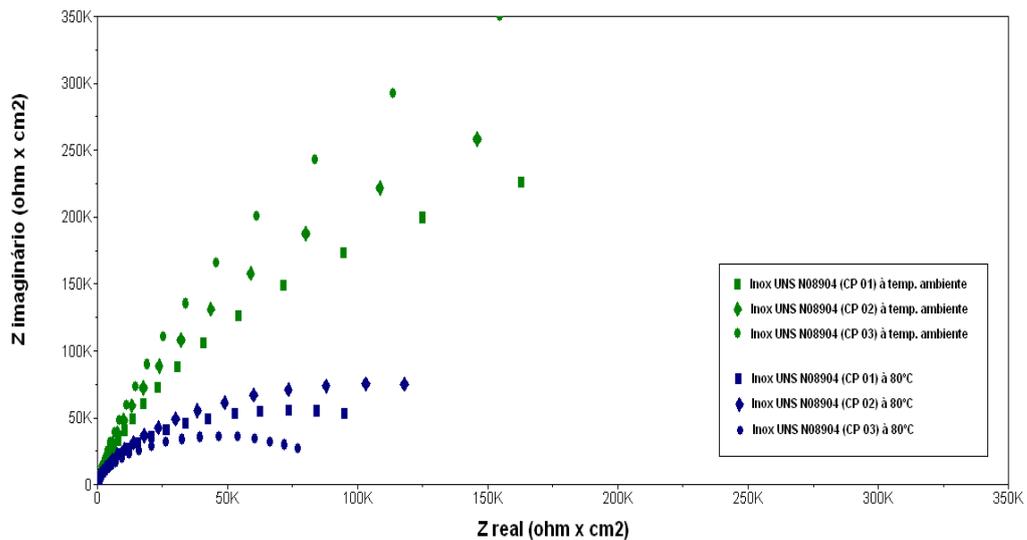


Figura IV.42: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

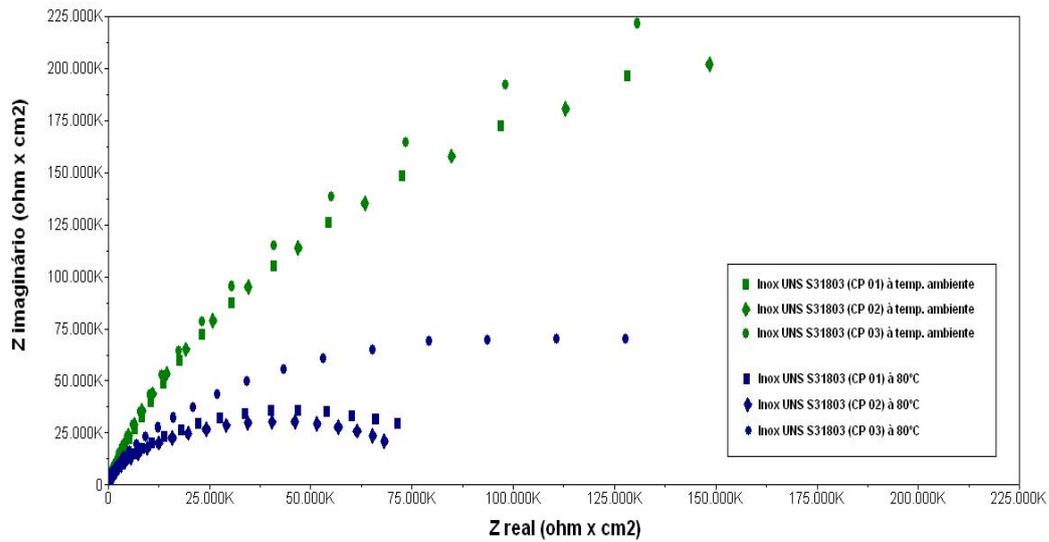


Figura IV.43: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

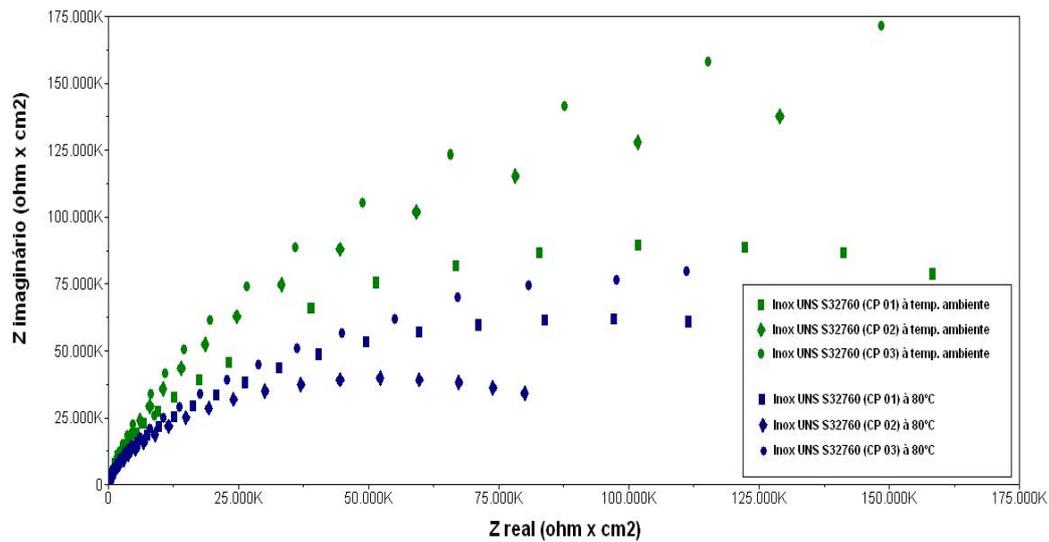


Figura IV.44: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.2.4 Solução de água do mar sintética com 50000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C e presença de CO₂

Foram realizados ensaios de impedância eletroquímica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de cloretos, com o pH ajustado para 8,2, nas temperaturas de 25 °C e 80 °C. Borbulhou-se CO₂ na solução por cerca de 40 minutos, até estabilização do pH da mesma.

As figuras IV.45, IV.46, IV.47 e IV.48 apresentam os diagramas de Nyquist dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloretos e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

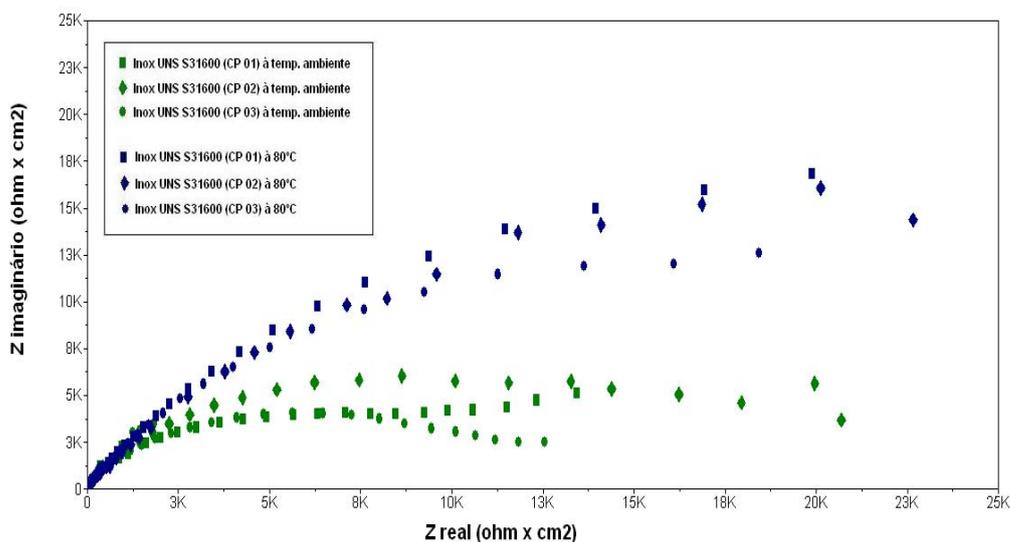


Figura IV.45: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

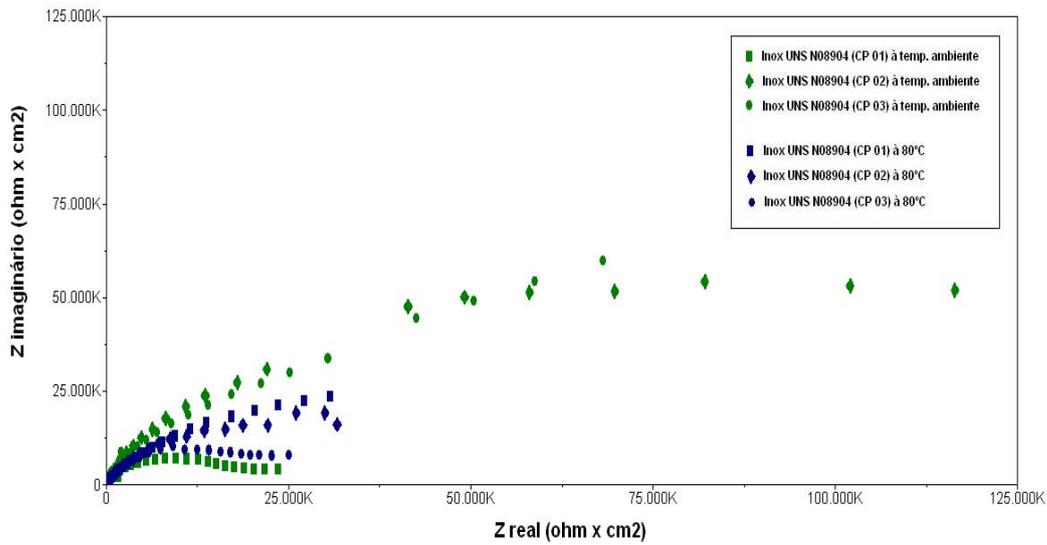


Figura IV.46: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

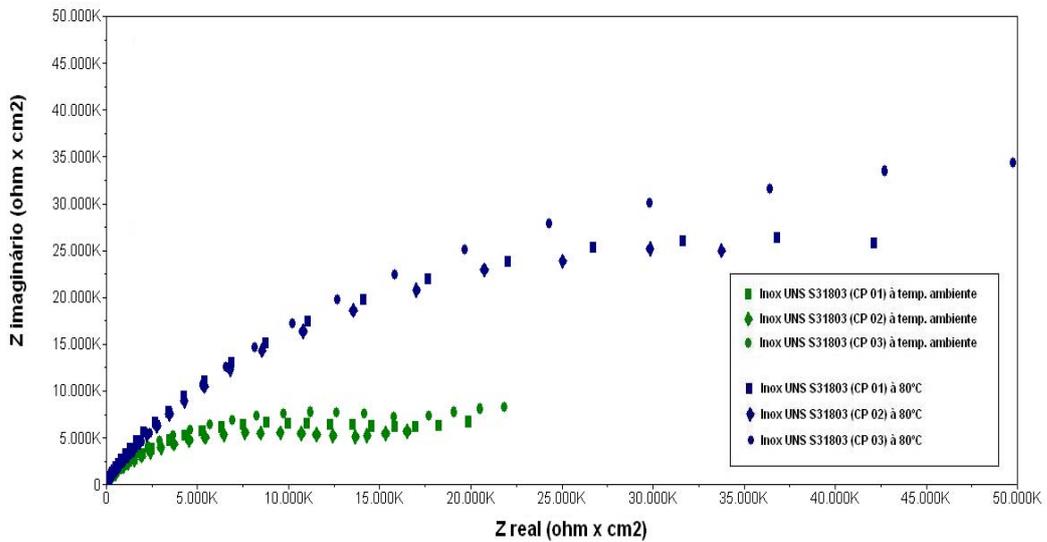


Figura IV.47: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

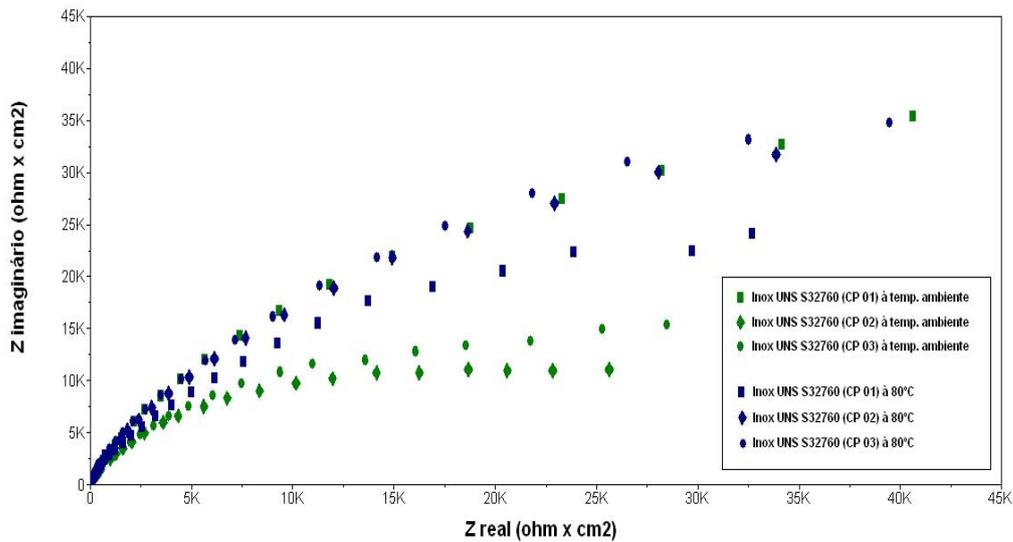


Figura IV.48: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.2.5 Solução de água do mar sintética com 115000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Foram realizados ensaios de impedância eletroquímica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de cloretos, com o pH ajustado para 8,2, nas temperaturas de 25 °C e 80 °C.

As figuras IV.49, IV.50, IV.51 e IV.52 apresentam os diagramas de Nyquist dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

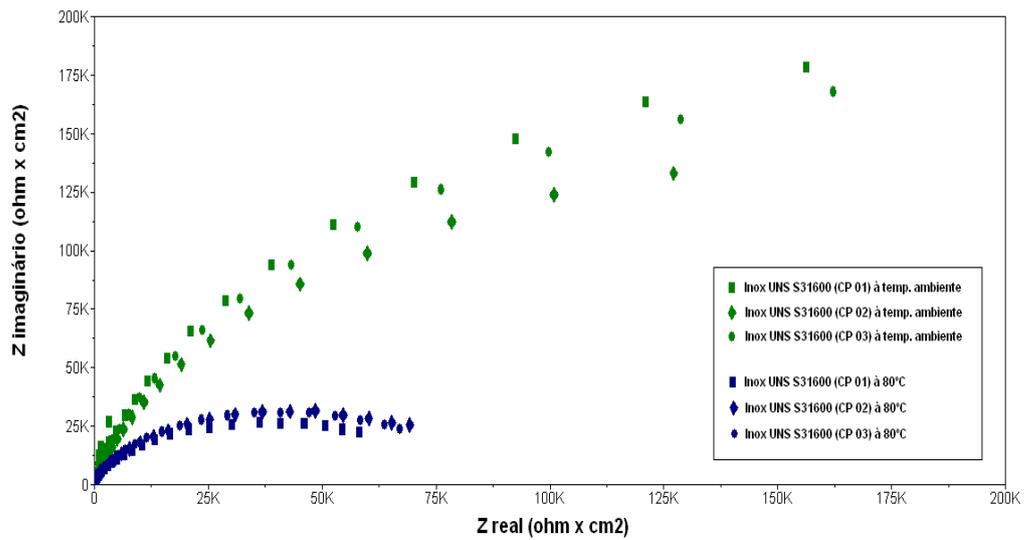


Figura IV.49: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

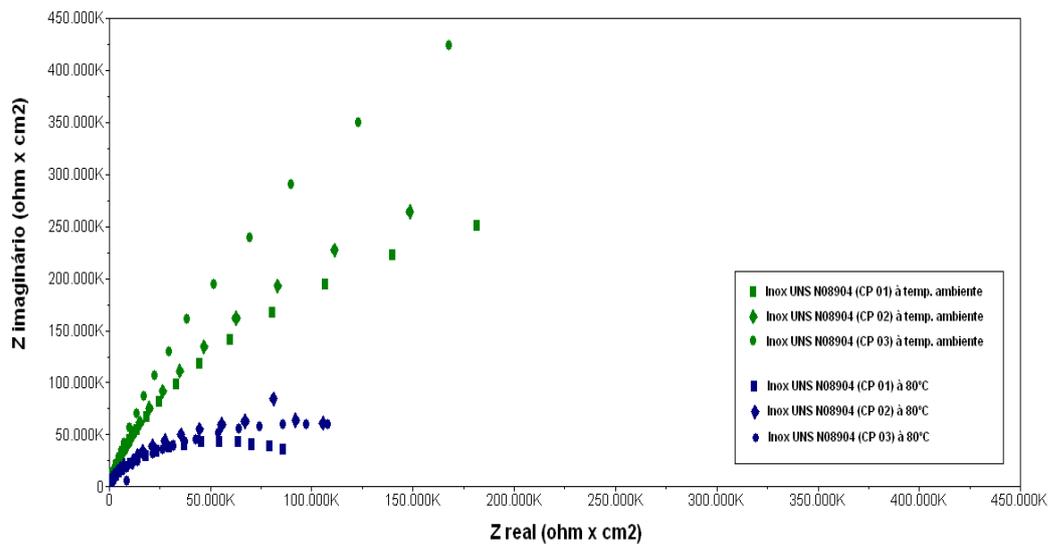


Figura IV.50: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

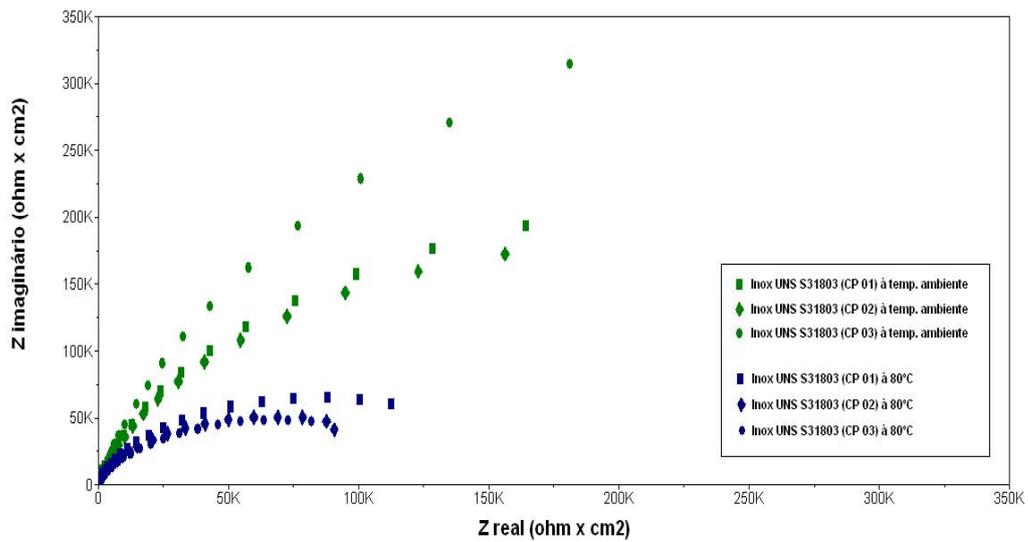


Figura IV.51: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

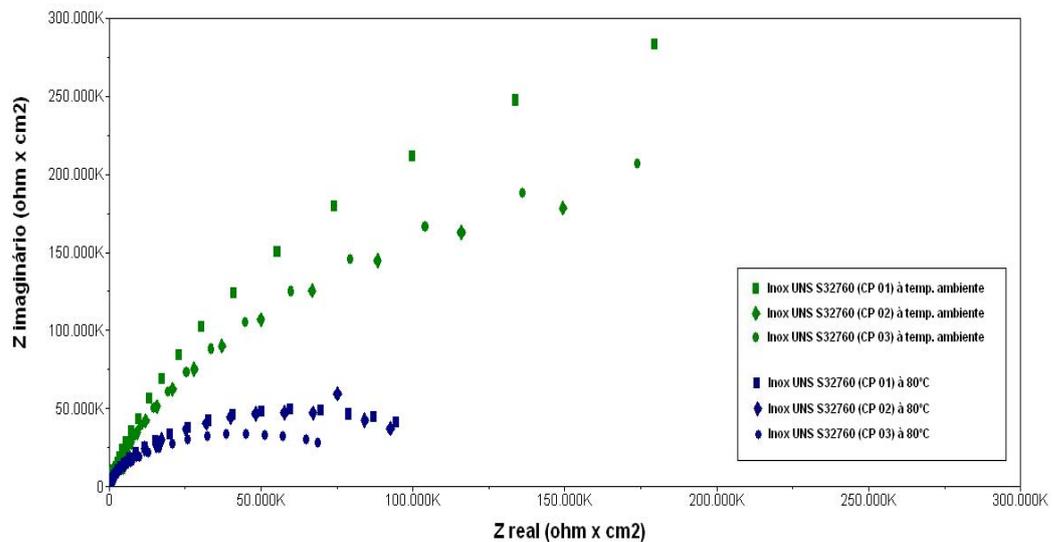


Figura IV.52: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.2.6 Solução de água do mar sintética com 115000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C e presença de CO₂

Foram realizados ensaios de impedância eletroquímica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de cloretos, com o pH ajustado para 8,2, nas temperaturas de 25 °C e 80 °C. Borbulhou-se CO₂ na solução por cerca de 40 minutos, até estabilização do pH da mesma.

As figuras IV.53, IV.54, IV.55 e IV.56 apresentam os diagramas de Nyquist dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloretos e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

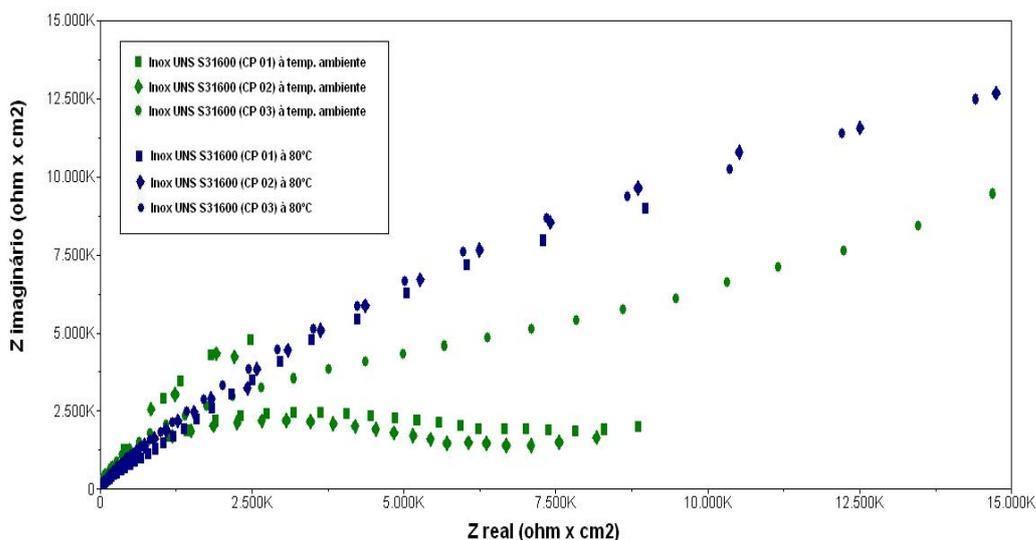


Figura IV.53: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

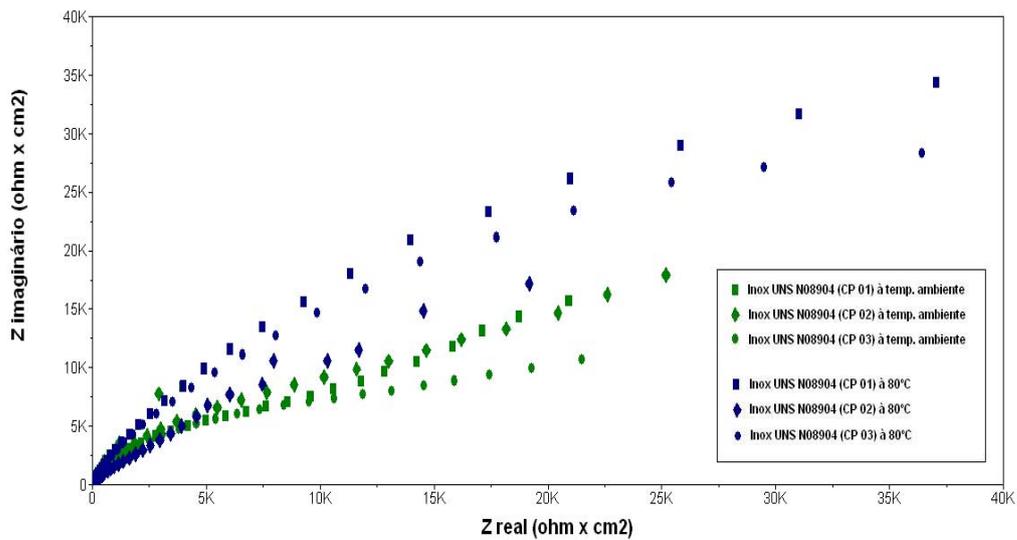


Figura IV.54: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

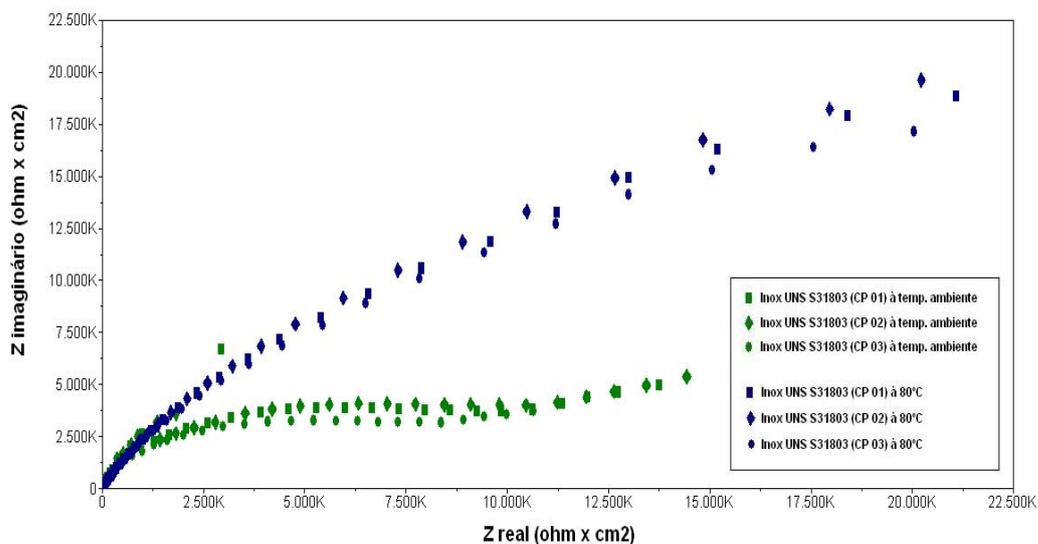


Figura IV.55: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

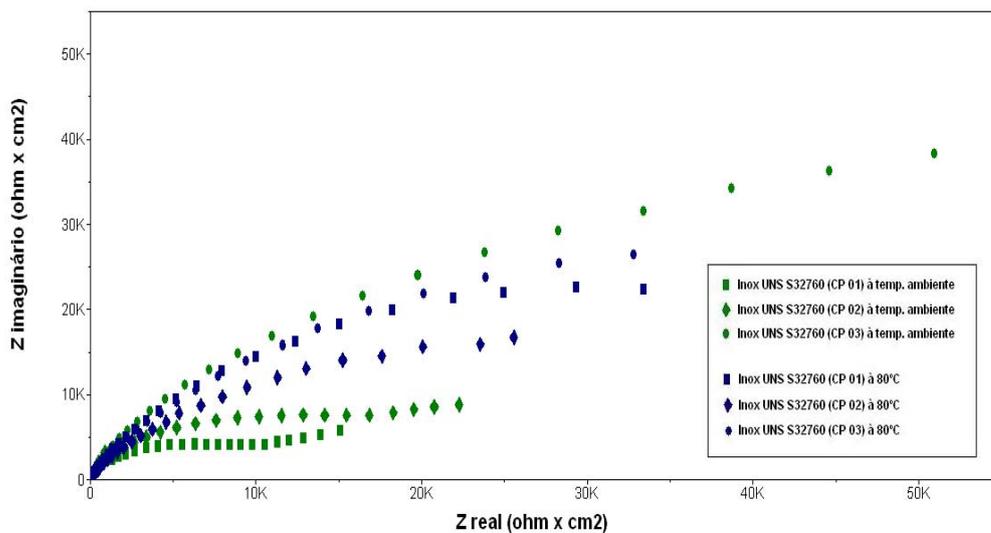


Figura IV.56: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.2.7 Solução de água do mar sintética com 150000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Foram realizados ensaios de impedância eletroquímica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de cloretos, com o pH ajustado para 8,2, nas temperaturas de 25 °C e 80 °C.

As figuras IV.57, IV.58, IV.59 e IV.60 apresentam os diagramas de Nyquist dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

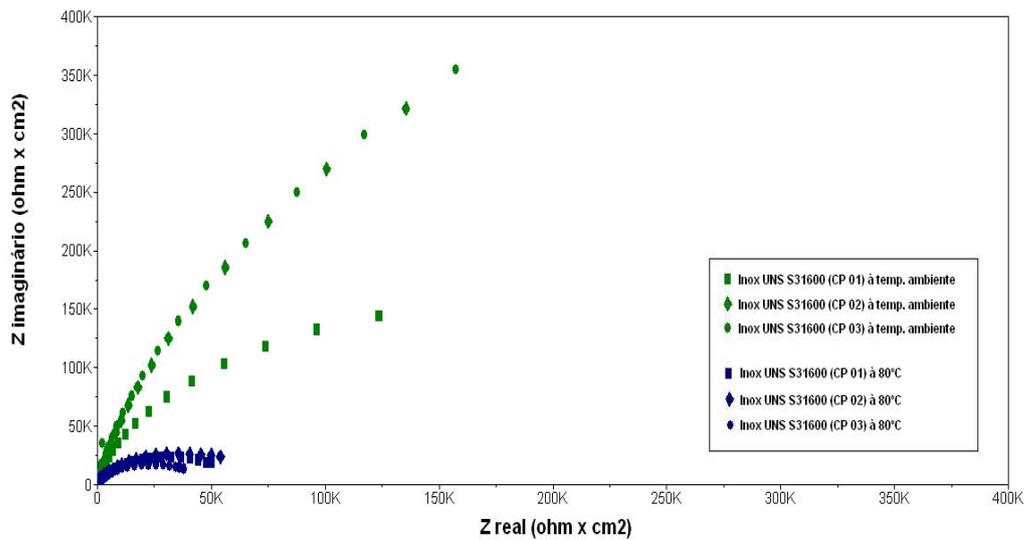


Figura IV.57: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

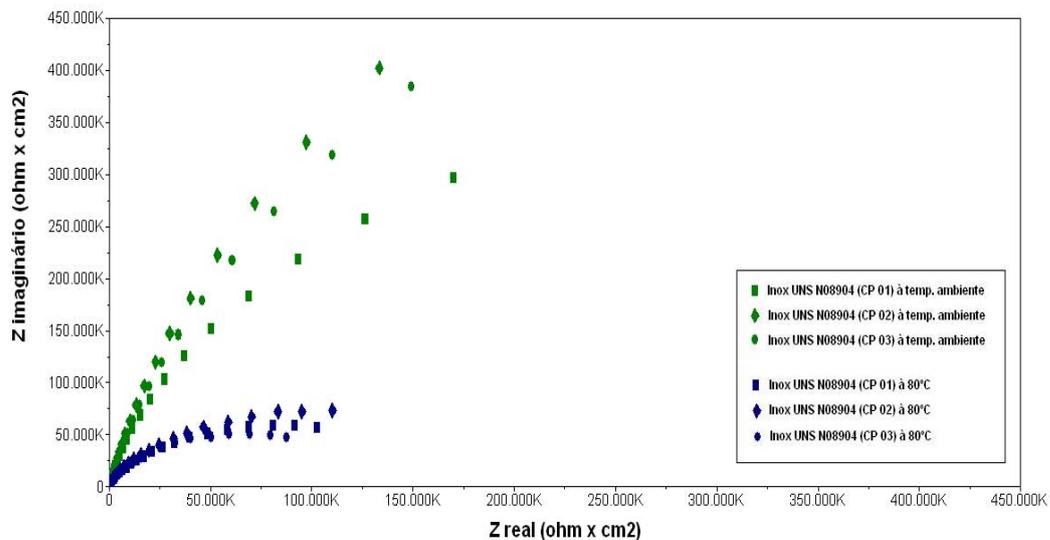


Figura IV.58: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

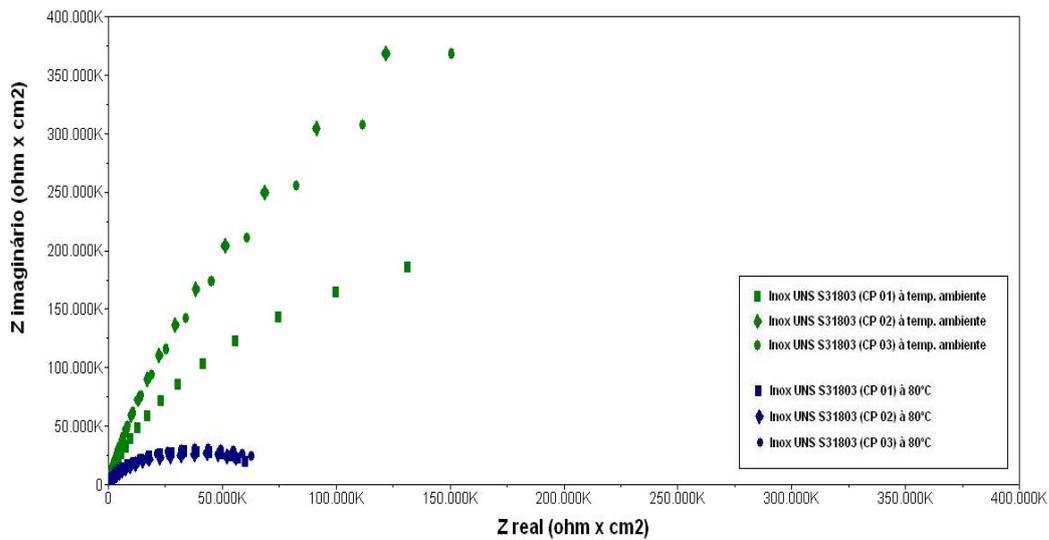


Figura IV.59: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

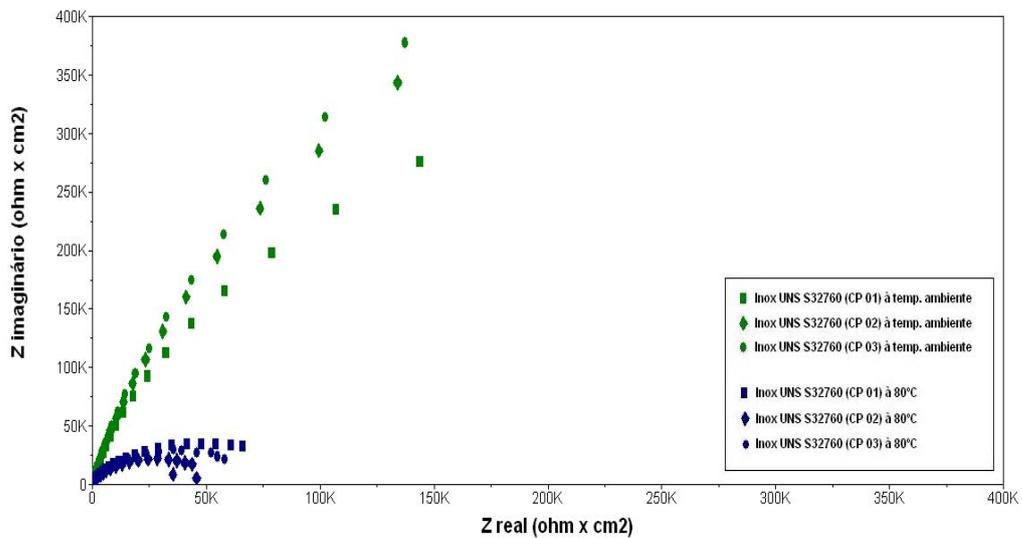


Figura IV.60: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.2.8 Solução de água do mar sintética com 150000 ppm de cloretos nas temperaturas ambiente e de 80 °C e presença de CO₂

Foram realizados ensaios de impedância eletroquímica nos diversos materiais de estudo em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de cloretos, com o pH ajustado para 8,2, nas temperaturas de 25 °C e 80 °C. Borbulhou-se CO₂ na solução por cerca de 40 minutos, até estabilização do pH da mesma.

As figuras IV.61, IV.62, IV.63 e IV.64 apresentam os diagramas de Nyquist dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760, respectivamente, em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloretos e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

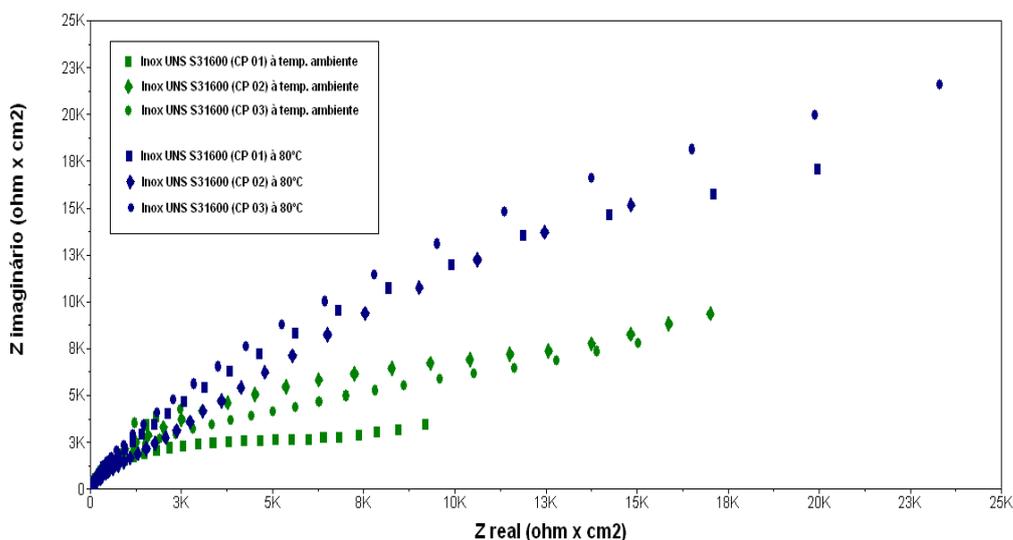


Figura IV.61: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

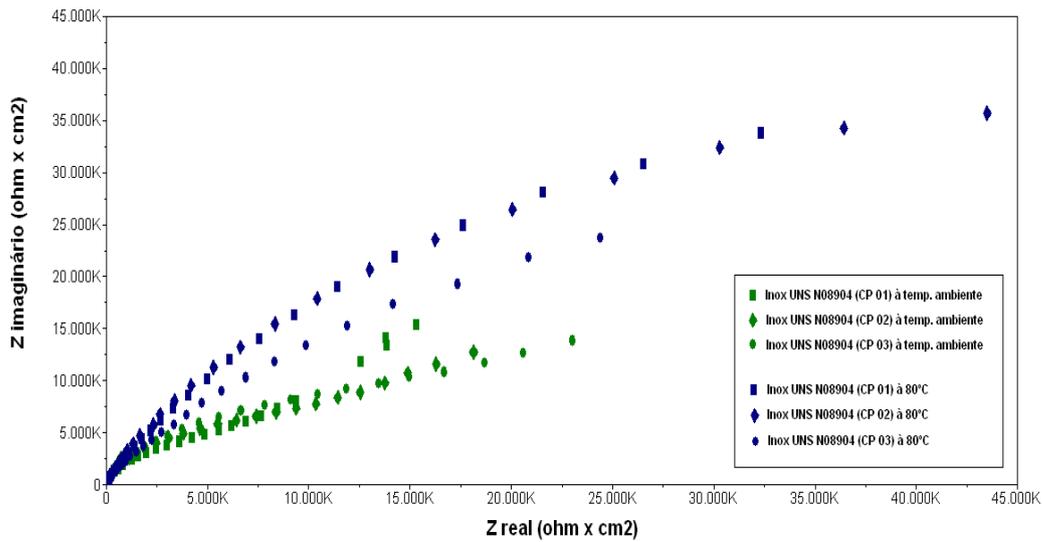


Figura IV.62: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

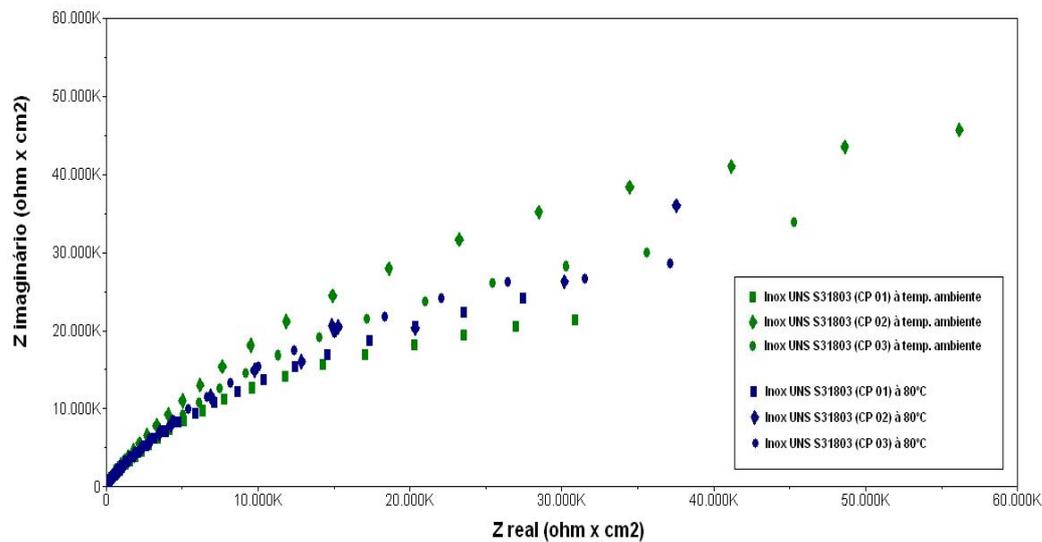


Figura IV.63: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

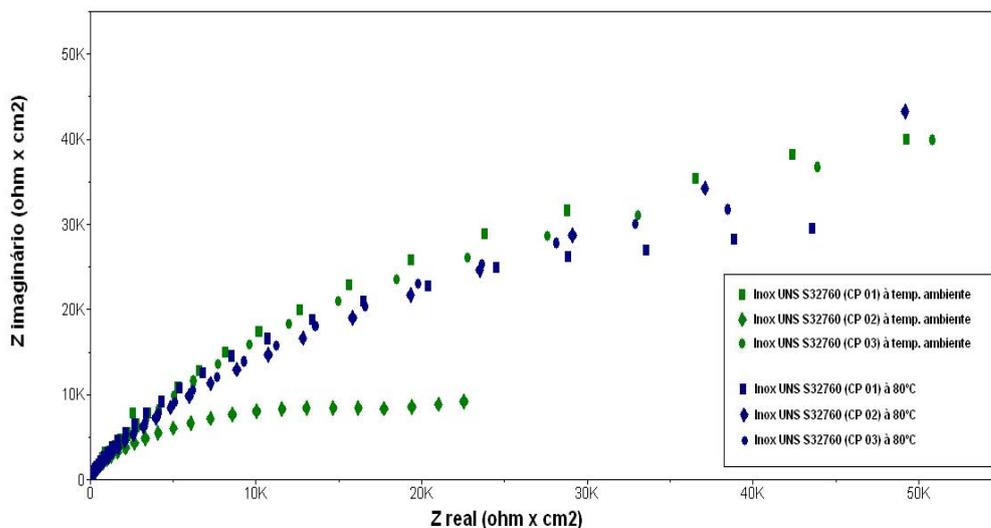


Figura IV.64: Diagramas de Nyquist do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

IV.3 OBSERVAÇÕES EM MICROSCÓPIO

Após a realização dos ensaios de polarização anódica, os corpos-de-prova foram observados em microscópio para a confirmação da formação de pites nos aços inoxidáveis austeníticos UNS S31600 e UNS N08904 (superaustenítico) e nos aços austeno-ferríticos UNS S31803 (duplex) e UNS S32760 (superduplex) nos meios de análise, utilizando-se a aparelhagem descrita no item III.3.

As fotos dos corpos-de-prova antes da realização dos ensaios de polarização anódica e a aparência dos mesmos após a realização dos ensaios na condição mais crítica de análise, solução de água do mar sintética com 150000 ppm de cloretos na temperatura de 80°C e presença de CO₂, são apresentadas no apêndice deste trabalho.

V – DISCUSSÃO

O objetivo principal deste estudo é a determinação da resistência à corrosão por pites dos aços inoxidáveis austeníticos UNS S31600 e UNS N08904 (superaustenítico) e dos aços austeno-ferríticos UNS S31803 (duplex) e UNS S32760 (superduplex) em condições similares às existentes na exploração *offshore* de petróleo na área conhecida como pré-sal, onde a busca por petróleo alcança profundidades de lâminas d'água acima de 2000 metros.

Tais ambientes de exploração de petróleo apresentam elevada agressividade para os diversos equipamentos e materiais empregados na indústria de petróleo e gás, podendo ocorrer vários processos corrosivos com a conseqüente degradação dos mesmos.

Dentre as principais condições a que estes materiais estão expostos pode-se destacar (BARBOSA, 2008):

- a) elevadas concentrações de íons cloreto, onde muitas vezes são maiores que 100.000 ppm e podendo chegar a 200.000 ppm;
- b) altas temperaturas;
- c) presença de significativa de CO₂ e H₂S;
- d) elevadas pressões, que podem chegar a 20.000 psi.

Ao longo dos últimos anos, os aços inoxidáveis têm sido amplamente utilizados pela indústria de petróleo e gás, devido às suas propriedades que aliam boa resistência mecânica com alta resistência à corrosão. Entretanto, em determinadas condições de alta agressividade os aços inoxidáveis podem sofrer severos processos corrosivos, dentre os mais comuns, a corrosão por pites e a corrosão sob tensão.

Destaca-se que na revisão bibliográfica apresentada no item II foram mostrados poucos exemplos de estudos existentes sobre a resistência à corrosão por pites de aços inoxidáveis em condições com elevadas concentrações de íons cloreto, alta temperatura ou mesmo presença de CO₂. Neste sentido, justifica-se a pesquisa destes materiais nas condições propostas, já que os efeitos concomitantes da concentração de íons cloreto, temperatura e presença de gás carbônico são pouco conhecidos na literatura.

Neste capítulo são apresentadas as discussões em relação aos resultados obtidos no capítulo IV, buscando-se identificar a variável de maior impacto na resistência à corrosão e passivação dos diversos aços inoxidáveis analisados, além do material com melhor desempenho nas condições testadas. Foram determinados os potenciais de corrosão ($E_{\text{corrosão}}$), densidade de corrente de passivação média ($i_{\text{passiv média}}$), potencial de pite (E_{pite}), quando existentes, e faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) dos materiais nas condições de estudo.

Considerou-se como potencial de pite dos materiais o potencial em que a densidade de corrente na liga alcançou o valor de $1,0 \times 10^{-4} \text{ A/cm}^2$ nas condições de ensaio. Já a faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) dos aços foi calculada pela diferença entre o potencial de pite (E_{pite}) e o potencial de corrosão ($E_{\text{corrosão}}$) dos materiais obtidos nos ensaios.

Foram determinados também os potenciais de corrosão, além dos valores de R_p (Resistência de Polarização) obtidos nos ensaios de impedância eletroquímica dos materiais nas condições de estudo apresentados no item IV.2.

Em todas as discussões realizadas nos itens V.1 e V.2 foram utilizados os menores valores de potencial de pite (E_{pite}), faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) e resistência de polarização (R_p) obtidos pelos materiais nas condições de análise. Com isso, procurou-se realizar uma análise mais rigorosa da resistência à corrosão por pite das ligas.

As discussões são mostradas a seguir, de acordo com os vários materiais avaliados no estudo.

V.1 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DO ELETRÓLITO NA CORROSÃO POR PITE DE AÇOS INOXIDÁVEIS

V.1.1 Aço inoxidável UNS S31600

As tabelas V.1, V.2, V.3 e V.4 apresentam os valores de potencial de corrosão, densidade de corrente de passivação, potencial de pite e cálculo de $\Delta E_{\text{passivação}}$ obtidos das curvas de polarização do aço inoxidável UNS S31600, mostradas no item IV.1, nas soluções e demais condições de análise definidas no item III.3

Tabela V.1: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,219	0,379	6,9 x 10 ⁻⁷	0,598
	CP 02	- 0,221	0,395	7,0 x 10 ⁻⁷	0,616
	CP 03	- 0,205	0,398	5,6 x 10 ⁻⁷	0,603
	Média	- 0,215	0,391	6,5 x 10⁻⁷	0,606
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,276	0,061	7,1 x 10 ⁻⁷	0,337
	CP 02	- 0,284	0,119	1,2 x 10 ⁻⁶	0,403
	CP 03	- 0,268	0,047	6,5 x 10 ⁻⁷	0,315
	Média	- 0,276	0,076	8,5 X 10⁻⁷	0,352

Tabela V.2: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,214	0,328	6,5 x 10 ⁻⁷	0.542
	CP 02	- 0,235	0,393	5,1 x 10 ⁻⁷	0.628
	CP 03	- 0,231	0,344	6,2 x 10 ⁻⁷	0.575
	Média	- 0,227	0,355	5,9 x 10⁻⁷	0.582
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,248	0,030	5,3 x 10 ⁻⁷	0.278
	CP 02	- 0,228	0,063	8,5 x 10 ⁻⁷	0.291
	CP 03	- 0,263	0,052	6,3 x 10 ⁻⁷	0.315
	Média	- 0,246	0,048	6,7 x 10⁻⁷	0.295

Tabela V.3: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,236	0,242	5,4 x 10 ⁻⁷	0,478
	CP 02	- 0,257	0,285	6,3 x 10 ⁻⁷	0,542
	CP 03	- 0,245	0,258	6,2 x 10 ⁻⁷	0,503
	Média	- 0,246	0,262	6,0 x 10⁻⁷	0,508
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,210	- 0,034	3,4 x 10 ⁻⁷	0,176
	CP 02	- 0,212	- 0,019	3,8 x 10 ⁻⁷	0,193
	CP 03	- 0,222	0,061	5,5 x 10 ⁻⁷	0,283
	Média	- 0,215	0,003	4,2 x 10⁻⁷	0,217

Tabela V.4: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,120	0,314	4,4 x 10 ⁻⁷	0,434
	CP 02	- 0,201	0,261	2,5 x 10 ⁻⁷	0,462
	CP 03	- 0,202	0,246	2,9 x 10 ⁻⁷	0,448
	Média	- 0,174	0,274	3,3 x 10⁻⁷	0,448
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,252	0,004	1,4 x 10 ⁻⁷	0,256
	CP 02	- 0,229	- 0,036	1,3 x 10 ⁻⁷	0,193
	CP 03	- 0,242	- 0,022	1,2 x 10 ⁻⁷	0,220
	Média	- 0,241	- 0,018	1,3 x 10⁻⁷	0,223

Já as tabelas V.5, V.6, V.7 e V.8 apresentam os valores de potencial de corrosão, densidade de corrente de passivação, potencial de pite e cálculo de $\Delta E_{\text{passivação}}$ obtidos das curvas de polarização do aço inoxidável UNS S31600, mostradas no item IV.1, nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto na presença de gás carbônico e temperaturas ambiente e de 80 °C.

Tabela V.5: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,498	0,304	$8,0 \times 10^{-7}$	0,802
	CP 02	- 0,462	0,149	$8,8 \times 10^{-7}$	0,611
	CP 03	- 0,483	0,226	$3,9 \times 10^{-7}$	0,709
	Média	- 0,481	0,226	$6,9 \times 10^{-7}$	0,707
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,250	- 0,045	$8,6 \times 10^{-7}$	0,205
	CP 02	- 0,361	0,019	$6,4 \times 10^{-7}$	0,380
	CP 03	- 0,469	- 0,015	$7,1 \times 10^{-6}$	0,454
	Média	-0,360	-0,014	$2,9 \times 10^{-6}$	0,346

Tabela V.6: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,496	0,059	$9,0 \times 10^{-7}$	0,555
	CP 02	- 0,476	0,060	$1,9 \times 10^{-6}$	0,536
	CP 03	- 0,484	0,079	$1,4 \times 10^{-6}$	0,563
	Média	- 0,485	0,066	$1,4 \times 10^{-6}$	0,551
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,323	- 0,052	$4,2 \times 10^{-7}$	0,271
	CP 02	- 0,336	- 0,062	$3,0 \times 10^{-7}$	0,274
	CP 03	- 0,254	- 0,046	$2,2 \times 10^{-7}$	0,208
	Média	- 0,304	- 0,053	$3,1 \times 10^{-7}$	0,251

Tabela V.7: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,504	0,003	$1,4 \times 10^{-6}$	0,507
	CP 02	- 0,505	0,045	$1,3 \times 10^{-6}$	0,550
	CP 03	- 0,470	0,057	$1,0 \times 10^{-6}$	0,527
	Média	- 0,493	0,035	$1,2 \times 10^{-6}$	0,528
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,446	- 0,160	$3,8 \times 10^{-7}$	0,286
	CP 02	- 0,380	- 0,120	$5,0 \times 10^{-7}$	0,260
	CP 03	- 0,393	- 0,127	$4,1 \times 10^{-7}$	0,266
	Média	- 0,406	- 0,136	$4,3 \times 10^{-7}$	0,271

Tabela V.8: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,478	- 0,048	$1,7 \times 10^{-6}$	0,430
	CP 02	- 0,465	- 0,045	$1,3 \times 10^{-6}$	0,420
	CP 03	- 0,437	- 0,030	$1,2 \times 10^{-6}$	0,407
	Média	- 0,460	- 0,041	$1,4 \times 10^{-6}$	0,419
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,358	- 0,131	$3,6 \times 10^{-7}$	0,227
	CP 02	- 0,444	- 0,182	$3,5 \times 10^{-7}$	0,262
	CP 03	- 0,309	- 0,126	$5,6 \times 10^{-7}$	0,183
	Média	- 0,370	- 0,146	$4,2 \times 10^{-7}$	0,224

Os resultados obtidos nos ensaios de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31600 nas diversas soluções e condições de pesquisa apresentadas nas tabelas V.1 a V.8 foram sumarizados nas figuras V.1 e V.2. A figura V.1 mostra os resultados em função dos menores potenciais de pite (E_{pite}) obtidos pelo material e a figura V.2 apresenta os menores valores de faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) da liga nas

condições de análise, na qual se buscou variar a concentração do íon cloreto das soluções, temperatura de ensaio e presença de gás carbônico no meio.

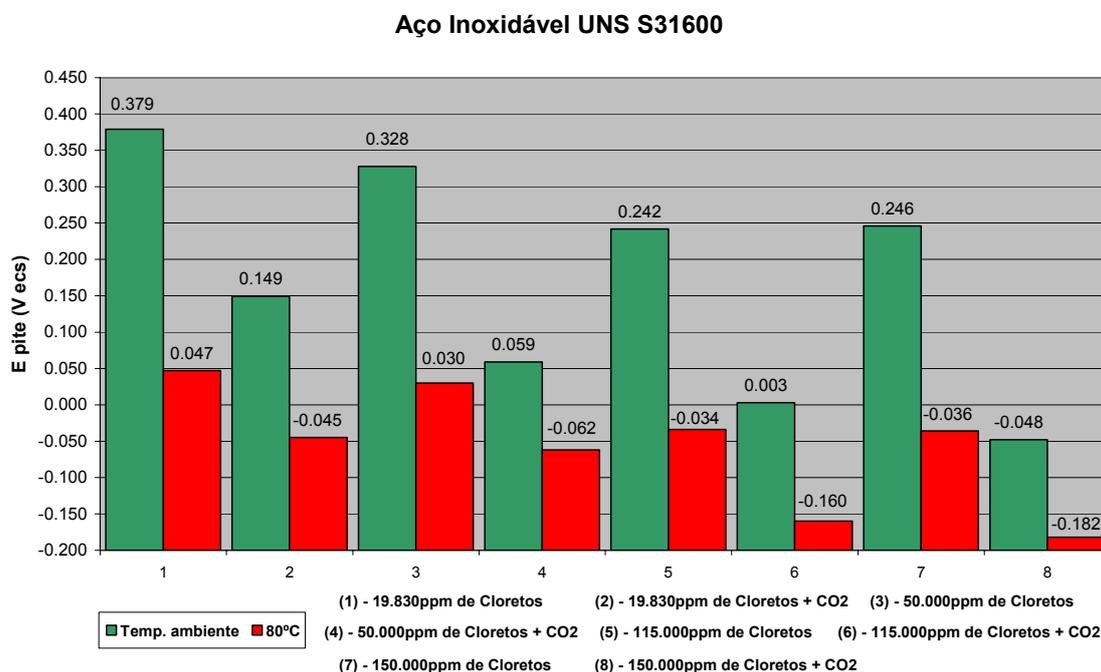


Figura V.1: Gráfico em colunas dos menores valores de potencial de pite (E_{pite}) do aço inoxidável UNS S31600 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Pela análise da figura V.1 pode-se observar que o potencial de pite (E_{pite}) do aço inoxidável UNS S31600 é fortemente influenciado pelo aumento de temperatura em todas as soluções utilizadas na pesquisa tanto na presença quanto na ausência de CO_2 nas soluções. Nas condições 1 (19830 ppm de cloretos) e 2 (19830 ppm de cloretos + CO_2) as reduções dos potenciais de pite do aço foram de 332 V_{ecs} e 194 V_{ecs} , onde foram observadas as maiores reduções nos valores deste parâmetro na ausência e na presença do gás carbônico no meio, respectivamente. TELLES (2003) também destaca que aços inoxidáveis convencionais do tipo AISI 316 e AISI 316L apenas devem ser utilizados em água do mar muito aerada e com temperaturas inferiores a 50 °C, de forma a manter a passividade das ligas, e que em condições mais severas estes aços não devem ser empregados.

Os resultados obtidos para o aço inoxidável UNS S31600 em água do mar sintética com 19830 ppm de cloretos e temperatura de 25 °C são semelhantes aos observados

por FINZETTO, SENATORE e PEREA (2006) em estudo realizado utilizando uma solução neutra de 3% de NaCl, pH 7,0 e temperatura de 25 °C, onde o aço inoxidável 316L apresentou corrosão por pites nas condições de análise com um potencial de pite igual a 360 mV.

Observa-se também que, na temperatura ambiente e ausência de CO₂, o aumento da concentração de íons cloreto provoca uma redução no potencial de pite da liga até a concentração de 115000 ppm de cloretos, diminuindo de 0,379 V_{ecs} (19830 ppm de cloretos) para 0,242 V_{ecs} (115000 ppm de cloretos). A partir daí, o aumento da concentração do íon não afeta a resistência à corrosão por pites do aço analisado. O mesmo é observado nas soluções com ausência de gás carbônico e temperatura de 80 °C. TELLES (2003) também afirma que nos meios com a presença de cloreto, a suscetibilidade à corrosão por pites dos aços inoxidáveis austeníticos aumenta em função da elevação da temperatura e concentração do íon cloreto.

Verifica-se também que a presença de gás carbônico no meio influencia negativamente no potencial de pite da liga, já que os valores de potencial de pite foram reduzidos em 294 V_{ecs} e 146 V_{ecs} nas soluções com 150000 ppm de cloretos e temperaturas de 25 °C e 80 °C, respectivamente, com a presença de CO₂ no meio. O mesmo efeito foi observado nas demais soluções de ensaio tanto na temperatura ambiente quanto à 80 °C.

Aço Inoxidável UNS S31600

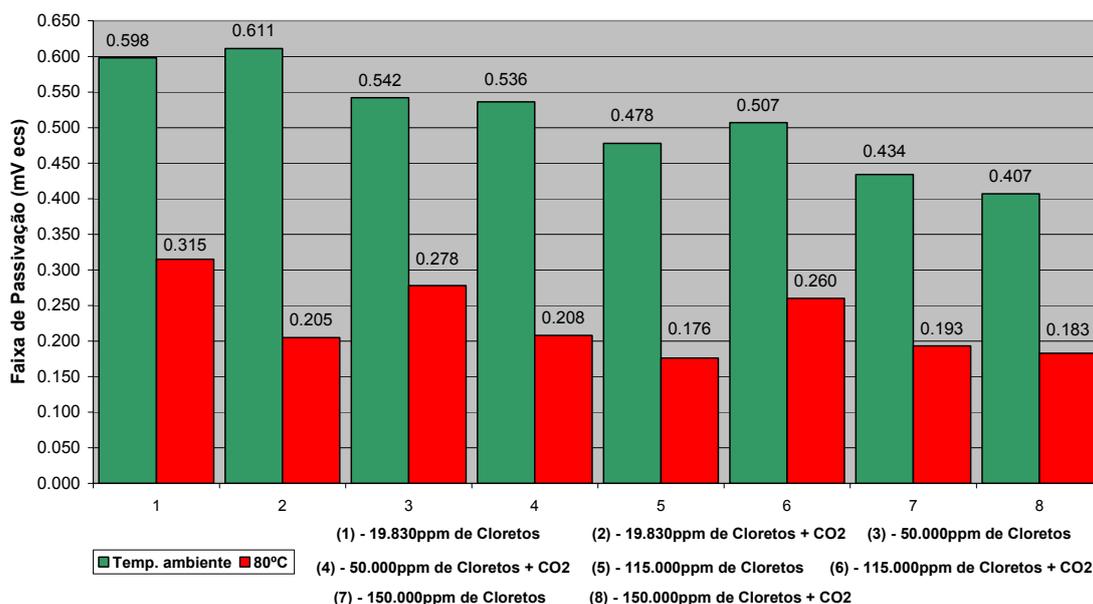


Figura V.2: Gráfico em colunas dos menores valores de faixa de passivação

($\Delta E_{\text{passivação}}$) do aço inoxidável UNS S31600 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Em relação à faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) apresentada pelo aço inoxidável UNS S31600 nas condições de análise verifica-se na figura V.2 que o parâmetro é extremamente influenciado pelo aumento de temperatura em todas as soluções utilizadas na pesquisa tanto na presença quanto na ausência de CO₂. Na solução com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO₂, observa-se a maior redução de faixa de passivação do aço variando de 0,611 V_{ecs} para 0,205 V_{ecs} em função do aumento de temperatura de ensaio.

Observa-se também que, na temperatura ambiente e ausência de gás carbônico (soluções 1, 3, 5 e 7), o aumento da concentração de íons cloreto provoca uma redução gradual na faixa de passivação da liga de 0,598 V_{ecs} até 0,434 V_{ecs}. O mesmo é observado nas soluções com a presença de CO₂ e temperatura de 25 °C, onde a redução chega a ser mais acentuada, de 0,611 V_{ecs} até 0,407 V_{ecs}. Já na temperatura de 80 °C o efeito do aumento de íons cloreto nas soluções sem a presença de gás carbônico diminui a faixa de passivação da liga até a concentração de 115000 ppm de cloretos. A partir daí, o aumento da concentração do íon não afeta a resistência à corrosão por pite do aço analisado. O mesmo não é observado nas soluções com a

presença de gás carbônico e temperatura de 80 °C, onde este aumento não afeta significativamente na passivação do material.

Em relação à influência de gás carbônico no meio, nota-se que a presença do gás influencia negativamente na faixa de passivação do aço apenas nas soluções com 19830 ppm (0,315 V_{ecs} para 0,205 V_{ecs}) e 50000 ppm (0,278 V_{ecs} até 0,208 V_{ecs}) de íons cloreto na temperatura de 80 °C, além da solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e temperatura ambiente.

Avaliando os efeitos do aumento da temperatura, presença de CO_2 e elevação da concentração de íons cloreto do meio, nota-se que o aumento de temperatura de 25 °C para 80 °C é o parâmetro que mais afeta na resistência à corrosão por pite do aço inoxidável UNS S31600, já que promoveu a maior redução na faixa de passivação da liga, da ordem de 0,406 V_{ecs} na condição definida pela numeração 2 do gráfico V.2. Conclui-se com base nas observações anteriores que o aumento da concentração de íons cloreto e presença de CO_2 no meio também diminui a faixa de passivação do material, porém em uma proporção muito menor que o aumento da temperatura de ensaio.

A seguir, as tabelas V.9, V.10, V.11 e V.12 apresentam os valores de potencial de corrosão e resistência de polarização (R_p) obtidos das curvas de impedância eletroquímica do inoxidável UNS S31600, mostradas no item IV.2, nas condições de análise definidas no item III.3.

Tabela V.9: Valores de potencial de corrosão e R_p do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	$E_{corrosão} (V_{ecs})$	$R_p (ohm \cdot cm^2)$
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,222	$3,2 \times 10^{+5}$
	CP 02	- 0,225	$2,7 \times 10^{+5}$
	CP 03	- 0,211	$3,4 \times 10^{+5}$
	Média	- 0,219	$3,1 \times 10^{+5}$
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,271	$9,1 \times 10^{+4}$
	CP 02	- 0,288	$6,0 \times 10^{+4}$
	CP 03	- 0,271	$8,3 \times 10^{+4}$
	Média	- 0,277	$7,8 \times 10^{+4}$

Tabela V.10: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E_{corrosão} (V_{ecs})	Rp (ohm • cm²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,217	3,6 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,240	4,4 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,233	3,1 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,230	3,7 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,259	7,9 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,243	6,9 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,273	7,4 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,258	7,4 x 10⁺⁴

Tabela V.11: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E_{corrosão} (V_{ecs})	Rp (ohm • cm²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,238	4,5 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,257	3,4 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,247	4,2 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,247	4,0 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,218	7,7 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,223	9,1 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,232	8,5 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,224	8,4 x 10⁺⁴

Tabela V.12: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E_{corrosão} (V_{ecs})	Rp (ohm • cm²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,122	3,7 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,197	1,5 x 10 ⁺⁶
	CP 03	- 0,197	1,6 x 10 ⁺⁶
	Média	- 0,172	1,2 x 10⁺⁶
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,253	6,6 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,228	7,7 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,237	4,9 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,239	6,4 x 10⁺⁴

Já as tabelas V.13, V.14, V.15 e V.16 apresentam os valores de potencial de corrosão e resistência de polarização (Rp) obtidos das curvas de impedância eletroquímica do aço inoxidável UNS S31600, mostradas no item IV.2, nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto na presença de gás carbônico e temperaturas ambiente e de 80°C.

Tabela V.13: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E_{corrosão} (V_{ecs})	Rp (ohm • cm²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,495	2,7 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,468	1,5 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,489	1,6 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,484	1,9 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,297	3,7 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,369	7,7 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,471	1,5 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,379	8,8 x 10⁺⁴

Tabela V.14: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,501	1,1 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,470	2,4 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,484	2,5 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,485	5,3 x 10⁺⁴
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,358	5,0 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,401	5,2 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,303	3,6 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,354	4,6 x 10⁺⁴

Tabela V.15: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,514	4,6 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,517	1,8 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,483	9,1 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,505	5,2 x 10⁺⁴
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,495	4,3 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,440	4,9 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,446	4,6 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,460	4,6 x 10⁺⁴

Tabela V.16: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31600	E_{corrosão} (V_{ecs})	Rp (ohm • cm²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,501	7,7 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,478	2,3 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,462	8,5 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,480	1,3 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,388	6,0 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,460	8,2 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,339	7,5 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,396	7,2 x 10⁺⁴

Os resultados obtidos nos ensaios de impedância eletroquímica do aço inoxidável UNS S31600 nas diversas soluções e condições de pesquisa apresentados nas tabelas V.9 a V.16 foram sumarizados na figura V.3. A figura V.3 mostra os resultados em função dos menores valores de resistência de polarização (Rp) obtidos pelo material nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente (25 °C) e de 80 °C.

Aço Inoxidável UNS S31600

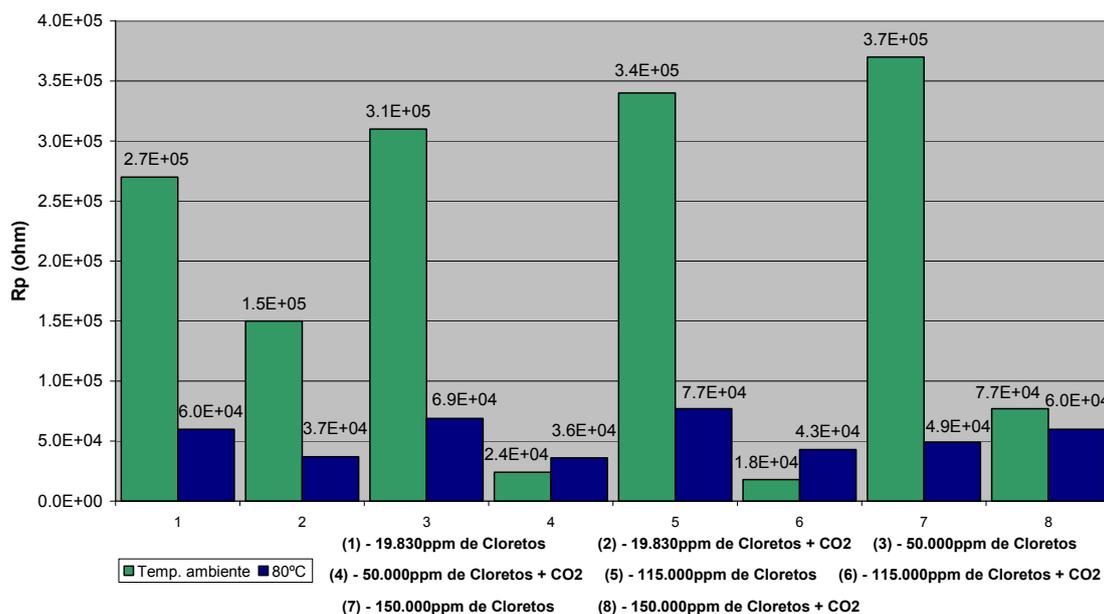


Figura V.3: Gráfico em colunas dos menores valores de resistência de polarização (Rp) do aço inoxidável UNS S31600 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Analisando a figura V.3 pode-se observar que a resistência de polarização (Rp) do aço inoxidável UNS S31600 é reduzida significativamente pelo aumento de temperatura em todas as soluções sem a presença de CO₂. Como exemplo, pode-se citar a redução do valor de Rp do aço na solução de 150000 ppm de cloretos sem a presença de CO₂, de $3,7 \times 10^5$ ohm • cm² para $4,9 \times 10^4$ ohm • cm². Estes resultados corroboram os resultados obtidos nos ensaios de polarização anódica do material, nos quais foi observada redução da faixa de passivação do material nas mesmas condições de análise.

Já nas soluções nas quais foi borbulhado gás carbônico, o aumento de temperatura reduz os valores de Rp nas soluções com 19830 ppm e 150000 ppm de íons cloreto, porém em determinadas condições como, por exemplo, em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂, o aumento de temperatura de 25 °C para 80 °C acarretou um aumento nos valores de Rp de $1,8 \times 10^4$ ohm • cm² para $4,3 \times 10^4$ ohm • cm².

Os diagramas de Nyquist obtidos à 80 °C possuem características semelhantes às curvas obtidas em estudo realizado por MU e ZHAO (2010), onde os autores observaram que os diagramas de Nyquist de um aço inoxidável com 13 % de cromo em estrato de água obtido de campos petrolíferos eram compostos de dois semicírculos.

Observa-se também que, na temperatura ambiente e ausência de gás carbônico, o aumento da concentração de íons cloreto provoca uma elevação gradual nos valores de R_p da liga de $2,7 \times 10^{+5} \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$ (20.000 ppm de íons cloreto) até $3,7 \times 10^{+5} \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$ (150.000 ppm de íons cloreto). Tais resultados contrariam as conclusões obtidas a partir das curvas de polarização anódica do material nas mesmas condições, onde o aumento de íons cloreto na solução provoca uma diminuição nas faixas de passivação da liga, variando de $0,598 V_{ecs}$ até $0,434 V_{ecs}$.

Verifica-se também que a presença de gás carbônico no meio influencia negativamente na resistência de polarização da liga em todas as soluções de ensaio tanto na temperatura ambiente quanto à 80 °C. Como exemplo, pode-se notar que na solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e temperatura de 25 °C, a presença de CO_2 reduz os valores de R_p de $3,4 \times 10^{+5} \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$ para $1,8 \times 10^{+4} \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$. A mesma redução na resistência à corrosão por pite do aço inoxidável UNS S31600 foi observada nos ensaios de polarização anódica do material.

V.1.2 Aço inoxidável UNS N08904

As tabelas V.17, V.18, V.19 e V.20 apresentam os valores de potencial de corrosão, densidade de corrente de passivação, potencial de pite e cálculo de $\Delta E_{\text{passivação}}$ obtidos das curvas de polarização do aço inoxidável UNS N08904, mostradas no item IV.1, nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto na ausência de gás carbônico e temperaturas ambiente e de 80 °C.

Tabela V.17: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,194	-	1,4 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 02	- 0,177	-	1,6 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,192	-	1,4 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,188	-	1,5 x 10⁻⁶	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,200	0,342	1,6 x 10 ⁻⁶	0,542
	CP 02	- 0,132	0,286	1,4 x 10 ⁻⁶	0,418
	CP 03	- 0,105	0,256	6,6 x 10 ⁻⁷	0,361
	Média	- 0,146	0,295	1,2 x 10⁻⁶	0,440

Tabela V.18: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,233	-	8,8 x 10 ⁻⁷	> 1,000
	CP 02	- 0,200	-	1,9 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,190	-	1,3 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,208	-	1,4 X 10⁻⁶	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,193	0,295	1,5 x 10 ⁻⁶	0.488
	CP 02	- 0,194	0,187	9,6 x 10 ⁻⁷	0.381
	CP 03	- 0,170	0,311	2,7 x 10 ⁻⁶	0.481
	Média	- 0,186	0,264	1,7 X 10⁻⁶	0.450

Tabela V.19: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,223	-	$1,3 \times 10^{-6}$	> 1,000
	CP 02	- 0,229	-	$1,3 \times 10^{-6}$	> 1,000
	CP 03	- 0,207	-	$1,3 \times 10^{-6}$	> 1,000
	Média	- 0,220	-	$1,3 \times 10^{-6}$	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,250	0,121	$7,3 \times 10^{-7}$	0,371
	CP 02	- 0,243	0,110	$3,6 \times 10^{-7}$	0,353
	CP 03	- 0,144	0,110	$5,7 \times 10^{-7}$	0,254
	Média	- 0,212	0,114	$5,5 \times 10^{-7}$	0,326

Tabela V.20: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ e do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,228	-	$1,3 \times 10^{-6}$	> 1,000
	CP 02	- 0,200	-	$1,9 \times 10^{-6}$	> 1,000
	CP 03	- 0,191	-	$1,4 \times 10^{-6}$	> 1,000
	Média	- 0,206	-	$1,5 \times 10^{-6}$	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,187	0,093	$2,3 \times 10^{-5}$	0,280
	CP 02	- 0,239	0,084	$1,3 \times 10^{-7}$	0,323
	CP 03	- 0,232	0,065	$1,9 \times 10^{-7}$	0,297
	Média	- 0,219	0,081	$7,8 \times 10^{-6}$	0,300

Já as tabelas V.21, V.22, V.23 e V.24 apresentam os valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e cálculo de $\Delta E_{\text{passivação}}$ obtidos das curvas de polarização do aço inoxidável UNS N08904, mostradas no item IV.1, nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto na presença de gás carbônico e temperaturas ambiente e de 80 °C.

Tabela V.21: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,306	-	$3,9 \times 10^{-6}$	> 1,000
	CP 02	- 0,428	-	$6,4 \times 10^{-7}$	> 1,000
	CP 03	- 0,261	-	$1,4 \times 10^{-6}$	> 1,000
	Média	- 0,332	-	$2,0 \times 10^{-6}$	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,211	0,341	$1,3 \times 10^{-6}$	0,552
	CP 02	- 0,194	0,349	$1,2 \times 10^{-6}$	0,543
	CP 03	- 0,315	0,230	$3,4 \times 10^{-7}$	0,545
	Média	-0,240	0,307	$9,5 \times 10^{-7}$	0,547

Tabela V.22: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ e do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,371	0,596	$7,5 \times 10^{-7}$	0,967
	CP 02	- 0,353	0,455	$6,5 \times 10^{-6}$	0,808
	CP 03	- 0,371	0,571	$8,8 \times 10^{-7}$	0,942
	Média	- 0,365	0,541	$2,7 \times 10^{-6}$	0,906
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,290	0,160	$2,2 \times 10^{-6}$	0,450
	CP 02	- 0,270	0,089	$2,3 \times 10^{-6}$	0,359
	CP 03	- 0,165	0,179	$3,8 \times 10^{-6}$	0,344
	Média	- 0,242	0,143	$2,8 \times 10^{-6}$	0,384

Tabela V.23: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ e do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,437	0,491	$6,4 \times 10^{-7}$	0.928
	CP 02	- 0,442	0,345	$8,8 \times 10^{-7}$	0.787
	CP 03	- 0,435	0,380	$8,9 \times 10^{-7}$	0.815
	Média	- 0,438	0,405	$8,0 \times 10^{-7}$	0.843
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,302	0,033	$5,9 \times 10^{-7}$	0.335
	CP 02	- 0,369	- 0,016	$7,7 \times 10^{-7}$	0.353
	CP 03	-0,292	0,045	$6,9 \times 10^{-7}$	0.337
	Média	- 0,321	0,021	$6,8 \times 10^{-7}$	0.342

Tabela V.24: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ e do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,416	0,397	$9,8 \times 10^{-7}$	0,813
	CP 02	- 0,450	0,184	$1,5 \times 10^{-6}$	0,634
	CP 03	- 0,414	0,216	$1,1 \times 10^{-6}$	0,630
	Média	- 0,427	0,266	$1,2 \times 10^{-6}$	0,692
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,315	- 0,024	$8,8 \times 10^{-7}$	0,291
	CP 02	- 0,250	- 0,053	$5,8 \times 10^{-7}$	0,197
	CP 03	- 0,316	- 0,009	$1,3 \times 10^{-6}$	0,307
	Média	- 0,294	- 0,029	$9,2 \times 10^{-7}$	0,265

Os resultados obtidos nos ensaios de polarização anódica do aço inoxidável UNS N08904 nas diversas soluções e condições de pesquisa apresentadas nas tabelas V.17 a V.24 foram sumarizados nas figuras V.4 e V.5. A figura V.4 mostra os resultados em função dos menores potenciais de pite (E_{pite}) obtidos pelo material e a figura V.5 apresenta os menores valores de faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) da liga nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e

150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente (25 °C) e 80 °C.

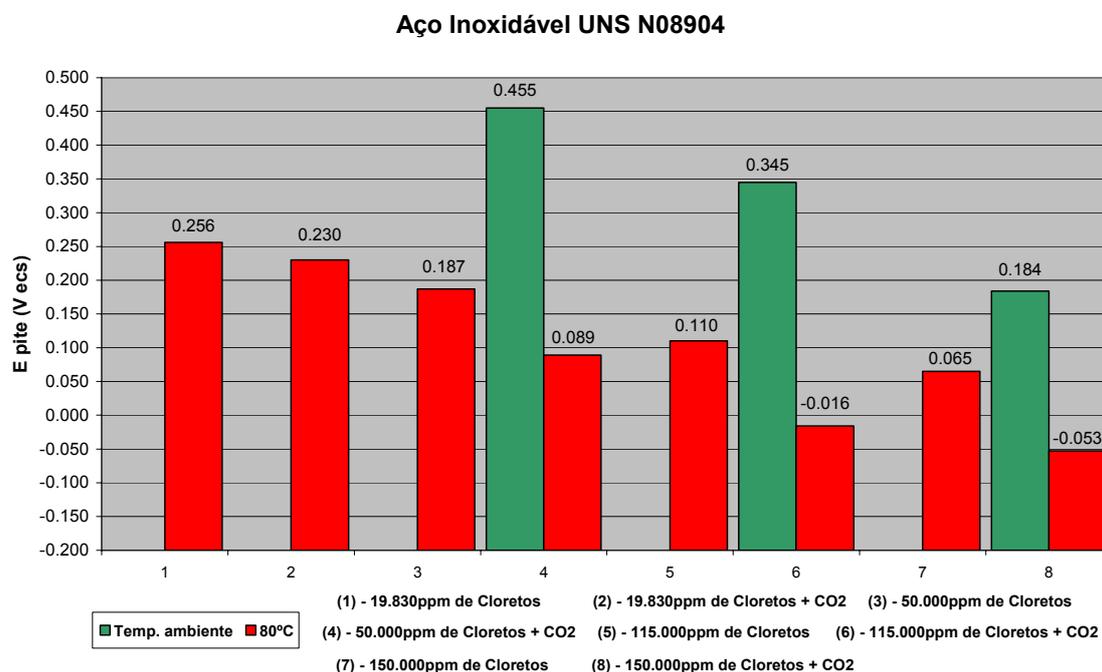


Figura V.4: Gráfico em colunas dos menores valores de potencial de pite (E_{pite}) do aço inoxidável UNS N08904 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Observa-se pela análise da figura V.4 que, na temperatura ambiente, o aço inoxidável UNS N08904 apenas apresenta corrosão por pite nas soluções com 50000, 115000 e 150000ppm de íons cloretos, quando na presença de gás carbônico. Nota-se que o aumento de temperatura influencia significativamente na susceptibilidade à corrosão por pite do aço, já que a liga apresentou a formação de pites em todas as soluções quando a temperatura de análise era de 80°C. O mesmo não é destacado por BASTIDAS *et al.* (1996), que não observou a formação de pites em dois aços inoxidáveis superauteníticos em soluções aquosas mistas com 15000 ppm de cloreto e 15000 ppm de fluoreto, pH 3,0 e temperatura de 60 °C.

Observa-se também que o aumento da concentração de íons cloreto das soluções, tanto na presença quanto na ausência de gás carbônico, provoca uma redução na resistência à corrosão por pite da liga.

Na temperatura de 25 °C, o aço inoxidável UNS N08904 apenas apresenta corrosão por pite quando na presença de CO₂ e nas soluções com concentração de 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm do haleto. Já na temperatura de 80 °C, o material apresentou a formação de pites em todas as soluções estudadas, reduzindo os valores de potencial de pite da liga com o aumento da concentração de íons cloreto. Este fato pode ser notado pela análise da figura V.4 onde se observa que o potencial de pite deste aço inoxidável superaustenítico reduz gradualmente de 0,256 V_{ecs} (solução com 19830 ppm de cloretos) até 0,065 V_{ecs} (150000 ppm de cloretos) nas soluções sem a presença de gás carbônico, conforme a concentração de cloretos da solução aumenta.

Da mesma forma, a presença de gás carbônico no meio influencia consideravelmente na susceptibilidade à corrosão por pite apresentada pela liga em todas as soluções de ensaio tanto na temperatura ambiente quanto à 80 °C. Nota-se que, à temperatura de 25 °C, o aço inoxidável avaliado apenas apresentou corrosão por pites nas soluções com a presença de CO₂ e concentração mínima de cloretos de 50000 ppm, evidenciando o efeito prejudicial da presença do gás no meio. Os valores de potencial de pite obtidos para a liga foram de 0,455 V_{ecs}, 0,345 V_{ecs} e 0,184 V_{ecs} para as soluções com 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de cloretos, respectivamente, temperatura ambiente e presença de CO₂. Tal comportamento é similar ao apresentado por um aço inoxidável supermartensítico em água do mar sintética com e sem a presença de CO₂, temperaturas de 5 °C, 25 °C e 60 °C e concentrações de cloreto de 20000 ppm e 80000 ppm em estudo realizado por ANSELMO *et al.* (2006). No trabalho realizado por ANSELMO *et al.* (2006) a suscetibilidade à corrosão por pite do material é dependente da concentração de cloreto, presença de gás carbônico e da temperatura de análise. Os autores observaram que o aumento de íons cloreto da solução, presença de CO₂ e aumento de temperatura reduz a resistência à corrosão do aço inoxidável supermartensítico.

Aço Inoxidável UNS N08904

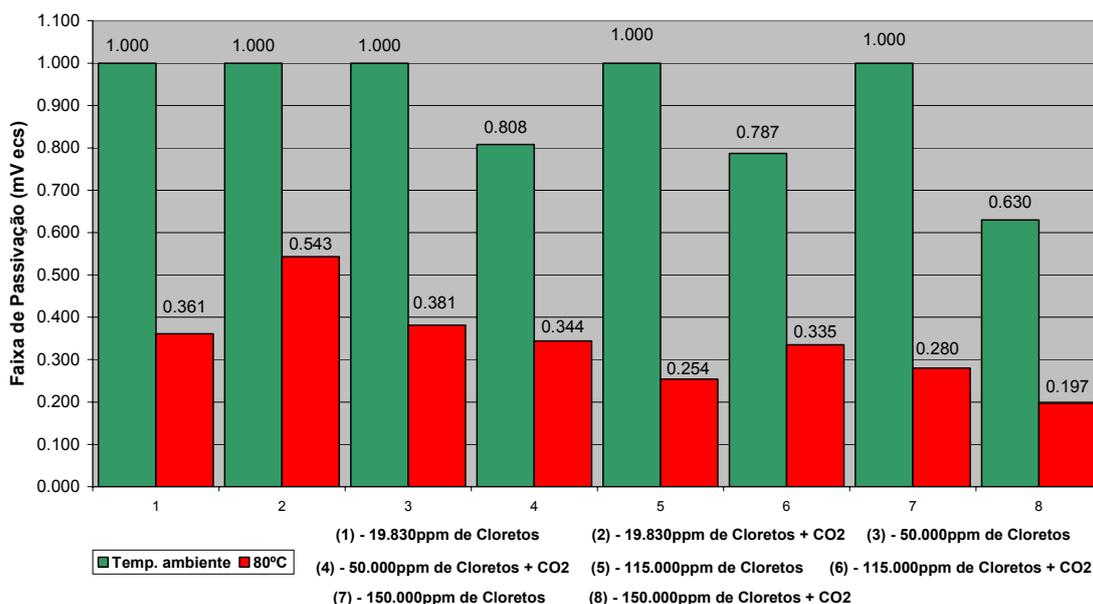


Figura V.5: Gráfico em colunas dos menores valores de faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) do aço inoxidável UNS N08904 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Em relação à faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) apresentada pelo aço inoxidável UNS N08904 verifica-se na figura V.5 que o parâmetro é fortemente influenciado pelo aumento de temperatura em todas as soluções utilizadas na pesquisa, tanto na presença quanto na ausência de CO_2 . O resultado mais significativo ocorre na solução com 115000 ppm de cloretos e sem a presença de gás carbônico, onde o aumento de temperatura de 15 °C para 80 °C provoca uma redução de 0,746 V_{ecs} na faixa de passivação do aço.

Observa-se também que, na temperatura ambiente e ausência de gás carbônico (soluções 1, 3, 5 e 7), o aumento da concentração de íons cloreto não provoca alteração na faixa de passivação da liga. O mesmo não é observado nas soluções com a presença de CO_2 , tanto na temperatura de 25 °C quanto à 80 °C, onde se percebe uma redução da faixa de passivação do aço com a elevação de íons cloreto nas soluções. Considerando os resultados obtidos à temperatura ambiente e presença de gás carbônico, a faixa de passivação deste aço inoxidável superaustenítico diminui gradualmente de 1,000 V_{ecs} na solução com 19830 ppm de cloretos até chegar ao valor de 0,630 V_{ecs} na solução com maior concentração de íons cloreto.

Já na temperatura de 80 °C e com a ausência de gás carbônico, o efeito da concentração de íons cloreto nas soluções diminui significativamente a faixa de passivação da liga apenas no aumento de 50000 ppm para 115000 ppm do íon.

Em relação à influência de CO₂ no meio, observa-se que na temperatura de 25 °C a presença do gás influencia negativamente na faixa de passivação do aço nas soluções com 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto, reduzindo os valores de faixa de passivação de 1,000V_{ecs}, sem a presença de CO₂, para 0,808 V_{ecs}, 0,787 V_{ecs} e 0,630 V_{ecs}, respectivamente, nas soluções com a presença do gás. Na temperatura de 80 °C, este efeito só é percebido nas soluções com 50000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto.

Com base nos resultados apresentados anteriormente, pode-se concluir que o aço inoxidável UNS N08904 possui maior resistência à corrosão por pite se comparado ao aço inoxidável UNS S31600, já que a liga com menor concentração de cromo em sua composição apresentou a formação de pites em todas as soluções testadas, diferentemente do aço inoxidável superaustenítico.

As tabelas V.25, V.26, V.27 e V.28 apresentam os valores de potencial de corrosão e resistência de polarização (Rp) obtidos das curvas de impedância eletroquímica do inoxidável UNS N08904, mostradas no item IV.2, nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto na ausência de gás carbônico e temperaturas ambiente e de 80 °C.

Tabela V.25: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E_{corrosão} (V_{ecs})	Rp (ohm • cm²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,193	1,0 x 10 ⁺⁶
	CP 02	- 0,180	1,3 x 10 ⁺⁶
	CP 03	- 0,192	1,2 x 10 ⁺⁶
	Média	- 0,188	1,2 x 10⁺⁶
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,210	2,0 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,134	3,2 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,080	6,1 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,141	3,8 x 10⁺⁵

Tabela V.26: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,223	6,7 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,200	8,4 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,194	1,4 x 10 ⁺⁶
	Média	- 0,206	9,7 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,210	1,5 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,215	2,1 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,180	9,7 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,202	1,5 x 10⁺⁵

Tabela V.27: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,227	7,3 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,230	9,2 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,201	2,2 x 10 ⁺⁶
	Média	- 0,219	1,3 x 10⁺⁶
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,250	1,1 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,242	1,7 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,145	1,9 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,212	1,6 x 10⁺⁵

Tabela V.28: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,231	9,3 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,202	2,3 x 10 ⁺⁶
	CP 03	- 0,193	1,9 x 10 ⁺⁶
	Média	- 0,209	1,7 x 10⁺⁶
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,188	1,7 X 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,176	2,1 X 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,243	1,3 X 10 ⁺⁵
	Média	- 0,202	1,7 x 10⁺⁵

Já as tabelas V.29, V.30, V.31 e V.32 apresentam os valores de potencial de corrosão e resistência de polarização (Rp) obtidos das curvas de impedância eletroquímica do aço inoxidável UNS N08904, mostradas no item IV.2, nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto na presença de gás carbônico e temperaturas ambiente e de 80 °C.

Tabela V.29: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,316	1,1 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,420	1,3 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,254	7,5 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,330	1,1 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,272	5,8 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,224	9,2 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,302	1,6 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,266	1,0 x 10⁺⁵

Tabela V.30: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,387	6,7 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,353	1,8 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,397	3,0 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,379	1,8 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,337	8,1 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,336	4,8 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,183	6,6 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,285	6,5 x 10⁺⁴

Tabela V.31: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,460	8,3 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,446	5,0 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,439	8,8 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,448	4,7 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,342	1,2 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,449	1,3 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,348	8,9 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,380	1,1 x 10⁺⁵

Tabela V.32: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS N08904 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS N08904	E_{corrosão} (V_{ecs})	Rp (ohm • cm²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,422	8,7 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,461	8,5 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,424	2,7 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,436	4,0 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,336	1,1 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,276	1,0 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,351	1,0 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,321	1,0 x 10⁺⁵

Os resultados obtidos nos ensaios de impedância eletroquímica do aço inoxidável UNS N08904 nas diversas soluções e condições de pesquisa apresentados nas tabelas V.25 a V.32 foram sumarizados na figura V.6. A figura V.6 mostra os resultados em função dos menores valores de resistência de polarização (Rp) obtidos pelo material nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas de 25 °C e de 80 °C.

Aço Inoxidável UNS N08904

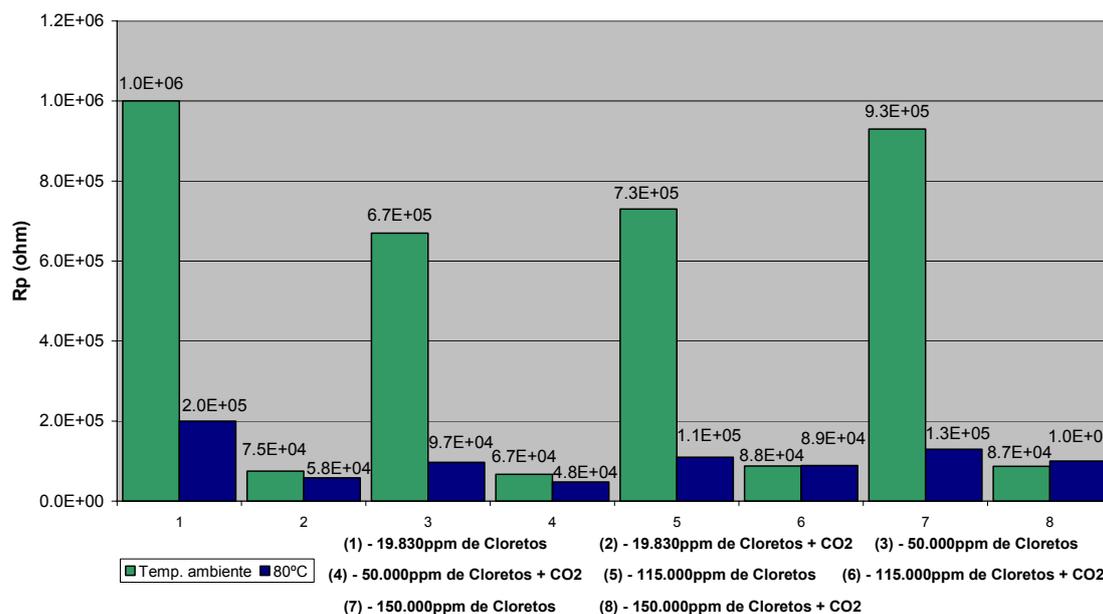


Figura V.6: Gráfico em colunas dos menores valores de resistência de polarização (Rp) do aço inoxidável UNS N08904 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Analisando a figura V.6 pode-se observar que a resistência de polarização (Rp) do aço inoxidável UNS N08904 é reduzida significativamente pelo aumento de temperatura em todas as soluções sem a presença de CO₂. Como exemplo, pode-se citar a redução de Rp de $1,0 \times 10^6$ ohm \cdot cm² para $2,0 \times 10^5$ ohm \cdot cm² na solução com 19830 ppm de íons cloreto, sem a presença de gás carbônico no meio, o que representa uma diminuição considerável da resistência de polarização do material. Estes resultados corroboram os resultados obtidos nos ensaios de polarização anódica deste aço, onde foi observada uma acentuada redução nas faixas de passivação da liga com o aumento da temperatura de ensaio.

Já nas soluções onde foi borbulhado gás carbônico, o aumento de temperatura reduz os valores de Rp nas soluções com 19830 ppm e 50000 ppm de íons cloreto, porém este valor aumenta na solução com 150000 ppm e permanece praticamente inalterada na condição com 115000 ppm do íon.

Observa-se também que, na temperatura ambiente e ausência de gás carbônico, o aumento da concentração de íons cloreto provoca uma redução nos valores de Rp da

liga no aumento de 20000 ppm para 50000 ppm de íons cloreto, porém a partir daí, esta elevação provoca o efeito inverso através do aumento dos valores de impedância. Tal comportamento contraria as conclusões obtidas a partir das curvas de polarização anódica do material nas mesmas condições, onde a redução da resistência à corrosão por pite da liga é observada em toda a faixa de aumento da concentração do íon cloreto, através dos seus resultados de faixa de passivação.

Verifica-se também que a presença de gás carbônico no meio influencia negativamente na resistência de polarização da liga em todas as soluções de ensaio tanto na temperatura ambiente quanto à 80 °C. A mesma redução na resistência à corrosão por pite do aço inoxidável UNS N08904 foi observada nos ensaios de polarização anódica do material.

Comparando os valores de R_p obtidos pelos aços inoxidáveis UNS N08904 e UNS S31600, conclui-se que o aço superaustenítico apresenta maior resistência de polarização em todas as condições testadas, com exceção do ensaio realizado em solução de água do mar sintética com 19830ppm de cloretos, presença de CO_2 e temperatura de 25 °C. Na condição com maior agressividade do meio, solução com 150000 ppm de cloretos, presença de CO_2 e temperatura de 80 °C, o aço inoxidável superaustenítico obteve um valor de R_p igual a $1,0 \times 10^{+5}$ ohm \bullet cm² e o aço inoxidável UNS S31600 o valor de $6,0 \times 10^{+4}$ ohm \bullet cm². Tais comparações serão detalhadamente apresentadas posteriormente no item V.2 deste trabalho. Comportamento semelhante foi observado nos ensaios de polarização anódica, onde o aço inoxidável UNS N08904 demonstrou possuir maiores faixas de passivação se comparado ao aço inoxidável UNS 31600 nas mesmas condições de análise.

V.1.3 Aço inoxidável UNS S31803

Da mesma maneira que nos itens anteriores, os valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e cálculo de $\Delta E_{\text{passivação}}$ obtidos das curvas de polarização do aço inoxidável UNS S31803, mostradas no item IV.1, nas soluções e demais condições definidas no item III.3 são apresentados nas tabelas V.33 a V.40.

Tabela V.33: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,208	-	1,2 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 02	- 0,251	-	1,6 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,209	-	1,5 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,223	-	1,4 x 10⁻⁶	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,243	0,588	2,6 x 10 ⁻⁶	0,831
	CP 02	- 0,118	0,500	2,0 x 10 ⁻⁶	0,618
	CP 03	- 0,109	0,840	4,2 x 10 ⁻⁶	0,949
	Média	- 0,157	0,643	2,9 x 10⁻⁶	0,799

Tabela V.34: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,213	-	1,1 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 02	- 0,237	-	1,7 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,212	-	1,4 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,221	-	1,4 x 10⁻⁶	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,211	0,375	4,4 x 10 ⁻⁶	0.586
	CP 02	- 0,161	0,344	4,5 x 10 ⁻⁶	0.505
	CP 03	- 0,159	0,256	1,4 x 10 ⁻⁶	0.415
	Média	- 0,177	0,325	3,4 x 10⁻⁶	0.502

Tabela V.35: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,233	-	1,3 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 02	- 0,243	-	1,1 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,218	-	1,3 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,231	-	1,2 x 10⁻⁶	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,224	0,191	1,0 x 10 ⁻⁶	0,415
	CP 02	- 0,180	0,259	1,3 x 10 ⁻⁶	0,439
	CP 03	- 0,158	0,184	1,0 x 10 ⁻⁶	0,342
	Média	- 0,187	0,211	1,1 x 10⁻⁶	0,399

Tabela V.36: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,120	-	1,2 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 02	- 0,196	-	1,8 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,197	-	1,7 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,171	-	1,6 x 10⁻⁶	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,245	0,121	1,0 x 10 ⁻⁶	0,366
	CP 02	- 0,240	0,121	8,7 x 10 ⁻⁶	0,361
	CP 03	- 0,242	0,083	3,2 x 10 ⁻⁷	0,325
	Média	- 0,242	0,108	3,3 x 10⁻⁶	0,351

Tabela V.37: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,409	-	$2,1 \times 10^{-6}$	> 1,000
	CP 02	- 0,430	-	$9,3 \times 10^{-7}$	> 1,000
	CP 03	- 0,397	-	$3,3 \times 10^{-7}$	> 1,000
	Média	- 0,412	-	$1,1 \times 10^{-6}$	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,212	0,151	$1,3 \times 10^{-6}$	0,363
	CP 02	- 0,222	0,176	$2,2 \times 10^{-5}$	0,398
	CP 03	- 0,252	0,186	$1,5 \times 10^{-5}$	0,438
	Média	- 0,229	0,171	$1,3 \times 10^{-5}$	0,400

Tabela V.38: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,481	-	$1,7 \times 10^{-6}$	> 1,000
	CP 02	- 0,503	-	$1,4 \times 10^{-6}$	> 1,000
	CP 03	- 0,438	-	$1,4 \times 10^{-6}$	> 1,000
	Média	- 0,474	-	$1,5 \times 10^{-6}$	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,258	0,079	$2,0 \times 10^{-6}$	0,337
	CP 02	- 0,238	0,076	$1,7 \times 10^{-6}$	0,314
	CP 03	- 0,112	0,109	$1,0 \times 10^{-6}$	0,221
	Média	- 0,203	0,088	$1,6 \times 10^{-6}$	0,291

Tabela V.39: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,481	-	$9,1 \times 10^{-7}$	> 1,000
	CP 02	- 0,509	-	$7,8 \times 10^{-7}$	> 1,000
	CP 03	- 0,503	-	$1,0 \times 10^{-6}$	> 1,000
	Média	- 0,498	-	$9,0 \times 10^{-7}$	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,374	- 0,058	$8,6 \times 10^{-7}$	0,316
	CP 02	- 0,361	- 0,004	$1,6 \times 10^{-6}$	0,357
	CP 03	- 0,372	- 0,029	$9,2 \times 10^{-7}$	0,343
	Média	- 0,369	- 0,030	$1,1 \times 10^{-6}$	0,339

Tabela V.40: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,369	-	$1,1 \times 10^{-6}$	> 1,000
	CP 02	- 0,455	-	$1,3 \times 10^{-6}$	> 1,000
	CP 03	- 0,399	-	$1,2 \times 10^{-6}$	> 1,000
	Média	- 0,408	-	$1,2 \times 10^{-6}$	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,276	- 0,060	$8,5 \times 10^{-7}$	0,216
	CP 02	- 0,270	- 0,042	$8,1 \times 10^{-7}$	0,228
	CP 03	- 0,256	- 0,075	$5,1 \times 10^{-7}$	0,181
	Média	- 0,267	- 0,059	$7,2 \times 10^{-7}$	0,208

Os resultados obtidos nos ensaios de polarização anódica do aço inoxidável UNS S31803 nas diversas soluções, temperaturas e condições de pesquisa apresentadas nas tabelas V.33 a V.40 foram sumarizados nas figuras V.7 e V.8. A figura V.7 mostra os resultados em função dos menores potenciais de pite (E_{pite}) obtidos pelo material e a figura V.8 apresenta os menores valores de faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) da liga nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e

150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

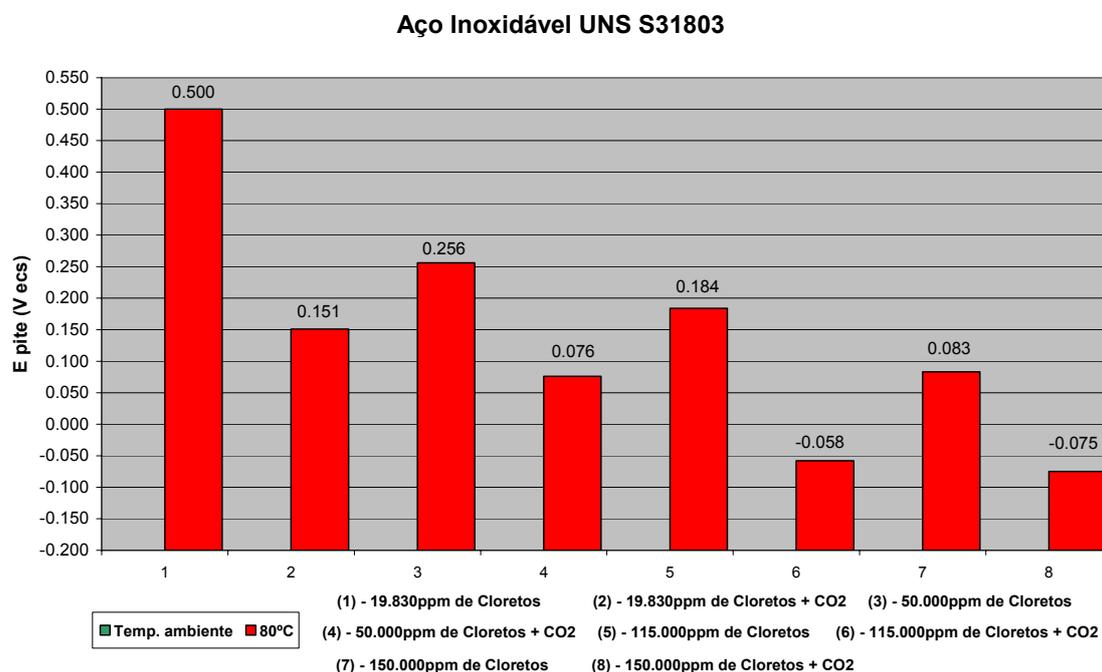


Figura V.7: Gráfico em colunas dos menores valores de potencial de pite (E_{pite}) do aço inoxidável UNS S31803 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Pela análise da figura V.7 pode-se observar que o potencial de pite (E_{pite}) do aço inoxidável UNS S31803 é fortemente influenciado pelo aumento de temperatura em todas as soluções utilizadas na pesquisa tanto na presença quanto na ausência de CO₂ nas soluções. Com a elevação da temperatura de análise para 80 °C, o aço inoxidável duplex começa a apresentar a formação de pites no material, indicando a importância deste parâmetro na resistência à corrosão por pites do aço. O mesmo comportamento foi observado em estudo realizado por NASCIMENTO *et al.* (2008), onde os autores observaram que a elevação da temperatura acima de 45 °C provoca uma acentuada redução no valor de potencial de pite de dois aços inoxidáveis duplex, ASTM A890 graus 1A e 3A, em solução de 3,5 % de NaCl.

Nota-se que nos ensaios realizados à temperatura ambiente não ocorreu a formação de pites na liga. Este resultado já mostra um desempenho melhor do aço inoxidável UNS S31803 se comparado aos demais materiais apresentados até o momento, UNS

S31600 e UNS N08904, já que os mesmos apresentaram corrosão por pite em determinadas soluções específicas com a temperatura de 25 °C.

Observa-se também que, tanto na presença quanto na ausência de gás carbônico e temperatura de 80 °C, o aumento da concentração de íons cloreto provoca uma redução no potencial de pite da liga. Nota-se que os valores de potencial de pite do aço inoxidável UNS S31803, sem a presença de CO₂ no meio e temperatura de 80 °C, diminui de 0,500 V_{ecs} na solução com 19830 ppm de íons cloreto para 0,256 V_{ecs} na solução com 50000 ppm de cloretos. Esta redução no E_{pite} continua com o aumento da concentração de íons cloreto nas soluções, até alcançar o valor de 0,083 V_{ecs} na solução com 150000 ppm de cloretos. O mesmo efeito do aumento da concentração de íons cloreto também foi percebido nas soluções com a presença de CO₂ e temperatura elevada. Tais resultados corroboram o comportamento apresentado por vários aços inoxidáveis como o 316L, 904L (superaustenítico) e 2205 (duplex) em estudo realizado por MALIK *et al.* (1995) em água do mar do Golfo à 50 °C, na qual os materiais apresentaram redução do potencial de pite das ligas com o aumento da concentração de íons cloreto no meio. O estudo realizado por MALIK *et al.* (1995) indica uma relação linear entre o log [Cl⁻] e o potencial de pite dos materiais analisados.

Verifica-se também que a presença de gás carbônico no meio influencia significativamente na susceptibilidade à corrosão por pite da liga em todas as soluções de ensaio e temperatura de 80 °C. A maior redução no potencial de pite provocada pela presença de CO₂ no meio é observada na solução com 19830 ppm de íons cloreto e temperatura de 80 °C com a diminuição do potencial de pite da liga em 0,349 V_{ecs}.

Aço Inoxidável UNS S31803

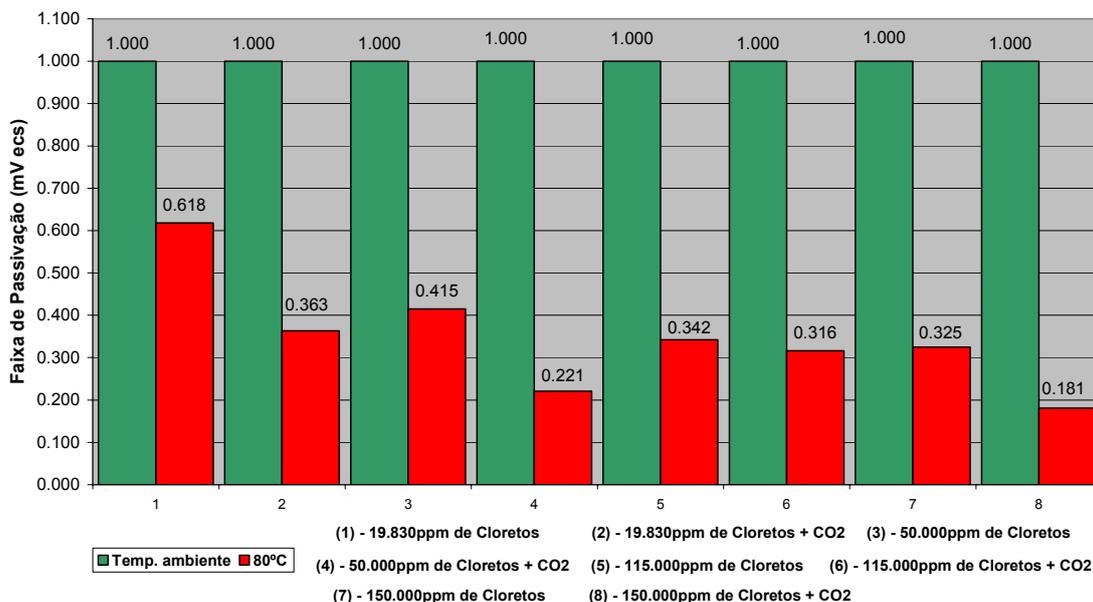


Figura V.8: Gráfico em colunas dos menores valores de faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) do aço inoxidável UNS S31803 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Em relação à faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) apresentada pelo aço inoxidável UNS S31803, verifica-se na figura V.8 que o parâmetro é fortemente influenciado pelo aumento de temperatura em todas as soluções utilizadas na pesquisa, tanto na presença quanto na ausência de CO_2 . Nota-se que o aumento de temperatura do ensaio provocou a maior redução de faixa de passivação do aço na solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de gás carbônico no meio, com a variação do valor de 1,000 V_{ecs} para 0,181 V_{ecs} .

Observa-se também que nos ensaios realizados à 25 °C, tanto na presença quanto na ausência de CO_2 , o aumento da concentração de íons cloreto das soluções não provoca alteração na faixa de passivação da liga, mantendo-se o valor de 1,000 V_{ecs} . Entretanto, na temperatura de 80 °C e com a ausência de gás carbônico, o efeito da concentração de íons cloreto provoca uma redução significativa na faixa de passivação da liga e que pode ser observada pela variação de 0,618 V_{ecs} para 0,415 V_{ecs} com o aumento da concentração de cloretos de 19830 ppm para 50000 ppm.

Em relação à influência de gás carbônico no meio, observa-se que a presença do gás influencia negativamente na faixa de passivação do aço nos ensaios realizados à 80 °C. Como exemplo do efeito deste parâmetro na resistência à corrosão por pite da liga, pode-se citar a diminuição em 0,255 V_{ecs} no valor de $\Delta E_{passivação}$ do aço com a presença de CO_2 na solução com 19830 ppm de cloretos.

Comparando-se os resultados obtidos nos ensaios de polarização anódica dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904 e UNS S31803, o último apresenta possuir menor susceptibilidade à corrosão por pite na maioria das condições testadas, já que apresentou as maiores faixas de passivação. Na condição de maior agressividade do meio, solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto na temperatura de 80 °C e presença de CO_2 , os aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904 e UNS S31803 apresentaram faixas de passivação muito próximas, 0,183 V_{ecs} , 0,197 V_{ecs} e 0,181 V_{ecs} , respectivamente, com o aço inoxidável superaustenítico demonstrando possuir o pior desempenho dentre as ligas citadas.

As tabelas V.41, V.42, V.43 e V.44 apresentam os valores de potencial de corrosão e resistência de polarização (R_p) obtidos das curvas de impedância eletroquímica do inoxidável UNS S31803, mostradas no item IV.2, nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto na ausência de gás carbônico e temperaturas ambiente e de 80 °C.

Tabela V.41: Valores de potencial de corrosão e R_p do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	$E_{corrosão} (V_{ecs})$	$R_p (ohm \cdot cm^2)$
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,210	$6,0 \times 10^{+5}$
	CP 02	- 0,227	$5,4 \times 10^{+5}$
	CP 03	- 0,215	$3,9 \times 10^{+5}$
	Média	- 0,217	$5,1 \times 10^{+5}$
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,256	$1,4 \times 10^{+5}$
	CP 02	- 0,112	$2,9 \times 10^{+5}$
	CP 03	- 0,111	$3,0 \times 10^{+5}$
	Média	- 0,160	$2,4 \times 10^{+5}$

Tabela V.42: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,217	6,0 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,099	5,5 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,213	7,3 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,176	6,3 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,218	9,3 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,159	8,3 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,162	2,0 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,180	1,3 x 10⁺⁵

Tabela V.43: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,238	5,1 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,249	4,4 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,217	1,1 x 10 ⁺⁶
	Média	- 0,235	6,8 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,222	1,7 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,214	1,3 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,168	1,4 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,201	1,5 x 10⁺⁵

Tabela V.44: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,119	5,3 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,194	2,5 x 10 ⁺⁶
	CP 03	- 0,197	1,7 x 10 ⁺⁶
	Média	- 0,170	1,6 x 10⁺⁶
Temperatura de 80 °C	CP 01	- 0,243	7,2 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,239	7,6 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,241	8,0 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,241	7,6 x 10⁺⁴

Já as tabelas V.45, V.46, V.47 e V.48 apresentam os valores de potencial de corrosão e resistência de polarização (Rp) obtidos das curvas de impedância eletroquímica do aço inoxidável UNS S31803, mostradas no item IV.2, nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto na presença de gás carbônico e temperaturas ambiente e de 80 °C.

Tabela V.45: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,431	1,4 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,423	2,2 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,462	8,2 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,439	1,5 x 10⁺⁵
Temperatura de 80 °C	CP 01	- 0,248	7,1 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,221	2,9 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,258	4,5 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,242	1,8 x 10⁺⁵

Tabela V.46: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,495	6,1 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,502	6,5 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,484	6,7 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,494	6,4 x 10⁺⁴
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,275	7,1 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,274	6,8 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,110	9,9 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,220	7,9 x 10⁺⁴

Tabela V.47: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,514	2,4 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,520	1,9 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,513	1,9 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,516	2,1 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,430	7,3 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,402	7,9 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,435	6,3 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,422	7,2 x 10⁺⁴

Tabela V.48: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S31803 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S31803	E_{corrosão} (V_{ecs})	Rp (ohm • cm²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,438	7,4 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,391	1,4 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,413	1,2 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,414	1,1 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,323	9,1 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,322	1,4 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,324	8,6 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,323	1,1 x 10⁺⁵

Os resultados obtidos nos ensaios de impedância eletroquímica do aço inoxidável UNS S31803 nas diversas soluções e condições de pesquisa apresentados nas tabelas V.41 a V.48 foram sumarizados na figura V.9. A figura V.9 mostra os resultados em função dos menores valores de resistência de polarização (Rp) obtidos pelo material nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente (25 °C) e de 80 °C.

Aço Inoxidável UNS S31803

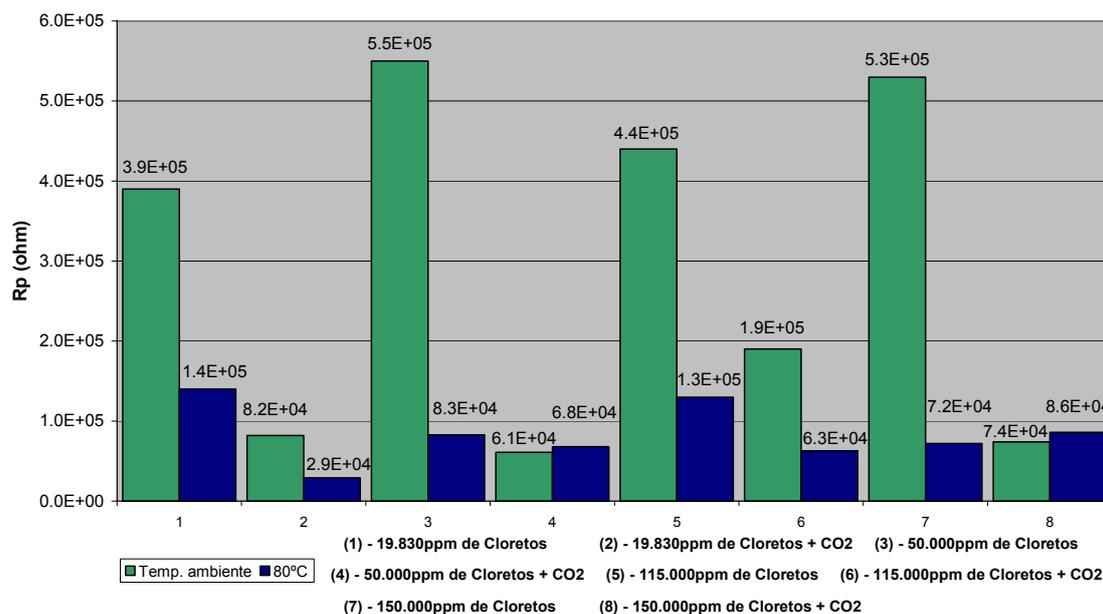


Figura V.9: Gráfico em colunas dos menores valores de resistência de polarização (Rp) do aço inoxidável UNS S31803 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Analisando a figura V.9 pode-se observar que a resistência de polarização (Rp) do aço inoxidável UNS S31803 é reduzida significativamente pelo aumento de temperatura em todas as soluções sem a presença de CO₂. Nota-se que a maior redução de resistência de polarização é alcançada na solução de 150000 ppm de cloretos sem a presença de CO₂, onde o valor de Rp reduziu de $5,3 \times 10^{+5}$ ohm • cm² para $7,2 \times 10^{+4}$ ohm • cm² com o aumento de temperatura de análise. Estes resultados corroboram os resultados obtidos nos ensaios de polarização anódica do material, onde o aumento de temperatura provocou a redução da faixa de passivação da liga.

Já nas soluções onde foi borbulhado gás carbônico, o aumento de temperatura reduz os valores de Rp nas soluções com 19830 ppm e 115000 ppm de íons cloreto, porém estes valores aumentam nas soluções com 50000 ppm e 150000 ppm do íon.

Observa-se também que em todas as condições de análise o aumento da concentração de íons cloreto nas soluções não apresenta uma relação bem definida com os valores de resistência de polarização apresentados pela liga. Tal comportamento contraria as conclusões obtidas a partir das curvas de polarização

anódica do material (valores de faixa de passivação) nas mesmas condições, onde a redução da resistência à corrosão por pite da liga é observada com o aumento da concentração do íon cloreto.

Verifica-se também que a presença de gás carbônico no meio influencia negativamente na resistência de polarização da liga em todas as soluções de ensaio tanto na temperatura ambiente quanto à 80 °C, exceto na solução com 150000 ppm de cloretos e temperatura de 80 °C.

Os resultados contraditórios obtidos nos testes de impedância eletroquímica, quando comparados aos valores obtidos nos ensaios de polarização anódica, indicam que a técnica de impedância eletroquímica não se mostra adequada para avaliar a resistência à corrosão das ligas nas condições testadas neste trabalho.

V.1.4 Aço inoxidável UNS S32760

As tabelas V.49, V.50, V.51 e V.52 apresentam os valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e cálculo de $\Delta E_{\text{passivação}}$ obtidos das curvas de polarização do aço inoxidável UNS S32760, mostradas no item IV.1, nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto na ausência de gás carbônico e temperaturas ambiente e de 80 °C.

Tabela V.49: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,241	-	1,8 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 02	- 0,183	-	1,5 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,235	-	1,2 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,220	-	1,5 x 10⁻⁶	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,236	-	3,3 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 02	- 0,229	-	2,6 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,128	-	2,5 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,198	-	2,8 x 10⁻⁶	> 1,000

Tabela V.50: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,190	-	1,2 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 02	- 0,226	-	1,4 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,229	-	1,5 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,215	-	1,4 x 10⁻⁶	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,143	-	4,0 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 02	- 0,204	-	9,1 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,171	-	3,5 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,173	-	5,5 x 10⁻⁶	> 1,000

Tabela V.51: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,227	-	1,2 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 02	- 0,248	-	1,4 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,249	-	1,2 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,241	-	1,3 x 10⁻⁶	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,233	0,667	2,7 x 10 ⁻⁶	0,900
	CP 02	- 0,298	-	2,1 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,243	0,681	2,2 x 10 ⁻⁶	0,924
	Média	- 0,258	0,674	2,3 x 10⁻⁶	0,941

Tabela V.52: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,232	-	1,5 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 02	- 0,202	-	2,0 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,202	-	1,5 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,212	-	1,7 x 10⁻⁶	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,209	0,418	1,4 x 10 ⁻⁶	0,627
	CP 02	- 0,243	0,726	4,3 x 10 ⁻⁶	0,969
	CP 03	- 0,254	0,567	1,3 x 10 ⁻⁶	0,821
	Média	- 0,235	0,570	2,3 x 10⁻⁶	0,806

Já as tabelas V.53, V.54, V.55 e V.56 apresentam os valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e cálculo de $\Delta E_{\text{passivação}}$ obtidos das curvas de polarização do aço inoxidável UNS S32760, mostradas no item IV.1, nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto na presença de gás carbônico e temperaturas ambiente e de 80 °C.

Tabela V.53: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,263	-	1,4 x 10 ⁻⁵	> 1,000
	CP 02	- 0,285	-	4,7 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,207	-	3,0 x 10 ⁻⁷	> 1,000
	Média	- 0,252	-	6,3 X 10⁻⁶	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,213	-	2,2 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 02	- 0,227	-	9,6 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,368	-	8,6 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,269	-	6,8 X 10⁻⁶	> 1,000

Tabela V.54: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	ΔE_{passivação} (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,366	-	8,8 x 10 ⁻⁷	> 1,000
	CP 02	- 0,471	-	1,1 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,338	-	1,3 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,392	-	1,1 x 10⁻⁶	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,274	-	1,5 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 02	- 0,262	-	2,1 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,215	-	2,5 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	Média	- 0,250	-	2,0 x 10⁻⁶	> 1,000

Tabela V.55: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	ΔE_{passivação} (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,497	-	8,6 x 10 ⁻⁷	> 1,000
	CP 02	- 0,481	-	9,1 x 10 ⁻⁷	> 1,000
	CP 03	- 0,419	-	8,1 x 10 ⁻⁷	> 1,000
	Média	- 0,466	-	8,6 x 10⁻⁷	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,317	0,022	3,0 x 10 ⁻⁶	0,339
	CP 02	- 0,361	0,119	1,8 x 10 ⁻⁶	0,480
	CP 03	- 0,352	0,092	1,2 x 10 ⁻⁶	0,444
	Média	- 0,343	0,078	2,0 x 10⁻⁶	0,421

Tabela V.56: Valores de potencial de corrosão, potencial de pite, densidade de corrente de passivação e $\Delta E_{\text{passivação}}$ do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E_{corrosão} (V_{ecs})	E_{pite} (V_{ecs})	i_{passiv média} (A/cm²)	ΔE_{passivação} (V)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,416	-	1,2 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 02	- 0,457	-	1,4 x 10 ⁻⁶	> 1,000
	CP 03	- 0,411	-	9,4 x 10 ⁻⁷	> 1,000
	Média	- 0,428	-	1,2 x 10⁻⁶	> 1,000
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,318	0,025	1,3 x 10 ⁻⁶	0,343
	CP 02	- 0,392	0,046	3,9 x 10 ⁻⁷	0,438
	CP 03	- 0,258	0,046	9,3 x 10 ⁻⁷	0,304
	Média	- 0,323	0,039	8,7 X 10⁻⁷	0,362

Os resultados obtidos nos ensaios de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 nas diversas soluções e condições de pesquisa apresentadas nas tabelas V.49 a V.56 foram sumarizados nas figuras V.10 e V.11. A figura V.10 mostra os resultados em função dos menores potenciais de pite (E_{pite}) obtidos pelo material e a figura V.11 apresenta os menores valores de faixa de passivação (ΔE_{passivação}) da liga nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e 80 °C.

Aço Inoxidável UNS S32760

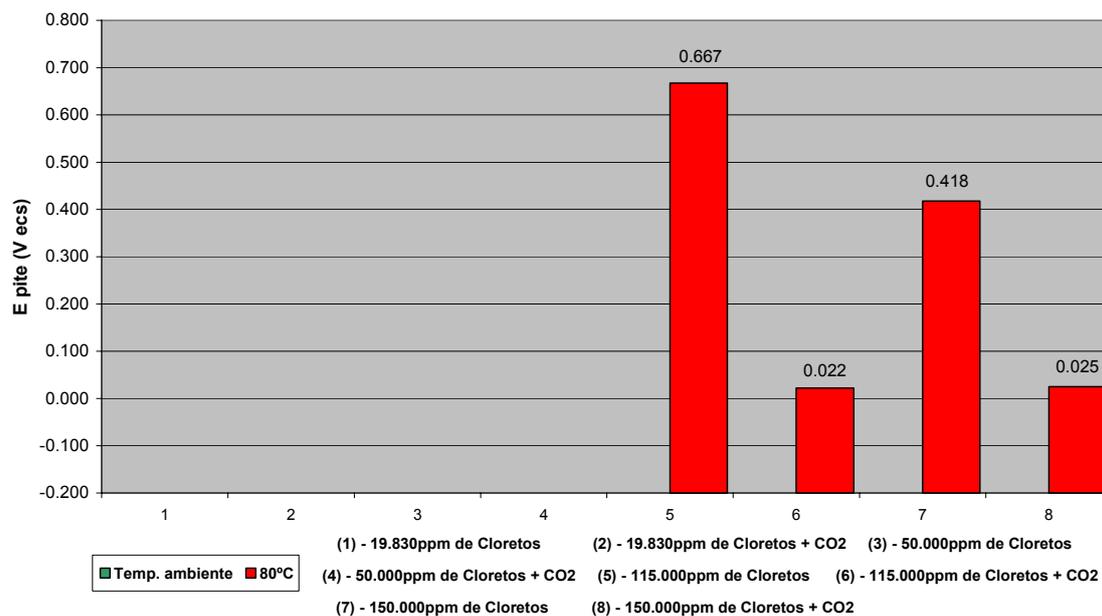


Figura V.10: Gráfico em colunas dos menores valores de potencial de pite (E_{pite}) do aço inoxidável UNS S32760 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Pela análise da figura V.10 pode-se observar que o aço inoxidável UNS S32760 apenas apresenta corrosão por pite nas soluções com 115000 ppm e 150000ppm de íons cloreto na temperatura de 80 °C tanto com a presença quanto na ausência de gás carbônico. Isto demonstra a influência do aumento da temperatura e da concentração de íons cloreto do meio na redução da resistência à corrosão por pite da liga. Os resultados obtidos nas soluções de 20000 ppm e 50000 ppm de cloretos e temperatura de 25 °C diferem das observações feitas por FINZETTO, SENATORE e PEREA (2006) em estudo realizado utilizando uma solução neutra de 3 % de NaCl, pH 7,0 e temperatura de 25 °C, onde o aço inoxidável UNS S32750 (superduplex) apresentou corrosão por pites nas condições de análise com um potencial de pite igual a 1100 mV. Esta diferença nos resultados obtidos por FINZETTO, SENATORE e PEREA (2006) e o presente estudo pode ser explicado pelo fato de que o aumento de densidade de corrente observado por FINZETTO, SENATORE e PEREA (2006) no valor de 1100 mV pode representar a oxidação da solução de análise, ao invés da formação de pites na liga.

A influência do aumento de temperatura na resistência à corrosão por pite do aço inoxidável superduplex também foi observada por SOUZA, ROSSITTI e ROLLO (2010) em solução de NaCl com 22700 ppm de íons cloreto e diferentes temperaturas. Os autores constataram que o aumento da temperatura provoca uma elevação na susceptibilidade à corrosão por pite da liga principalmente em temperaturas acima de 60°C. SOUZA, ROSSITTI e ROLLO (2010) destacam também que o aumento da concentração de íons cloreto do meio também reduz a resistência à corrosão do material.

Observa-se também que na temperatura de 80 °C e soluções com a presença de gás carbônico, o aumento da concentração de íons cloreto de 115000 ppm para 150000 ppm provoca uma redução no potencial de pite do aço inoxidável UNS S32760 de 0,667 V_{ecs} para 0,418 V_{ecs} .

Adicionalmente, verifica-se que a presença de gás carbônico no meio influencia negativamente no potencial de pite apresentado pela liga nas soluções onde foi observada a formação de pite (com a temperatura de 80 °C). Nas soluções com 150000 ppm de íons cloreto e temperatura elevada, a presença de CO₂ reduz o potencial de pite do material de 0,418 V_{ecs} para 0,025 V_{ecs} .

Tais resultados corroboram o estudo realizado por FRANCIS e BYRNE (2007) onde foi mostrado que parâmetros como temperatura da água do mar e a concentração de íons cloreto estão correlacionados aos efeitos corrosivos no aço inoxidável superduplex. Com base no estudo feito pelos autores, os mesmos recomendam que à temperatura de 40 °C o aço seja utilizado em condições onde a concentração de cloretos não ultrapasse 0,7 mg/L.

Aço Inoxidável UNS S32760

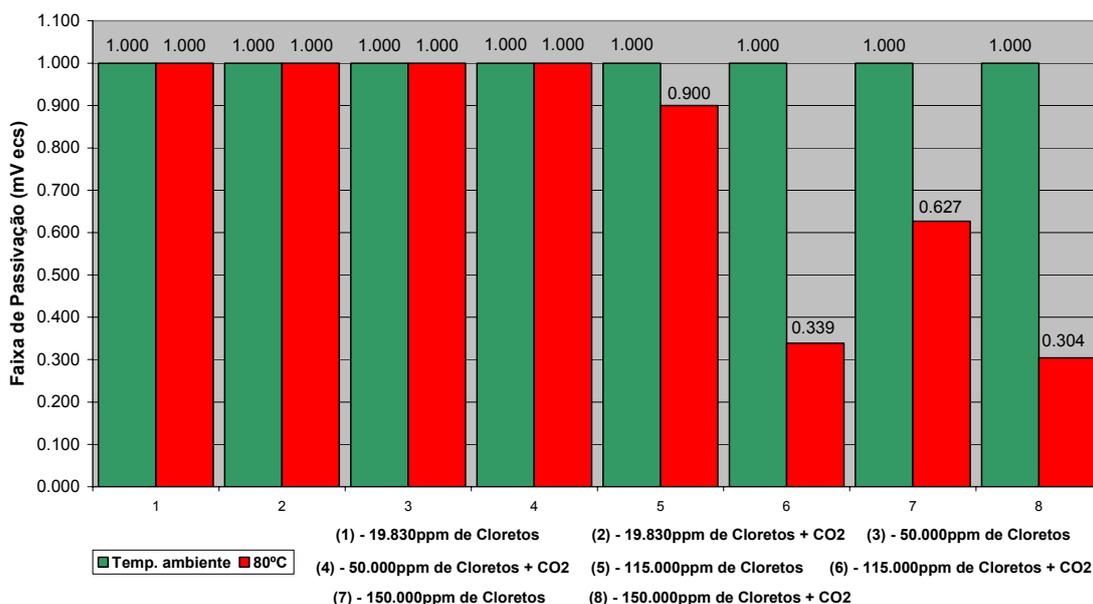


Figura V.11: Gráfico em colunas dos menores valores de faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) do aço inoxidável UNS S32760 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO_2 nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Em relação à faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) apresentada pelo aço inoxidável UNS S32760 verifica-se na figura V.11 que o aumento de temperatura apenas influencia o parâmetro nas soluções com concentração de íons cloreto igual a 115000 ppm e 150000 ppm, tanto na presença quanto na ausência de CO_2 . Na solução de 150000 ppm de cloretos e presença de gás carbônico, a faixa de passivação do aço tem a sua maior redução em função do aumento de temperatura, variando de 1,000 V_{ecs} para 0,304 V_{ecs} .

Observa-se também que nos ensaios realizados à 25 °C, o aumento da concentração de íons cloreto nas soluções não provoca alteração na faixa de passivação da liga, independente da presença ou não de CO_2 . Entretanto, na temperatura de 80 °C e ausência de gás carbônico, a alteração da concentração de íons cloreto provoca uma redução significativa na faixa de passivação da liga de 0,900 V_{ecs} para 0,627 V_{ecs} , quando a teor de íons aumenta de 115000 ppm para 150000 ppm de cloretos.

Em relação à influência de gás carbônico no meio, observa-se que a presença do gás influencia negativamente na faixa de passivação do aço nos ensaios realizados à

80 °C e concentração de íons cloreto da solução igual a 115000 ppm ou 150000 ppm. Na solução com 115000 ppm de cloretos e temperatura de 80 °C foi observada a maior redução na faixa de passivação do material, igual a 0,561 V_{ecs} .

Nota-se que as curvas obtidas nos ensaios de polarização anódica do aço inoxidável UNS S32760 (superduplex) em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto à 25 °C e 80 °C apresentadas na figura IV.4 contrariam as curvas descritas por NEVILLE e HODGKIESS (1996) para o aço inoxidável superduplex em água do mar com a elevação da temperatura de 30 °C para 60 °C, onde é observada a formação de pite nas duas temperaturas de análise.

Comparando os resultados anteriores, conclui-se que o aumento de temperatura tem a maior e a concentração de íons cloreto a menor influência na resistência à corrosão por pite do aço inoxidável UNS S32760.

As tabelas V.57, V.58, V.59 e V.60 apresentam os valores de potencial de corrosão e resistência de polarização (R_p) obtidos das curvas de impedância eletroquímica do inoxidável UNS S32760, mostradas no item IV.2, nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto na ausência de gás carbônico e temperaturas ambiente e de 80 °C.

Tabela V.57: Valores de potencial de corrosão e R_p do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	$E_{corrosão} (V_{ecs})$	$R_p (ohm \cdot cm^2)$
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,214	$3,1 \times 10^{+5}$
	CP 02	- 0,250	$3,5 \times 10^{+5}$
	CP 03	- 0,239	$5,7 \times 10^{+5}$
	Média	- 0,234	$4,1 \times 10^{+5}$
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,246	$1,5 \times 10^{+5}$
	CP 02	- 0,245	$1,4 \times 10^{+5}$
	CP 03	- 0,142	$2,1 \times 10^{+5}$
	Média	- 0,211	$1,7 \times 10^{+5}$

Tabela V.58: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,258	2,2 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,111	3,4 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,106	4,3 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,158	3,3 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,145	1,8 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,218	1,1 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,168	2,5 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,177	1,8 x 10⁺⁵

Tabela V.59: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,230	8,4 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,253	4,7 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,241	5,5 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,241	6,2 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,232	1,3 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,232	1,2 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,253	9,3 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,239	1,1 x 10⁺⁵

Tabela V.60: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E_{corrosão} (V_{ecs})	Rp (ohm • cm²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,231	9,8 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,200	1,7 x 10 ⁺⁶
	CP 03	- 0,207	2,1 x 10 ⁺⁶
	Média	- 0,213	1,6 x 10⁺⁶
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,217	9,9 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,244	5,6 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,252	7,2 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,238	7,6 x 10⁺⁴

Já as tabelas V.61, V.62, V.63 e V.64 apresentam os valores de potencial de corrosão e resistência de polarização (Rp) obtidos das curvas de impedância eletroquímica do aço inoxidável UNS S32760, mostradas no item IV.2, nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto na presença de gás carbônico e temperaturas ambiente e de 80 °C.

Tabela V.61: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 19830 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E_{corrosão} (V_{ecs})	Rp (ohm • cm²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,304	2,2 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,292	4,0 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,230	1,7 x 10 ⁺⁶
	Média	- 0,275	7,7 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,284	6,0 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,223	3,0 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,355	2,9 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,287	2,2 x 10⁺⁵

Tabela V.62: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 50000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,406	1,1 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,474	8,1 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,431	6,6 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,437	8,6 x 10⁺⁴
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,324	6,7 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,297	9,9 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,237	9,6 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,286	8,7 x 10⁺⁴

Tabela V.63: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E _{corrosão} (V _{ecs})	Rp (ohm • cm ²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,511	9,2 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,503	7,5 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,440	1,4 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,485	1, 0 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,368	6,1 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,428	5,8 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,374	8,5 x 10 ⁺⁴
	Média	- 0,390	6,8 x 10⁺⁴

Tabela V.64: Valores de potencial de corrosão e Rp do aço inoxidável UNS S32760 em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

	UNS S32760	E_{corrosão} (V_{ecs})	Rp (ohm • cm²)
Temperatura ambiente	CP 01	- 0,421	1,3 x 10 ⁺⁵
	CP 02	- 0,474	8,3 x 10 ⁺⁴
	CP 03	- 0,420	1,6 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,438	1,2 x 10⁺⁵
Temperatura de 80°C	CP 01	- 0,347	9,2 x 10 ⁺⁴
	CP 02	- 0,416	2,9 x 10 ⁺⁵
	CP 03	- 0,263	1,1 x 10 ⁺⁵
	Média	- 0,342	1,6 x 10⁺⁵

Os resultados obtidos nos ensaios de impedância eletroquímica do aço inoxidável UNS S32760 nas diversas soluções e condições de pesquisa apresentados nas tabelas V.57 a V.64 foram sumarizados na figura V.12. A figura V.12 mostra os resultados em função dos menores valores de resistência de polarização (Rp) obtidos pelo material nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C.

Aço Inoxidável UNS S32760

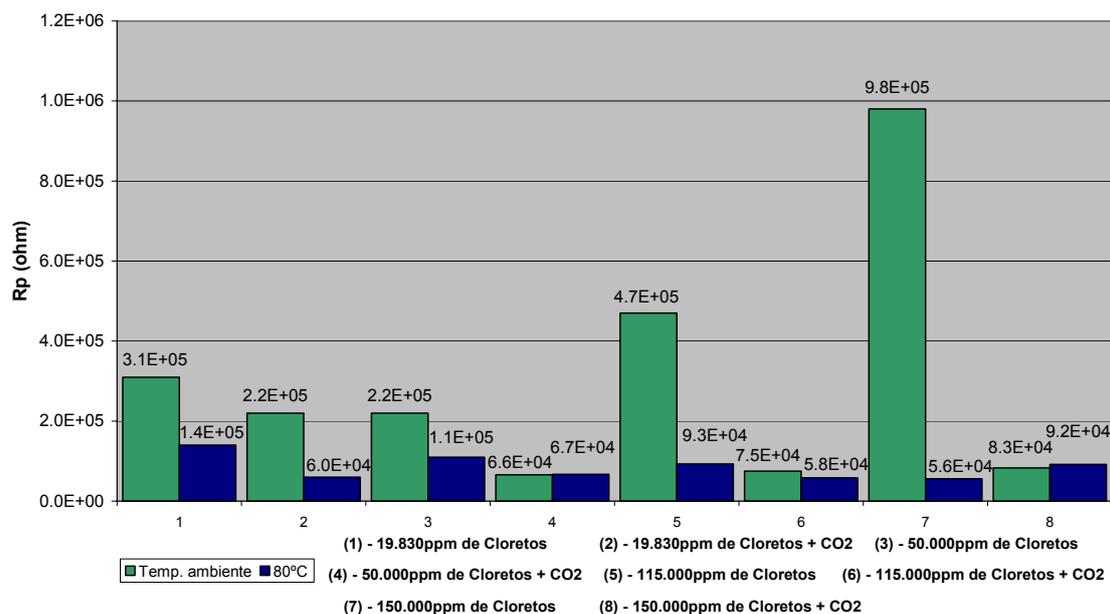


Figura V.12: Gráfico em colunas dos menores valores de resistência de polarização (Rp) do aço inoxidável UNS S32760 obtidos nas soluções de água do mar sintética com 19830 ppm, 50000 ppm, 115000 ppm e 150000 ppm de íons cloreto com ausência e presença de CO₂ nas temperaturas ambiente e de 80 °C

Analisando a figura V.12 pode-se observar que a resistência de polarização (Rp) do aço inoxidável UNS S32760 é reduzida pelo aumento de temperatura em todas as soluções sem a presença de CO₂. Estes resultados corroboram os resultados obtidos nos ensaios de polarização anódica do material. O mesmo comportamento foi observado em estudo realizado por SOUZA, ROSSITTI e ROLLO (2010) onde o aumento de temperatura provocou uma redução na resistência de polarização de um aço inoxidável superduplex, segundo os diagramas de Nyquist obtidos no trabalho dos autores.

Já nas soluções onde foi borbulhado gás carbônico, o aumento de temperatura reduz os valores de Rp nas soluções com 19830 ppm e 115000 ppm de íons cloreto, porém estes valores apresentam um pequeno aumento nas soluções com 50000 ppm e 150000 ppm do íon.

Observa-se também que nos ensaios realizados à 80 °C e ausência de gás carbônico, a elevação do teor de cloretos nas soluções provoca uma pequena redução na impedância apresentada pelo aço inoxidável UNS S32760, com valores que variam de

$1,4 \times 10^5 \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$ na solução com 19830ppm de cloretos até $5,6 \times 10^4 \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$ na solução com 150000 ppm de cloretos. Entretanto, nas demais condições de análise o aumento da concentração de íons cloreto nas soluções não apresenta uma relação bem definida com os valores de resistência de polarização demonstrados pela liga. Tal comportamento contraria as conclusões obtidas a partir das curvas de polarização anódica do material nas mesmas condições, onde a redução da resistência à corrosão por pite do aço é observada com o aumento da concentração do íon cloreto. Esta relação entre o aumento da concentração de cloretos e a redução de impedância de um aço inoxidável superduplex foi observada por SOUZA, ROSSITTI e ROLLO (2010) em estudo realizado em soluções de NaCl com 5800 ppm, 22700 ppm e 58000 ppm de cloretos à 25 °C.

Verifica-se também que a presença de gás carbônico no meio influencia negativamente na resistência de polarização do aço inoxidável UNS S32760 em todas as soluções de ensaio tanto na temperatura ambiente quanto à 80 °C, com exceção da solução com 150000 ppm de cloretos e temperatura de 80 °C. Esse efeito pode ser notado, por exemplo, através dos valores de Rp do aço na solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e temperatura de 25 °C, na qual a presença de CO₂ reduz o valor de resistência de polarização da liga de $4,7 \times 10^5 \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$ para $7,5 \times 10^4 \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$.

Comparando os valores de Rp obtidos pelo aço inoxidável UNS S32760 com os valores obtidos pelas demais ligas analisadas, UNS S31600, UNS N08904 e UNS S31803, verifica-se que a maior resistência à corrosão por pite do aço superduplex, detectada nos ensaios de polarização anódica, não é confirmada pelos valores de Rp dos aços nas mesmas condições. Um exemplo deste fato pode ser observado na solução de água do mar sintética com 50000 ppm de cloretos, temperatura de 25 °C e ausência de CO₂ no meio, na qual o aço inoxidável UNS S32760 obteve o menor valor de resistência de polarização. Os valores de Rp obtidos para os aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760 na condição citada anteriormente foram de $3,1 \times 10^5 \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$, $6,7 \times 10^5 \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$, $5,5 \times 10^5 \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$ e $2,2 \times 10^5 \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$, respectivamente.

V.2 INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DAS LIGAS NA RESISTÊNCIA À CORROSÃO POR PITE DOS AÇOS INOXIDÁVEIS

A influência da composição das ligas na resistência à corrosão por pite dos materiais também é discutida neste trabalho. Desta maneira, os resultados de resistência à corrosão por pites de todos os aços inoxidáveis analisados neste estudo considerando todas as soluções, temperaturas e demais condições de análise são apresentadas na tabela V.65. Buscou-se realizar a comparação das diversas ligas em relação aos menores valores de faixa de passivação ($\Delta E_{\text{passivação}}$) e resistência de polarização (R_p) apresentados pelos materiais em todas as faixas de concentração de íons cloreto, ausência e presença de gás carbônico e temperaturas de 25 °C e 80 °C. Desta maneira, um ranking de resistência à corrosão por pite considerando os aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760 é apresentado na tabela V.65 em relação aos diversos meios e temperaturas de análise utilizadas neste estudo.

Tabela V.65: Comparação entre os diversos aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos avaliados em relação aos vários meios e condições de análise

Solução de água do mar sintética								
25°C	19830 ppm de íons cloreto		50000 ppm de íons cloreto		115000 ppm de íons cloreto		150000 ppm de íons cloreto	
	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)
	1 - D (Δ)	1 - B	1 - D (Δ)	1 - B	1 - D (Δ)	1 - B	1 - D (Δ)	1 - D
	1 - C (Δ)	2 - C	1 - C (Δ)	2 - C	1 - C (Δ)	2 - D	1 - C (Δ)	2 - B
	1 - B (Δ)	3 - D	1 - B (Δ)	3 - A	1 - B (Δ)	3 - C	1 - B (Δ)	3 - C
	4 - A (●)	4 - A	4 - A (●)	4 - D	4 - A (●)	4 - A	4 - A (●)	4 - A
	19830 ppm de íons cloreto + CO ₂		50000 ppm de íons cloreto + CO ₂		115000 ppm de íons cloreto + CO ₂		150000 ppm de íons cloreto + CO ₂	
	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)
	1 - D (Δ)	1 - D	1 - D (Δ)	1 - B	1 - D (Δ)	1 - C	1 - D (Δ)	1 - B
	1 - C (Δ)	2 - A	1 - C (Δ)	2 - D	1 - C (Δ)	2 - B	1 - C (Δ)	2 - D
1 - B (Δ)	3 - C	3 - B (●)	3 - C	3 - B (●)	3 - D	3 - B (●)	3 - A	
4 - A (●)	4 - B	4 - A (●)	4 - A	4 - A (●)	4 - A	4 - A (●)	4 - C	
80°C	19830 ppm de íons cloreto		50000 ppm de íons cloreto		115000 ppm de íons cloreto		150000 ppm de íons cloreto	
	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)
	1 - D (Δ)	1 - B	1 - D (Δ)	1 - D	1 - D (Δ)	1 - C	1 - D (●)	1 - B
	2 - C (●)	2 - D	2 - C (●)	2 - B	2 - C (●)	2 - B	2 - C (●)	2 - C
	3 - B (●)	2 - C	3 - B (●)	3 - C	3 - B (●)	3 - D	3 - B (●)	3 - D
	4 - A (●)	3 - A	4 - A (●)	4 - A	4 - A (●)	4 - A	4 - A (●)	4 - A
	19830 ppm de íons cloreto + CO ₂		50000 ppm de íons cloreto + CO ₂		115000 ppm de íons cloreto + CO ₂		150000 ppm de íons cloreto + CO ₂	
	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)	$\Delta E_{\text{passivação}}$ (V)	Rp (ohm•cm ²)
	1 - D (Δ)	1 - D	1 - D (Δ)	1 - C	1 - D (●)	1 - B	1 - D (●)	1 - B
	2 - B (●)	2 - B	2 - B (●)	2 - D	2 - B (●)	2 - C	2 - B (●)	2 - D
3 - C (●)	3 - A	3 - C (●)	3 - B	3 - C (●)	3 - D	3 - A (●)	3 - C	
4 - A (●)	4 - C	4 - A (●)	4 - A	4 - A (●)	4 - A	4 - C (●)	4 - A	
Legenda:								
A – Aço inoxidável UNS S31600				C – Aço inoxidável UNS S31803				
B – Aço inoxidável UNS N08904				D – Aço inoxidável UNS S32760				
Δ Não apresentou a formação de pites				● Apresentou a formação de pites				

Analisando a tabela V.65 observa-se que o aumento de temperatura de 25 °C para 80 °C afeta significativamente a resistência à corrosão por pites de todos os aços inoxidáveis analisados. Estes resultados corroboram os ensaios feitos por NEVILLE e HODGKIESS (1996) na qual foi demonstrado que a elevação da temperatura na faixa de 18 °C a 60 °C reduz significativamente a resistência à corrosão de aços inoxidáveis do tipo 316L, superaustenítico, duplex com 25% de cromo e superduplex em água do mar. Adicionalmente, nota-se que o aço inoxidável UNS S32760 foi a liga que apresentou a menor susceptibilidade à corrosão por pite em relação ao aumento de temperatura de ensaio.

Pela análise da tabela V.65, observa-se também que considerando os valores de faixa de passivação obtidos pelas diversas ligas, o aço inoxidável UNS 32760 possui o melhor desempenho em todas as condições de análise testadas, apresentando a formação de pites apenas na solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto, temperatura de 80 °C e presença de CO₂ e soluções com 150000 ppm de cloretos, com a presença e ausência de CO₂, também na temperatura de 80 °C.

Estes resultados contrariam afirmação feita por FINZETTO, SENATORE e PEREA (2006) onde se ressalta que os aços inoxidáveis superduplex, como o UNS 32760, apresentam resistência à corrosão comparável aos dos aços inoxidáveis superausteníticos. Na maioria das condições testadas, o aço inoxidável UNS N08904 (superaustenítico) apresentou faixa de passivação inferior até mesmo do que a do aço inoxidável UNS S31803 (duplex), superando o mesmo apenas nas condições onde o gás carbônico estava presente e a temperatura de ensaio era de 80 °C.

Com base nos resultados de polarização anódica obtidos pelos quatro aços inoxidáveis analisados nas diversas condições de ensaio desenvolvidas neste trabalho, conclui-se que, na maioria das soluções, temperaturas e demais condições testadas, o desempenho das ligas pode ser classificada por ordem decrescente de resistência à corrosão por pite da seguinte maneira:

- 1° - aço inoxidável UNS S32760;
- 2° - aço inoxidável UNS S31803;
- 3° - aço inoxidável UNS N08904 e
- 4° - aço inoxidável UNS S31600.

Os resultados obtidos corroboram o efeito benéfico da adição de cromo, molibdênio, tungstênio e nitrogênio nas ligas, já que a resistência à corrosão dos aços aumenta

com a elevação do índice equivalente de resistência à pite (PREN - Pitting Resistance Equivalent Number) dos diversos materiais analisados. Segundo ROBERGE (2006), o valor de PREN das ligas pode ser calculado pela percentagem dos elementos molibdênio, tungstênio, cromo e nitrogênio, conforme a fórmula $PREN = \%Cr + 3,3\%(Mo + 0,5W) + 16\%N$.

A tabela V.66 apresenta a concentração de cromo, molibdênio, nitrogênio e tungstênio, em %, além do cálculo dos valores de PREN das ligas estudadas neste trabalho.

Tabela V.66: Valores de PREN e concentração de cromo, molibdênio, tungstênio e nitrogênio dos aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos analisados

Aço inoxidável (designação)	% Cr	% Mo	% W	% N	PREN (<i>pitting resistance equivalent number</i>)
UNS S31600	17,10	2,19	-	-	25
UNS S31803	22,15	3,24	-	0,175	32
UNS N08904	19,90	4,20	-	0,070	35
UNS S32760	25,70	3,62	0,60	0,270	41

A mesma conclusão foi obtida por MALIK *et al.* (1995) em estudo realizado nos aços inoxidáveis 316L, 904L (superaustenítico) e 2205 (duplex) em água do mar do Golfo à 50°C, na qual os resultados do estudo indicam que a presença de elementos de liga como cromo, molibdênio e nitrogênio possuem uma influência benéfica na resistência à corrosão por pite dos aços, já que materiais com maior PREN (índice equivalente de resistência à pite) possuem menor tendência a sofrer corrosão por pites. LO, SHEK e LAI (2009) também afirmam que elementos como o nitrogênio (N) e o molibdênio (Mo) aumentam a resistência à corrosão por pite dos aços inoxidáveis.

Vale ressaltar que o valor de PREN apenas leva em consideração a composição química das diversas ligas e que o estudo em questão se faz necessário para avaliar os efeitos do meio corrosivo sobre os diversos aços inoxidáveis avaliados.

Em relação aos valores de resistência de polarização apresentados pelas diversas ligas analisadas, conclui-se pela análise da tabela V.65 que os mesmos não corroboram os resultados obtidos nos ensaios de polarização anódica dos materiais. Na maioria das condições de análise não foi observada nem mesmo a maior resistência à corrosão por pite do aço inoxidável UNS 32760. Nota-se também que o ranking de resistência dos aços obtida a partir dos valores de resistência de

polarização (R_p) dos materiais não acompanhou a mesma ordem de classificação apresentada pelas ligas em relação aos valores de faixa de passivação obtidos a partir das curvas de polarização anódica.

A técnica de impedância eletroquímica também não foi eficiente na avaliação realizada no item V.1, onde os valores de resistência de polarização de um mesmo aço inoxidável nas diversas condições de análise não corroboraram, em alguns casos, os resultados obtidos nos ensaios de polarização anódica das ligas. Em muitas condições testadas, onde foi observada uma redução nos valores de potencial de pite e faixa de passivação do aço, como por exemplo, com o aumento de temperatura de análise, não foi observada a redução na resistência de polarização (R_p) da liga nos ensaios de impedância eletroquímica. Este fato pode ser observado nos resultados de resistência de polarização do aço inoxidável UNS S31600 em solução de água do mar sintética com 115000 ppm de íons cloreto e presença de CO_2 , na qual o aumento de temperatura de 25 °C para 80 °C acarretou um aumento nos valores de R_p de $1,8 \times 10^{+4} \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$ para $4,3 \times 10^{+4} \text{ ohm} \cdot \text{cm}^2$.

VI – CONCLUSÕES

1. Dentre os aços analisados neste trabalho, o aço inoxidável UNS S31600 demonstrou possuir a menor resistência à corrosão por pite, conforme os ensaios de polarização anódica realizados, já que apresentou a formação de pites em todas as soluções, temperaturas e condições testadas, diferentemente das demais ligas avaliadas.

2. Na maioria das condições ensaiadas, o aumento de temperatura de 25 °C para 80 °C é o parâmetro que mais influencia negativamente na resistência à corrosão por pite dos aços inoxidáveis analisados, seguido da presença de gás carbônico no meio e elevação da concentração de íons cloreto nas soluções.

3. O aço inoxidável UNS S32760 demonstrou possuir a menor susceptibilidade à corrosão por pite, conforme os ensaios de polarização anódica realizados, já que apresentou as maiores faixas de passivação em todas as soluções, temperaturas e condições avaliadas, quando comparado às demais ligas avaliadas neste estudo.

4. Com base nos resultados de faixa de passivação obtidos pelos quatro aços inoxidáveis analisados nas diversas condições de ensaio desenvolvidas neste trabalho, conclui-se que, na maioria das soluções, temperaturas e demais condições avaliadas, o desempenho das ligas pode ser classificada por ordem decrescente de resistência à corrosão por pite da seguinte maneira:

1º - aço inoxidável UNS S32760;

2º - aço inoxidável UNS S31803;

3º - aço inoxidável UNS N08904 e

4º - aço inoxidável UNS S31600.

VII – SUGETÕES PARA TRABALHOS POSTERIORES

1. Estudar a resistência à corrosão sob tensão dos aços inoxidáveis UNS S31600, UNS N08904, UNS S31803 e UNS S32760 nas mesmas condições estudadas neste trabalho.
2. Aumentar o tempo de imersão dos materiais nas soluções de ensaio como forma de avaliar a importância deste parâmetro na resistência à corrosão por pite das ligas.
3. Avaliar os efeitos da presença de gás sulfídrico (H_2S) no meio nas mesmas condições de análise avaliadas neste trabalho, variando-se a concentração de íons cloreto das soluções, temperatura e presença de gás carbônico (CO_2).
4. Investigar os efeitos da elevação da pressão sobre a resistência à corrosão por pite dos aços inoxidáveis avaliados neste trabalho.

VIII – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSELMO, N., MAY, J. E., MARIANO, N. A., NASCENTE, P. A. P., KURI, S.E., 2006, "Corrosion behavior of supermartensitic stainless steel in aerated and CO₂-saturated synthetic seawater". **Materials Science and Engineering A**, n. 428, pp. 73-79.

ASM HANDBOOK V. 13B, 2005, "Corrosion Materials", **American Society for Metals**.

ASTM A 240/A 240M - 04a, 2004, Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications, **ASTM International**, Estados Unidos.

ASTM D1141-98, 2003, "Standard Practice for the Preparation of Substitute Ocean Water". **ASTM International**, Estados Unidos.

BARBOSA, C. A., 2008, "A contribuição das LRCs no revestimento de poços," **Corrosão & Proteção**, ano 5, n. 24 (nov./dez.), pp. 11-13.

BASTIDAS, J. M., FOSCA, C., CHICO, B., OTERO, E., 1996, "Weight loss and electrochemical results for two super-austenitic stainless steels in chloride-fluoride mixtures". **Corrosion Science**, v. 38, n. 3, pp. 559-563.

EIDE, O. H., HUGAAS, B. A., HEIER, E., 2007, "Effect of plastic deformation on hydrogen induced cracking (HISC) in duplex stainless steel". **Corrosion 2007**, 07494, Tennessee, EUA, 11-15 march.

EL-YAZGI, A. A., HARDIE, D., 1998, "Stress corrosion cracking of duplex and super duplex stainless steels in sour environments". **Corrosion Science**, v. 40, n. 6, pp. 909-930.

FINZETTO, L., SENATORE, M., PEREA, E., 2006, "Estudo comparativo entre os aços inoxidáveis duplex e os inoxidáveis AISI 304L/316L". **Congresso Latino Americano de Corrosão 2006**, 302, Fortaleza, Brasil, 21-26 maio.

FRANCIS, R., BYRNE, G., 2007, "Factors affecting gasket selection for stainless steels in seawater". **Corrosion 2007**, 07262, Tennessee, EUA, 11-15 march.

FRITZ, J. D., KOVACH, C. W., 2007, "Experience with UNS S32205 duplex stainless steel for service water piping". **Corrosion** **2007**, 07591, Tennessee, EUA, 11-15 march.

GENTIL, V., 2003, **Corrosão**. 4 ed. Rio de Janeiro, Brasil. LTC.

JOHANSSON, E., PROSEK, T., 2007, "Stress corrosion cracking properties of UNS S32101 – a new duplex stainless steel with low nickel content". **Corrosion** **2007**, 07475, Tennessee, EUA, 11-15 março.

LEÃO, E. R. C., 2008, **Estudo do comportamento de aços inoxidáveis austeníticos e austeno-ferríticos em sistemas de resfriamento industrial com elevado ciclo de concentração**, tese D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

LEITE, R. A., CORREA, M. B., BORRÉ, R. M., KUHN, C. G., 2008, "Avaliação do comportamento do aço inoxidável super duplex 25 %Cr soldado e material de base tratado termicamente, com relação à tenacidade à fratura ao ar e em água do mar sintética com a utilização de proteção catódica". **International Corrosion Meeting 2008**, 183, Recife, Brasil, 12-16 may.

LICINA, G., 2007, "Corrosion of service water piping in nuclear systems". **Corrosion** **2007**, 07590, Tennessee, EUA, 11-15 março.

LO, K. H., SHEK, C. H., LAI, J. K. L., 2009, "Recent developments in stainless steels". **Materials Science and Engineering R**, n. 65, pp. 39-104.

MALIK, A. U., SIDDIQI, N. A., AHMAD, S., ANDIJANI, I. N., 1995, "The effect of dominant alloy additions on the corrosion behavior of some conventional and high alloy stainless steels in seawater". **Corrosion Science**, v. 37, n. 10, pp. 1521-1535.

MU, L. J., ZHAO, W. Z., 2010, "Investigation on carbon dioxide corrosion behaviour of HP13Cr110 stainless steel in simulated stratum water". **Corrosion Science**, n. 52, pp. 82-89.

NASCIMENTO, A. M., IERARDI, M. C. F., KINA, A. Y., TAVARES, S. S. M., 2008, "Pitting corrosion resistance of cast duplex stainless steels in 3.5%NaCl solution". **Materials Characterization**, n. 59, pp. 1736-1740.

NEVILLE, A., HODGKIESS, T., 1996, "An assessment of the corrosion behaviour of high-grade alloys in seawater at elevated temperature and under a high velocity impinging flow". **Corrosion Science**, v. 38, n. 6, pp. 927-956.

PADILHA, A. F., GUEDES, L. C., 1994, **Aços inoxidáveis austeníticos - Microestrutura e Propriedades**. 1 ed. São Paulo, Brasil. Hemus.

PANOSSIAN, Z., 1993, **Corrosão e proteção contra corrosão em equipamentos e estruturas metálicas**. V. II. 1 ed. São Paulo, Brasil. Instituto de Pesquisas Tecnológicas.

PFENNIG, A., BABLER, R., 2009, "Effect of CO₂ on the stability of steels with 1 % and 13% Cr in saline water". **Corrosion Science**, n. 51, pp. 931-940.

ROBERG, P. R., 2006, **Corrosion basics - an introduction**. 2 ed. Houston. Estados Unidos da América. NACE PRESS.

SMUK, O., 2004, **Microstructure and properties of modern P / M super duplex stainless steels**, tese D.Sc., Department of Materials Science and Engineering, Stockholm, Suécia.

SOUZA, E. C., ROSSITTI, S. M., ROLLO, J. M. D. A., 2010, "Influence of chloride ion concentration and temperature on the electrochemical properties of passive films formed on a superduplex stainless steel". **Materials Characterization**, n. 61, pp. 240-244.

TELLES, P. C. S., 2003, **Materiais para equipamentos de processo**. 6 ed. Rio de Janeiro, Brasil. Interciência.

WEI, Z., LAIZHU, J., JINCHENG, H., HONGMEI, S., 2008, "Study of mechanical and corrosion properties of a Fe-21.4Cr-6Mn-1.5Ni-0.24N-0.6Mo duplex stainless steel". **Materials Science and Engineering A**, n. 497, pp. 501-504.

WOLYNEC, S., 2003, **Técnicas eletroquímicas em corrosão**. 1 ed. São Paulo, Brasil. EdUSP.

APÊNDICE

1 Aparência dos corpos-de-prova antes da realização dos ensaios de polarização anódica

1.1 Aço inoxidável UNS S31600

A figura 1 mostra a aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS S31600 antes da realização dos ensaios de polarização anódica.

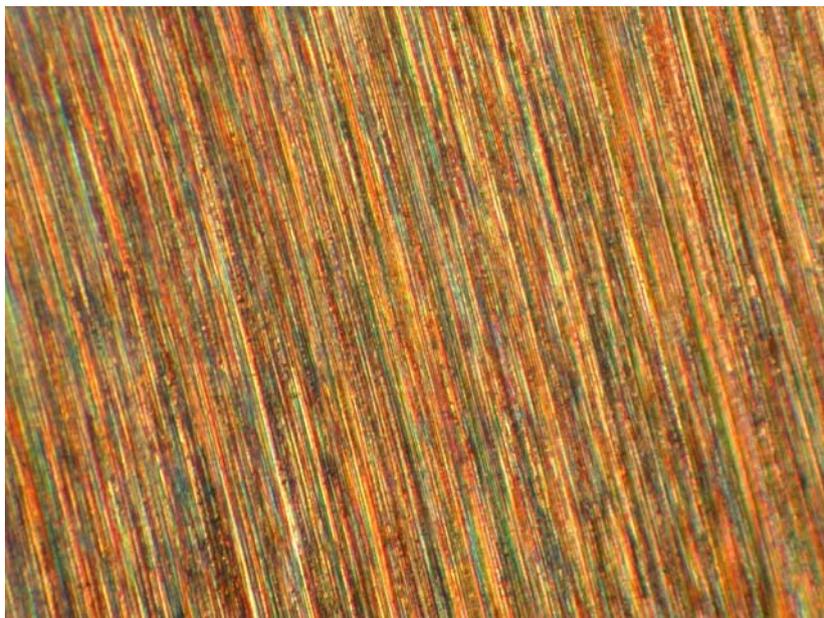


Figura 1: Aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS S31600 antes da realização dos ensaios de polarização anódica

1.2 Aço inoxidável UNS N08904

A figura 2 mostra a aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS N08904 antes da realização dos ensaios de polarização anódica.



Figura 2: Aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS N08904 antes da realização dos ensaios de polarização anódica

1.3 Aço inoxidável UNS S31803

A figura 3 mostra a aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS S31803 antes da realização dos ensaios de polarização anódica.

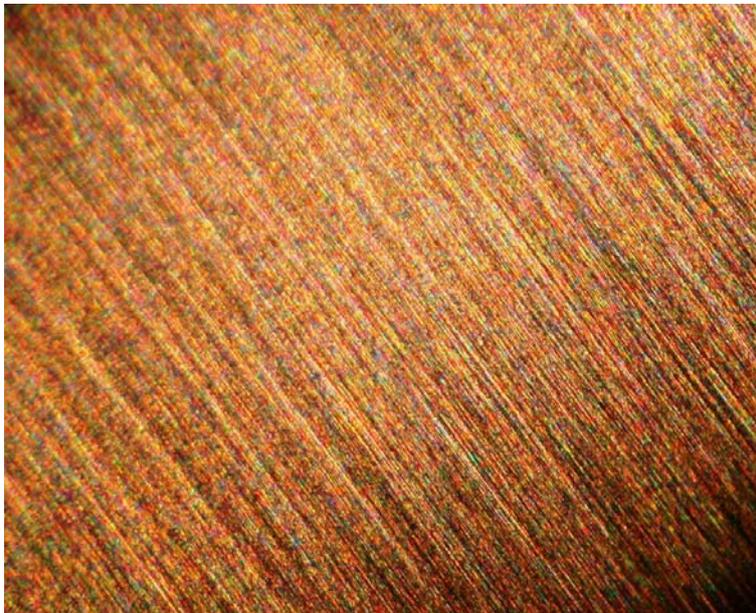


Figura 3: Aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS S31803 antes da realização dos ensaios de polarização anódica

1.4 Aço inoxidável UNS S32760

A figura 4 mostra a aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS S32760 antes da realização dos ensaios de polarização anódica.



Figura 4: Aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS S32760 antes da realização dos ensaios de polarização anódica

2 Solução de água do mar sintética com 150000 ppm de cloretos à 80 °C e presença de CO₂

Neste item são mostradas as fotos dos corpos-de-prova dos aços inoxidáveis que apresentaram a formação de pite durante a realização dos ensaios de polarização anódica em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto, temperatura de 80 °C e presença de CO₂.

2.1 Aço inoxidável UNS S31600

A figura 5 mostra a aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS S31600 após a realização dos ensaios de polarização anódica em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto, temperatura de 80 °C e presença de CO₂.



Figura 5: Aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS S31600 após realização dos ensaios de polarização anódica em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto, temperatura de 80 °C e presença de CO₂

2.2 Aço inoxidável UNS N08904

A figura 6 mostra a aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS N08904 após a realização dos ensaios de polarização anódica em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto, temperatura de 80 °C e presença de CO₂.

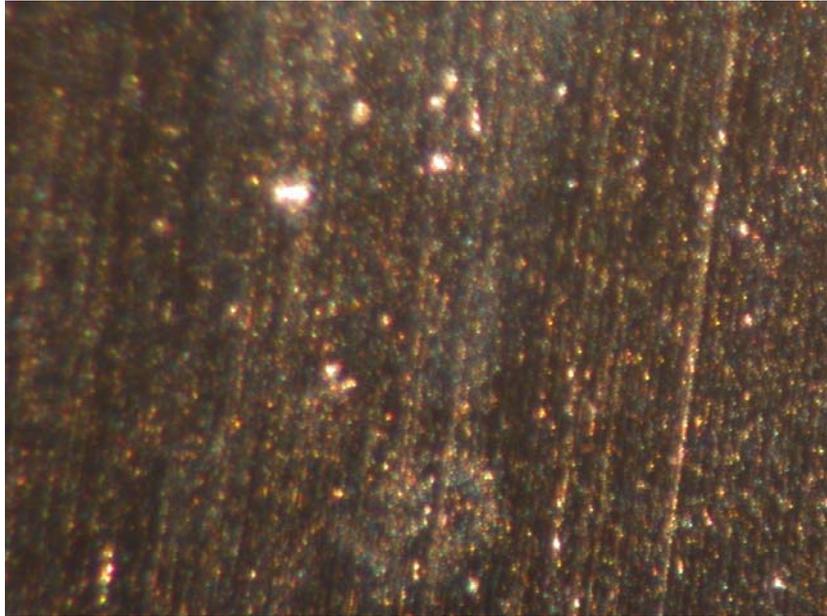


Figura 6: Aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS N08904 após realização dos ensaios de polarização anódica em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto, temperatura de 80 °C e presença de CO₂

2.3 Aço inoxidável UNS S31803

A figura 7 mostra a aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS S31803 após a realização dos ensaios de polarização anódica em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto, temperatura de 80 °C e presença de CO₂.

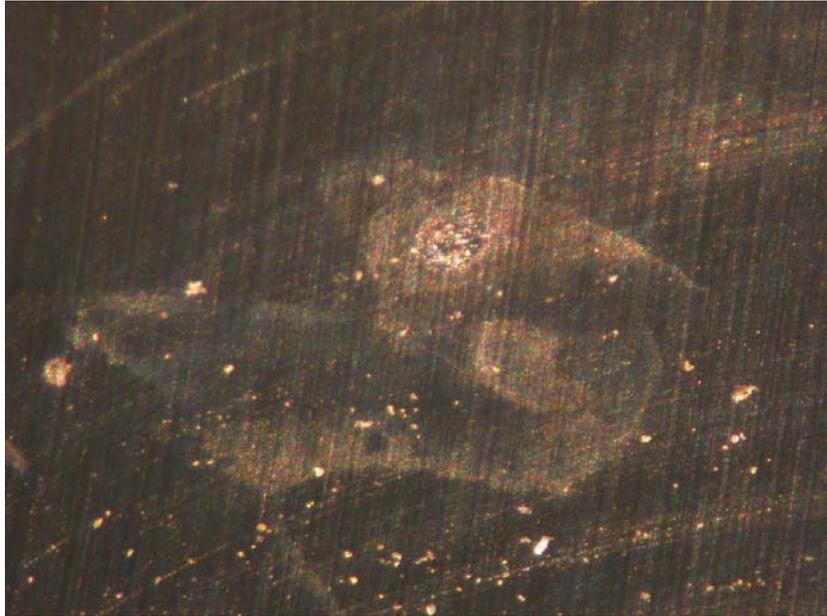


Figura 7: Aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS S31803 após realização dos ensaios de polarização anódica em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto, temperatura de 80 °C e presença de CO₂

2.4 Aço inoxidável UNS S32760

A figura 8 mostra a aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS S32760 após a realização dos ensaios de polarização anódica em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto, temperatura de 80 °C e presença de CO₂.

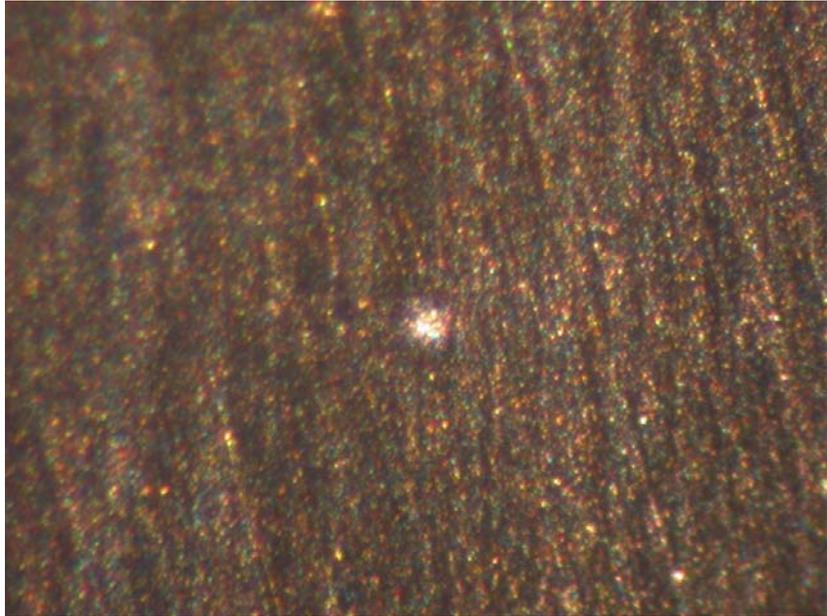


Figura 8: Aparência do corpo-de-prova do aço inoxidável UNS S32760 após realização dos ensaios de polarização anódica em solução de água do mar sintética com 150000 ppm de íons cloreto, temperatura de 80 °C e presença de CO₂