



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESGASTE CORROSIVO-CAVITATIVO-EROSIVO DE UM
AÇO-CARBONO EM MEIO AQUOSO COM FRAÇÕES DE
SAL (NaCl), CO₂ E PARTICULADOS SÓLIDOS (SiO₂)**

FERNANDO NUNES DA SILVA

NATAL/RN, 27 DE AGOSTO DE 2012.

FERNANDO NUNES DA SILVA

**DESGASTE CORROSIVO-CAVITATIVO-EROSIVO DE UM
AÇO-CARBONO EM MEIO AQUOSO COM FRAÇÕES DE
SAL (NaCl), CO₂ E PARTICULADOS SÓLIDOS (SiO₂)**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal do Rio
Grande do Norte como parte dos
requisitos para a obtenção do
Título de Mestre em Engenharia
Mecânica.

Área de Concentração: Tecnologia de Materiais

Orientador: Prof. Dr. João Telésforo Nóbrega de Medeiros

Co-orientador: Prof. Dr. Djalma Ribeiro da Silva

**Natal
2012**

Seção de Informação e Referência

Catalogação da Publicação na Fonte. UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede

Nunes da Silva, Fernando

Desgaste corrosivo-cavitativo-erosivo de um aço-carbono em meio aquoso com frações de sal (NaCl), CO₂ e particulados sólidos (SiO₂) / Fernando Nunes da Silva. – Natal, RN, 2012.

208 f. : il.

Orientador: João Telésforo Nóbrega de Medeiros.
Co-orientador: Djalma Ribeiro da Silva.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia Industrial. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

1. Triboquímica – Dissertação. 2. Corrosão – Dissertação. 3. Aço – Dissertação. 4. Desgaste – Dissertação. 5. Erosão – Dissertação. 6. Cavitação – Dissertação. I. Medeiros, João Telésforo Nóbrega de. II. Silva, Djalma Ribeiro da. III. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. IV. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 621:620.19

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**DESGASTE CORROSIVO-CAVITATIVO-EROSIVO DE UM AÇO-CARBONO EM
MEIO AQUOSO COM FRAÇÕES DE SAL (NaCl), CO₂ E PARTICULADOS
SÓLIDOS (SiO₂)**

FERNANDO NUNES DA SILVA

**Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA
sendo aprovada em sua forma final.**

Prof. Dr. João Telésforo Nóbrega de Medeiros – Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. João Telésforo Nóbrega de Medeiros - Presidente

Prof. Dr. Djalma Ribeiro da Silva – IQ/UFRN

Prof. Dr. Ademir Oliveira da Silva – IQ/UFRN – Examinador Interno

Prof. Dr. Roberto Silva de Sousa – IFRN – Examinador Externo

Prof. Dr. Marcello Filgueira – UENF – Examinador Externo

NATAL/RN, AGOSTO DE 2012.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Jesus Cristo.

Aos meus pais, Joaquina Nunes da Silva e Antônio Francisco da Silva, que sempre me apoiaram e fizeram o possível e o impossível para que eu chegasse até aqui. Aos meus irmãos: Ajosenildo, Juvanete, Ivanildo, Janete e Daniel; e familiares pelo carinho e confiança.

Aos meus orientadores e amigos, Prof. João Telésforo e Prof. Djalma Ribeiro, que muito me ensinaram contribuindo para o meu crescimento científico e intelectual. Obrigado pelo voto de confiança a mim depositado durante o Mestrado.

Aos Prof. Ademir, Prof. Marcello e Prof. Roberto, pelas arguições e contribuições dadas a este trabalho.

Ao Núcleo de Estudos em Petróleo e Energias Renováveis (NUP-ER), pela infraestrutura concedida para realização da pesquisa.

Ao CENPES/PETROBRAS pelos investimentos em infraestrutura no NUP-ER; e ao CNPq pela concessão da bolsa através do Edital - Mest/Dout MCT/CNPq nº 70/2009.

Aos meus amigos Jardel Dantas, Juliana Ricardo, Eugênio Teixeira, Fabiana Fernandes, Plínio Melo, Weldson Santana e Aline Cristina, que acompanharam bem de perto a execução deste trabalho; pela cooperação, apoio, paciência e discussões enriquecedoras.

Aos meus amigos do GET: Valdicleide, Christiano, D. Délia, Marcinha, Prof. Efrain, Prof. Salete, Prof. Manoel, Prof. Roberto Fernandes, João Flávio, Mariana, Jarbas, Prof. Moisés, Ruy, Mayara, Nelson, Luiza, Luis Henrique.

Aos meus amigos do NUP-ER/NUPPRAR: D. Nireide, Rakel, D. Graça, Sr. Otaciano, Tarcila, Izabel, Prof. Tereza, Prof. Carlos Martinez, Raphael, Pablo, Rina, Emily, Shirley.

Aos meus amigos do LabPlasma: Danilo Cavalcante, Quinzinho e Prof. Clodomiro, pela realização das medidas de Microdureza.

E a todas as outras pessoas não citadas aqui, mas que de uma maneira singela contribuíram para mais esta etapa vencida em minha vida.

RESUMO

NUNES DA SILVA, F. – Desgaste Corrosivo-Cavitativo-Erosivo de um Aço-carbono em Meio Aquoso com Frações de Sal (NaCl), CO₂ e Particulados Sólidos (SiO₂)

Um lote de oitenta e quatro corpos-de-prova (CP) de aço AISI 1018 foi investigado em laboratório sob solicitações corrosivas, cavitativo-corrosivas (CO₂) e erosivo-corrosivas (SiO₂+CO₂) em meio aquoso salino e a duas temperaturas. Foram realizados ensaios de microdureza Vickers a três níveis de subsuperfície (HV_{0,05}, HV_{0,10}, HV_{0,20}). Um fluxo agitado colidiu contra os CPs, em todas as condições de ensaio, *sem* e *com* agitação mecânica e borbulhamento de gás, *sem* e *com* contaminação do fluido por partículas sólidas de SiO₂, nas duas temperaturas estudadas. A rugosidade e ondulação superficial, nas condições “*como recebidos*”, “*após usinagem*” e “*após desgastados*”, bem como medições gravimétricas e eletroquímicas foram realizadas em duas geratrizes opostas de cada corpo-de-prova, a montante (0°) e a jusante (180°), através das técnicas de perfilometria, variação mássica e resistência de polarização linear (RPL). Os resultados da microdureza e da textura superficial em todos CPs foram submetidos à comparação estatística, utilizando-se o *software Statgraphics® Centurion XVI* e, com 95% de certeza estatística, diferenças significativas foram observadas em alguns grupos de medidas. As medidas das taxas de desgaste corrosivo, por RPL e por variação mássica, demonstraram serem sensíveis à presença de bolhas e às flutuações hidrodinâmicas no interior da célula, consideradas a temperatura e a contaminação do fluido corrosivo por partículas sólidas. Apresentam-se, também, os principais resultados da inspeção visual em que se evidenciam algumas topologias do dano superficial nas geratrizes a 0° e a 180°, envolvendo diferentes mecanismos que foram presenciados, para justificar algumas flutuações nas taxas de desgaste do aço em estudo.

Palavras-chave: Triboquímica, Corrosão, Aço, CO₂, Desgaste, Erosão, Cavitação, Escoamento Couette-Taylor, Resistência de Polarização Linear, Textura Superficial

ABSTRACT

NUNES DA SILVA, F. – Corrosive-Cavitative-Erosive Wear of a Carbon Steel in Aqueous Medium with Salt (NaCl), CO₂ and Solid Particulates (SiO₂) Fractions

A batch of eighty-four coupons of low carbon steel were investigated at laboratory conditions under a corrosive, cavitative-corrosive (CO₂) and corrosive-erosive (SiO₂ + CO₂) in an aqueous salt solution and two levels of temperature. The following measurements were made on Vickers (HV_{0,05}, HV_{0,10}, HV_{0,20}) Microhardness tests at three levels of subsurface layer. A turbulent flow collided on the cylindrical sample, *with* and *without* mechanical stirring and gas bubbling, *with* and *without* fluid contamination by solid particles of SiO₂, at two temperatures. Surface Roughness and Waviness, under two conditions "*as received, after machining*" and "*after worn out*", as well as gravimetric and electrochemical parameter were measured on the two opposite generatrices of each cylindrical sample, on the flow upstream (0°) and downstream (180°) by Profilometry, Mass Variation and Linear Polarization Resistance (LPR). The results of the Microhardness and Surface Texture of all coupons were subjected to statistical comparison, using the software Statgraphics® Centurion XVI, 95% statistical certainty, and significant differences were observed in some arrays of measurements. The corrosive wear rate measured by LPR and mass variation shown to be sensitive to the presence of bubbles and hydrodynamic fluctuations inside the cell, considering the temperature and contamination of corrosive fluid by solid particles. The main results of visual inspection relative to some topologies of the surface damages involving different mechanisms that were seen to give explanation for some fluctuations in wear rates of the steel experimentally investigated.

Key-words: Tribochemistry, Corrosion, Steel, CO₂, Wear, Erosion, Cavitation, Couette-Taylor Flow, Linear Polarization Resistance, Surface Texture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Possíveis interações entre corrosão e os vários mecanismos de desgaste (adaptada de WOOD, 2007).....	4
Figura 2.2 – Diagrama mostrando as forças que podem atuar sobre uma partícula em contato com uma superfície sólida (adaptada de HUTCHINGS, 1992).....	7
Figura 2.3 – Representação esquemática da ação erosiva de uma partícula (adaptada de SILVA, 2008).....	8
Figura 2.4 – Representação esquemática do efeito do ângulo de impacto na taxa de desgaste de materiais dúcteis e frágeis (adaptada de STACHOWIAK e BATCHELOR, 2006).	9
Figura 2.5 – (a) microcorte e/ou microsulcamento – baixos ângulos de incidência; (b) fadiga – altos ângulos e baixa velocidade, (c) deformação plástica – alto ângulo e média velocidade e (d) fratura frágil (adaptada de STACHOWIAK e BATCHELOR, 2006).....	10
Figura 2.6 – Remoção ou fratura de filmes passivados depende do ângulo de impacto das partículas (adaptada de WOOD, 2007).....	11
Figura 2.7 – Taxa de corrosão do aço em função do pH para algumas velocidades de fluxo (adaptada de ALTOÉ, 1998).....	15
Figura 2.8 – Diagrama de Pourbaix para o sistema Fe-H ₂ O-CO ₂ a 51 °C, com valores diferentes de atividade iônica, mostrando a região do FeCO ₃ (adaptada de MISHRA <i>et al.</i> , 1993 <i>apud</i> TÁVORA, 2007).....	16
Figura 2.9 – Taxa de corrosão em função da temperatura e da pCO ₂ (adaptada de ALTOÉ, 1998)	18
Figura 2.10 – Monograma da corrosão pelo CO ₂ (adaptada de ALTOÉ, 1998)	25
Figura 2.11 – Diagrama ilustrativo das possíveis regiões de interação erosiva-corrosiva em diferentes regimes de escoamento (adaptada de WOOD, 2006).	27
Figura 2.12 – Mecanismo de desgaste corrosivo de sistemas metálicos revestidos tipo 1 (adaptada de WOOD, 2007).....	28
Figura 2.13 – Mecanismo de desgaste corrosivo de sistemas metálicos revestidos tipo 2 (adaptada de WOOD, 2007).....	28
Figura 2.14 – Mecanismo de desgaste corrosivo de sistemas metálicos revestidos tipo 3 (adaptada de WOOD, 2007).....	28
Figura 2.15 – Mecanismos de remoção de filme mecanicamente proposto: (a) separação a partir do substrato, (b) trinca vertical, (c) abertura e alargamento da trinca e (d) destacamento do filme (adaptada de RUZIC <i>et al.</i> 2006).	30
Figura 2.16 – Mapa de desgaste erosivo-corrosivo (perda de material eletroquímica <i>versus</i> perda de material mecânica) para o aço carbono AISI 1020 não revestido,	

para o mesmo aço revestido pela liga NAB, depositada por HVOF, e também para liga NAB fundida (CAST NAB); todos em condições de jato de impacto com 2% de areia em água do mar (adaptada de WOOD, 2007).....35

Figura 2.17 – Curvas que representam a erosão por cavitação segundo a norma ASTM G32 – 10. Em (a) tem-se características dos estágios da taxa de erosão cavitacional com o tempo; e em (b) parâmetros da curva de erosão por cavitação acumulada com o tempo, A → tempo nominal de incubação, tangente B → taxa máxima de erosão, tangente C → taxa terminal de erosão, e D → intercepto da linha terminal.....38

Figura 2.18 – Curvas de Tafel com extrapolações (adaptada de WOLYNEC, 2003)41

Figura 3.1 – Imagem de um dos corpos de prova e/ou eletrodos de trabalho em aço carbono 1018.43

Figura 3.2 – Imagem de um dos contra eletrodos e/ou eletrodos de referência em aço inoxidável 304 L.....44

Figura 3.3 – Geometria e dimensões dos corpos de prova utilizados nos ensaios de variação de massa e dos eletrodos da sonda RPL (adaptada do catálogo METAL SAMPLES, 2005).44

Figura 3.4 – Imagem mostrando a célula montada com todos seus componentes e a vista isométrica da parte superior da célula (tampa). Em verde tem-se a sonda retrátil para medidas de taxa de corrosão por RPL e em amarelo o provador de variação mássica.45

Figura 3.5 – Vista da parte superior da célula (tampa) mostrando a posição de cada componente.....45

Figura 3.6 – Vista interna da célula mostrando o posicionamento dos componentes internamente e o sentido do fluxo dentro da célula.46

Figura 3.7 – Difrátograma do particulado evidenciando a presença do quartzo (SiO_2).....48

Figura 3.8 – Distribuição granulométrica do particulado (SiO_2). Diâmetro Médio = $264 \pm 8 \mu\text{m}$48

Figura 3.9 – Imagem esquemática, mostrando a posição do copo de prova em relação ao fluxo do fluido dentro da célula (adaptada do site www.feng.pucrs.br, 2012)50

Figura 3.10 – Figura esquemática mostrando como foram realizadas as medições de microdureza Vickers nas geratrizes dos C.P.'s.53

Figura 3.11 – Micrografia (100x) mostrando a superfície de uma das amostras, não ensaiada, logo após o ensaio de microdureza Vickers.53

Figura 3.12 – Esquema mostrando como foram realizadas as medições de rugosidade e ondulação superficial nas geratrizes dos C.P.'s.54

Figura 4.1 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição SAM a $30 \pm 3^\circ\text{C}$	56
Figura 4.2 – (a) Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição SAM a $70 \pm 3^\circ\text{C}$ e (b) bolhas ancoradas na superfície dos eletrodos após saturação de gás.....	57
Figura 4.3 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição SAM a $70 \pm 3^\circ\text{C}$, repetição.....	58
Figura 4.4 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição DC a $30 \pm 3^\circ\text{C}$	59
Figura 4.5 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição DC a $70 \pm 3^\circ\text{C}$	60
Figura 4.6 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição DC a $70 \pm 3^\circ\text{C}$, repetição.....	60
Figura 4.7 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição DEC a $30 \pm 3^\circ\text{C}$	60
Figura 4.8 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição DEC a $70 \pm 3^\circ\text{C}$	61
Figura 4.9 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição DEC a $70 \pm 3^\circ\text{C}$, repetição.....	62
Figura 4.10 – Comparação da (a) dispersão das medidas e (b) média de microdureza nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.....	63
Figura 4.11 – Esboço esquemático das Cascas cilíndricas submetidas à ação da indentação através de Microdureza Vickers.....	63
Figura 4.12 – Comparação da (a) dispersão das medidas e (b) média de microdureza nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM30.....	64
Figura 4.13 – Comparação da (a) dispersão das medidas e (b) média de microdureza nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM70.....	65
Figura 4.14 – Comparação da (a) dispersão das medidas e (b) média de microdureza nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DC70.	66
Figura 4.15 – Comparação da (a) dispersão das medidas e (b) média de microdureza nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DEC70.....	68
Figura 4.16 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Ra para um C.P. não ensaiado.	69
Figura 4.17 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rq para um C.P. não ensaiado.	70
Figura 4.18 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas ondulação superficial Wa para um C.P. não ensaiado.	70
Figura 4.19 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas ondulação superficial Wq para um C.P. não ensaiado.	71

Figura 4.20 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas ondulação superficial W_z para um C.P. não ensaiado.....	71
Figura 4.21 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_a para um C.P. sob a condição SAM30.....	72
Figura 4.22 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_q para um C.P. sob a condição SAM30.....	72
Figura 4.23 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_q para um C.P. sob a condição SAM30.....	73
Figura 4.24 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_{sm} para um C.P. sob a condição SAM30.....	73
Figura 4.25 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial W_z para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	74
Figura 4.26 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial W_{sm} para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	74
Figura 4.27 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_a para um C.P. sob a condição SAM70.....	75
Figura 4.28 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_q para um C.P. sob a condição SAM70.....	75
Figura 4.29 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_z para um C.P. sob a condição SAM70.....	76
Figura 4.30 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_{sm} para um C.P. sob a condição SAM70.....	76
Figura 4.31 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_a para um C.P. sob a condição DC70.....	77
Figura 4.32 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_q para um C.P. sob a condição DC70.....	77
Figura 4.33 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_{sm} para um C.P. sob a condição DC70.....	78
Figura 4.34 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_a para um C.P. sob a condição DEC70.....	79
Figura 4.35 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_q para um C.P. sob a condição DEC70.....	79
Figura 4.36 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_z para um C.P. sob a condição DEC70.....	80
Figura 4.37 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_{sm} para um C.P. sob a condição DEC70.....	80
Figura 4.38 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial W_a para um C.P. na condição de desgaste DEC70.....	81

Figura 4.39 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial W_q para um C.P. na condição de desgaste DEC70.....	81
Figura 4.40 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial W_z para um C.P. na condição de desgaste DEC70.....	82
Figura 4.41 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial W_{sm} para um C.P. na condição de desgaste DEC70.....	82
Figura 4.42 – Imagens mostrando a morfologia dos danos atuantes nas geratrizes 0° e 180° do C.P. para um ensaio de desgaste sem agitação mecânica e borbulhamento de gás a 30°C	83
Figura 4.43 – Imagens mostrando a morfologia dos danos atuantes nas geratrizes 0° e 180° do C.P. para um ensaio de desgaste sem agitação mecânica e borbulhamento de gás a 70°C	84
Figura 4.44 – Imagens mostrando a morfologia dos danos atuantes nas geratrizes 0° e 180° do C.P. para um ensaio de desgaste corrosivo-cavitativo a 70°C	85
Figura 4.45 – Imagens mostrando a morfologia dos danos atuantes nas geratrizes 0° e 180° do C.P. para um ensaio de desgaste erosivo-corrosivo a 70°C	86
Figura A.1 – Gráficos de medidas por RPL para as condições DC, DE e DEC a $30\pm^3^\circ\text{C}$	97
Figura A.2 – Gráficos de medidas por RPL para as condições DC1, DE1 e DEC1 a $30\pm^3^\circ\text{C}$ (Repetição 1).....	98
Figura A.3 – Gráficos de medidas por RPL para as condições DC2, DE2 e DEC2 a $30\pm^3^\circ\text{C}$ (Repetição 2).....	99
Figura A.4 – Gráficos de medidas por RPL para as condições DE, DE1 e DE2 a $30\pm^3^\circ\text{C}$; e para DE a $70\pm^3^\circ\text{C}$	100
Figura A.5 – Microdureza Vickers para os primeiros ensaios nas condições DC, DE e DEC; medições realizadas em apenas uma geratriz dos C.P.'s.	102
Figura A.6 – Microdureza Vickers para o ensaio na condição DC2; medições realizadas em duas geratrizes do C.P. a 0° e a 180°	103
Figura A.7 – Microdureza Vickers para o ensaio na condição DE2; medições realizadas nas quatro geratrizes do C.P. a 0° , 180° , 90° e 270°	104
Figura A.8 – Microdureza Vickers para o ensaio na condição DEC2; medições realizadas em duas geratrizes dos C.P. a 0° e a 180°	105
Figura A.9 – Imagens mostrando a morfologia dos danos atuantes nas geratrizes 0° e 180° do C.P. para um ensaio de desgaste corrosivo-cavitativo.	107
Figura A.10 – Imagens mostrando a morfologia dos danos atuantes nas geratrizes 0° e 180° do C.P. para um ensaio de desgaste erosivo.	108
Figura A.11 – Imagens mostrando a morfologia dos danos atuantes nas geratrizes 0° e 180° do C.P. para um ensaio de desgaste erosivo-corrosivo.	109

Figura C.1 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rz para um C.P. não ensaiado.	132
Figura C.2 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rsm para um C.P. não ensaiado.	134
Figura C.3 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rz para um C.P. sob a condição DC70.....	146
Figura D.1 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas ondulação superficial Wsm para um C.P. não ensaiado.....	156
Figura D.2 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wa para um C.P. na condição de desgaste SAM30.	158
Figura D.3 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wq para um C.P. na condição de desgaste SAM30.	160
Figura D.4 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wa para um C.P. na condição de desgaste SAM70.	164
Figura D.5 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wq para um C.P. na condição de desgaste SAM70.	166
Figura D.6 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wz para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	168
Figura D.7 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wsm para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	170
Figura D.8 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wa para um C.P. na condição de desgaste DC70.....	172
Figura D.9 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wq para um C.P. na condição de desgaste DC70.....	174
Figura D.10 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wz para um C.P. na condição de desgaste DC70.	176
Figura D.11 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wsm para um C.P. na condição de desgaste DC70.	178

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Resultados (máx e mín) de microdureza Vickers e dos parâmetros de rugosidade superficial das geratrizes a montante (0°) e a jusante (180°) de um corpo de prova não ensaiado.....	55
Quadro B.1 – Resumo estatístico das medidas de Microdureza Vickers (HV) com cargas de 50g, 100g e 200g aplicadas às geratrizes 0° e 180° nas zonas A, B e C do C.P. não ensaiado.....	110
Quadro B.2 – Resultado da ANOVA das medidas de Microdureza Vickers para um C.P. não ensaiado.....	110
Quadro B.3 – Grupos homogêneos das medidas de microdureza Vickers para um C.P. não ensaiado.....	110
Quadro B.4 – Comparação das séries de medidas de microdureza Vickers, nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.....	111
Quadro B.5 – Resumo estatístico das medidas de Microdureza Vickers (HV) com cargas de 50g, 100g e 200g aplicadas às geratrizes 0° e 180° nas zonas A, B e C do C.P. na condição de desgaste SAM30.....	114
Quadro B.6 – Resultado da ANOVA das medidas de Microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	114
Quadro B.7 – Grupos homogêneos das medidas de microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	114
Quadro B.8 – Comparação das séries de medidas de microdureza Vickers, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM30.....	115
Quadro B.9 – Resumo estatístico das medidas de Microdureza Vickers (HV) com cargas de 50g, 100g e 200g aplicadas às geratrizes 0° e 180° nas zonas A, B e C do C.P. na condição de desgaste SAM70.....	118
Quadro B.10 – Resultado da ANOVA das medidas de Microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	118
Quadro B.11 – Grupos homogêneos das medidas de microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	118
Quadro B.12 – Comparação das séries de medidas de microdureza Vickers, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM70.....	119
Quadro B.13 – Resumo estatístico das medidas de Microdureza Vickers (HV) com cargas de 50g, 100g e 200g aplicadas às geratrizes 0° e 180° nas zonas A, B e C do C.P. na condição de desgaste DC70.....	122
Quadro B.14 – Resultado da ANOVA das medidas de Microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste DC70.....	122

Quadro B.15 – Grupos homogêneos das medidas de microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste DC70.	122
Quadro B.16 – Comparação das séries de medidas de microdureza Vickers, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DC70.....	123
Quadro B.17 – Resumo estatístico das medidas de Microdureza Vickers (HV) com cargas de 50g, 100g e 200g aplicadas às geratrizes 0° e 180° nas zonas A, B e C do C.P. na condição de desgaste DEC70.	126
Quadro B.18 – Resultado da ANOVA das medidas de Microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste DEC70.	126
Quadro B.19 – Grupos homogêneos das medidas de microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste DEC70.	126
Quadro B.20 – Comparação das séries de medidas de microdureza Vickers, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DEC70.	127
Quadro C.1 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Ra) para um C.P. não ensaiado.	129
Quadro C.2 – Resultado da ANOVA das medidas de Ra para um C.P. não ensaiado.	129
Quadro C.3 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Ra para um C.P. não ensaiado.	129
Quadro C.4 – Comparação das séries de rugosidade superficial Ra, nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.	129
Quadro C.5 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rq) para um C.P. não ensaiado.	130
Quadro C.6 – Resultado da ANOVA das medidas de Rq para um C.P. não ensaiado.	130
Quadro C.7 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rq para um C.P. não ensaiado.	130
Quadro C.8 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rq, nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.	130
Quadro C.9 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rz) para um C.P. não ensaiado.	131
Quadro C.10 – Resultado da ANOVA das medidas de Rq para um C.P. não ensaiado.	131
Quadro C.11 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rq para um C.P. não ensaiado.	132
Quadro C.12 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rq, nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.	132

Quadro C.13 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rsm) para um C.P. não ensaiado.....	133
Quadro C.14 – Resultado da ANOVA das medidas de Rz para um C.P. não ensaiado.....	133
Quadro C.15 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rsm para um C.P. não ensaiado.	134
Quadro C.16 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rsm, nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.....	134
Quadro C.17 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Ra) para um C.P. na condição de ensaio SAM30.....	135
Quadro C.18 – Resultado da ANOVA das medidas de Ra para um C.P. que foi submetido a condição SAM30.....	135
Quadro C.19 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Ra para um C.P. na condição de ensaio SAM30.....	135
Quadro C.20 – Comparação das séries de rugosidade superficial Ra, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM30.....	135
Quadro C.21 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rq) para um C.P. na condição de ensaio SAM30.....	136
Quadro C.22 – Resultado da ANOVA das medidas de Rq para um C.P. que foi submetido a condição SAM30.....	136
Quadro C.23 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rq para um C.P. na condição de ensaio SAM30.....	136
Quadro C.24 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rq, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM30.....	136
Quadro C.25 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rz) para um C.P. na condição de ensaio SAM30.....	137
Quadro C.26 – Resultado da ANOVA das medidas de Rz para um C.P. que foi submetido a condição SAM30.....	137
Quadro C.27 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rz para um C.P. na condição de ensaio SAM30.....	137
Quadro C.28 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rz, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM30.....	137
Quadro C.29 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rsm) para um C.P. na condição de ensaio SAM30.....	138
Quadro C.30 – Resultado da ANOVA das medidas de Rsm para um C.P. que foi submetido a condição SAM30.....	138
Quadro C.31 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rsm para um C.P. na condição de ensaio SAM30.	138

Quadro C.32 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rsm, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM30.....	138
Quadro C.33 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Ra) para um C.P. na condição de ensaio SAM70.....	139
Quadro C.34 – Resultado da ANOVA das medidas de Ra para um C.P. que foi submetido a condição SAM70.....	139
Quadro C.35 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Ra para um C.P. na condição de ensaio SAM70.....	139
Quadro C.36 – Comparação das séries de rugosidade superficial Ra, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM70.....	139
Quadro C.37 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rq) para um C.P. na condição de ensaio SAM70.....	140
Quadro C.38 – Resultado da ANOVA das medidas de Rq para um C.P. que foi submetido a condição SAM70.....	140
Quadro C.39 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rq para um C.P. na condição de ensaio SAM70.....	140
Quadro C.40 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rq, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM70.....	140
Quadro C.41 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rz) para um C.P. na condição de ensaio SAM70.....	141
Quadro C.42 – Resultado da ANOVA das medidas de Rz para um C.P. que foi submetido a condição SAM70.....	141
Quadro C.43 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rz para um C.P. na condição de ensaio SAM70.....	141
Quadro C.44 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rz, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM70.....	141
Quadro C.45 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rsm) para um C.P. na condição de ensaio SAM70.....	142
Quadro C.46 – Resultado da ANOVA das medidas de Rsm para um C.P. que foi submetido a condição SAM70.....	142
Quadro C.47 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rsm para um C.P. na condição de ensaio SAM70.	142
Quadro C.48 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rsm, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM70.....	142
Quadro C.49 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Ra) para um C.P. na condição de ensaio DC70.	143
Quadro C.50 – Resultado da ANOVA das medidas de Ra para um C.P. que foi submetido a condição DC70.	143

Quadro C.51 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Ra para um C.P. na condição de ensaio DC70.	143
Quadro C.52 – Comparação das séries de rugosidade superficial Ra, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DC70.	143
Quadro C.53 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rq) para um C.P. na condição de ensaio DC70.	144
Quadro C.54 – Resultado da ANOVA das medidas de Rq para um C.P. que foi submetido a condição DC70.	144
Quadro C.55 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rq para um C.P. na condição de ensaio DC70.	144
Quadro C.56 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rq, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DC70.	144
Quadro C.57 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rz) para um C.P. na condição de ensaio DC70.	145
Quadro C.58 – Resultado da ANOVA das medidas de Rz para um C.P. que foi submetido a condição DC70.	145
Quadro C.59 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rz para um C.P. na condição de ensaio DC70.	146
Quadro C.60 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rz, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DC70.	146
Quadro C.61 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rsm) para um C.P. na condição de ensaio DC70.	147
Quadro C.62 – Resultado da ANOVA das medidas de Rsm para um C.P. que foi submetido a condição DC70.	147
Quadro C.63 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rsm para um C.P. na condição de ensaio DC70.	147
Quadro C.64 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rsm, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DC70.	147
Quadro C.65 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Ra) para um C.P. na condição de ensaio DEC70.	148
Quadro C.66 – Resultado da ANOVA das medidas de Ra para um C.P. que foi submetido a condição DEC70.	148
Quadro C.67 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Ra para um C.P. na condição de ensaio DEC70.	148
Quadro C.68 – Comparação das séries de rugosidade superficial Ra, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DEC70.	148
Quadro C.69 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rq) para um C.P. na condição de ensaio DEC70.	149

Quadro C.70 – Resultado da ANOVA das medidas de R_q para um C.P. que foi submetido a condição DEC70.....	149
Quadro C.71 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial R_q para um C.P. na condição de ensaio DEC70.....	149
Quadro C.72 – Comparação das séries de rugosidade superficial R_q , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DEC70.....	149
Quadro C.73 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (R_z) para um C.P. na condição de ensaio DEC70.....	150
Quadro C.74 – Resultado da ANOVA das medidas de R_z para um C.P. que foi submetido a condição DEC70.....	150
Quadro C.75 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial R_z para um C.P. na condição de ensaio DEC70.....	150
Quadro C.76 – Comparação das séries de rugosidade superficial R_z , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DEC70.....	150
Quadro C.77 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (R_{sm}) para um C.P. na condição de ensaio DEC70.....	151
Quadro C.78 – Resultado da ANOVA das medidas de R_{sm} para um C.P. que foi submetido a condição DEC70.....	151
Quadro C.79 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial R_{sm} para um C.P. na condição de ensaio DEC70.....	151
Quadro C.80 – Comparação das séries de rugosidade superficial R_{sm} , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DEC70.....	151
Quadro D.1 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_a) para um C.P. não ensaiado.....	152
Quadro D.2 – Resultado da ANOVA das medidas de W_a para um C.P. não ensaiado.....	152
Quadro D.3 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_a para um C.P. não ensaiado.....	152
Quadro D.4 – Comparação das séries de ondulação superficial W_a , nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.....	152
Quadro D.5 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_q) para um C.P. não ensaiado.....	153
Quadro D.6 – Resultado da ANOVA das medidas de W_q para um C.P. não ensaiado.....	153
Quadro D.7 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_q para um C.P. não ensaiado.....	153
Quadro D.8 – Comparação das séries de ondulação superficial W_q , nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.....	153

Quadro D.9 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_z) para um C.P. não ensaiado.....	154
Quadro D.10 – Resultado da ANOVA das medidas de W_z para um C.P. não ensaiado.....	154
Quadro D.11 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_z para um C.P. não ensaiado.....	154
Quadro D.12 – Comparação das séries de ondulação superficial W_z , nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.....	154
Quadro D.13 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_{sm}) para um C.P. não ensaiado.....	155
Quadro D.14 – Resultado da ANOVA das medidas de W_{sm} para um C.P. não ensaiado.....	155
Quadro D.15 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_{sm} para um C.P. não ensaiado.....	156
Quadro D.16 – Comparação das séries de ondulação superficial W_{sm} , nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.....	156
Quadro D.17 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_a) para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	157
Quadro D.18 – Resultado da ANOVA das medidas de W_a para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	157
Quadro D.19 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_a para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	158
Quadro D.20 – Comparação das séries de ondulação superficial W_a , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM30.....	158
Quadro D.21 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_q) para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	159
Quadro D.22 – Resultado da ANOVA das medidas de W_q para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	159
Quadro D.23 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_q para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	160
Quadro D.24 – Comparação das séries de ondulação superficial W_q , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM30.....	160
Quadro D.25 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_z) para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	161
Quadro D.26 – Resultado da ANOVA das medidas de W_z para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	161
Quadro D.27 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_z para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	161

Quadro D.28 – Comparação das séries de ondulação superficial W_z , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM30.....	161
Quadro D.29 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_{sm}) para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	162
Quadro D.30 – Resultado da ANOVA das medidas de W_{sm} para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	162
Quadro D.31 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_{sm} para um C.P. na condição de desgaste SAM30.....	162
Quadro D.32 – Comparação das séries de ondulação superficial W_{sm} , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM30.....	162
Quadro D.33 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_a) para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	163
Quadro D.34 – Resultado da ANOVA das medidas de W_a para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	163
Quadro D.35 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_a para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	164
Quadro D.36 – Comparação das séries de ondulação superficial W_a , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM70.....	164
Quadro D.37 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_q) para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	165
Quadro D.38 – Resultado da ANOVA das medidas de W_q para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	165
Quadro D.39 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_q para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	166
Quadro D.40 – Comparação das séries de ondulação superficial W_q , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM70.....	166
Quadro D.41 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_z) para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	167
Quadro D.42 – Resultado da ANOVA das medidas de W_z para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	167
Quadro D.43 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_z para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	168
Quadro D.44 – Comparação das séries de ondulação superficial W_z , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM70.....	168
Quadro D.45 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_{sm}) para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	169
Quadro D.46 – Resultado da ANOVA das medidas de W_{sm} para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	169

Quadro D.47 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_{sm} para um C.P. na condição de desgaste SAM70.....	170
Quadro D.48 – Comparação das séries de ondulação superficial W_{sm} , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM70.....	170
Quadro D.49 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_a) para um C.P. na condição de desgaste DC70.	171
Quadro D.50 – Resultado da ANOVA das medidas de W_a para um C.P. na condição de desgaste DC70.....	171
Quadro D.51 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_a para um C.P. na condição de desgaste DC70.	172
Quadro D.52 – Comparação das séries de ondulação superficial W_a , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DC70.....	172
Quadro D.53 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_q) para um C.P. na condição de desgaste DC70.	173
Quadro D.54 – Resultado da ANOVA das medidas de W_q para um C.P. na condição de desgaste DC70.....	173
Quadro D.55 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_q para um C.P. na condição de desgaste DC70.	174
Quadro D.56 – Comparação das séries de ondulação superficial W_q , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DC70.....	174
Quadro D.57 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_z) para um C.P. na condição de desgaste DC70.	175
Quadro D.58 – Resultado da ANOVA das medidas de W_z para um C.P. na condição de desgaste DC70.....	175
Quadro D.59 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_z para um C.P. na condição de desgaste DC70.	176
Quadro D.60 – Comparação das séries de ondulação superficial W_z , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DC70.....	176
Quadro D.61 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_{sm}) para um C.P. na condição de desgaste DC70.	177
Quadro D.62 – Resultado da ANOVA das medidas de W_{sm} para um C.P. na condição de desgaste DC70.	177
Quadro D.63 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_{sm} para um C.P. na condição de desgaste DC70.	178
Quadro D.64 – Comparação das séries de ondulação superficial W_{sm} , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DC70.....	178
Quadro D.65 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_a) para um C.P. na condição de desgaste DEC70.	179

Quadro D.66 – Resultado da ANOVA das medidas de W_a para um C.P. na condição de desgaste DEC70.	179
Quadro D.67 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_a para um C.P. na condição de desgaste DEC70.	179
Quadro D.68 – Comparação das séries de ondulação superficial W_a , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DEC70.	179
Quadro D.69 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_q) para um C.P. na condição de desgaste DEC70.	180
Quadro D.70 – Resultado da ANOVA das medidas de W_q para um C.P. na condição de desgaste DEC70.	180
Quadro D.71 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_q para um C.P. na condição de desgaste DEC70.	180
Quadro D.72 – Comparação das séries de ondulação superficial W_q , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DEC70.	180
Quadro D.73 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_z) para um C.P. na condição de desgaste DEC70.	181
Quadro D.74 – Resultado da ANOVA das medidas de W_z para um C.P. na condição de desgaste DEC70.	181
Quadro D.75 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_z para um C.P. na condição de desgaste DEC70.	181
Quadro D.76 – Comparação das séries de ondulação superficial W_z , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DEC70.	181
Quadro D.77 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (W_{sm}) para um C.P. na condição de desgaste DEC70.	182
Quadro D.78 – Resultado da ANOVA das medidas de W_{sm} para um C.P. na condição de desgaste DEC70.	182
Quadro D.79 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_{sm} para um C.P. na condição de desgaste DEC70.	182
Quadro D.80 – Comparação das séries de ondulação superficial W_{sm} , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DEC70.	182

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Resumo dos efeitos tribológicos sobre os fenômenos superfície/corrosão.....	5
Tabela 2.2 – Taxas de erosão por cavitação para alguns materiais selecionados (adaptada de CUPPARI, 2002).	39
Tabela 3.1 – Análise química do aço carbono AISI 1018 (Percentual em massa)....	43
Tabela 3.2 – Análise química do aço inoxidável 304 L (Percentual em massa).	44
Tabela 3.3 – Fluorescência de raios X do SiO ₂ (Percentual em massa).....	47
Tabela 3.4 – Análises realizadas em cada corpo de prova (C.P.).	50
Tabela 3.5 – Condições de desgaste dos ensaios e temperatura em que foram realizados.	50
Tabela 4.1 – Tabela das taxas de desgaste medidas por variação mássica após limpeza com banho ultrassônico ao final de cada ensaio.	62
Tabela A.1 – Tabela das taxas de desgaste medidas por variação mássica após decapagem química ao final de cada ensaio.	101
Tabela A.2 – Medidas de rugosidade média (Ra), rugosidade de profundidade média (Rz) e ondulação média (Wa); realizadas em apenas uma geratriz do C.P (µm). ..	106
Tabela A.3 – Medidas de rugosidade média (Ra), rugosidade de profundidade média (Rz) e ondulação média (Wa); realizadas em quatros geratrizes do C.P. (µm).	106

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	xiv
LISTA DE TABELAS	xxiv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Motivação.....	2
1.2 Objetivo geral	3
1.3 Objetivos específicos	3
1.4 Hipótese	3
2. REVISÃO DA LITERATURA	4
2.1 Tribocorrosão	4
2.2 Erosão por partículas sólidas	6
2.3 Corrosão pelo CO ₂	12
2.3.1 Mecanismos de corrosão pelo CO ₂	21
2.3.2 Taxa de corrosão pelo CO ₂	24
2.3.3 Produtos de corrosão formados pelo CO ₂	25
2.4 Erosão-corrosão.....	26
2.4.1 Mecanismos de remoção mecânica de filmes na erosão-corrosão (Taylor-Couette)	29
2.4.2 Sinergismos erosão-corrosão.....	30
2.4.3 Erosão-corrosão na indústria petrolífera	35
2.5 Cavitação	36
2.6 Resistência de polarização linear (RPL).....	39
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
3.1 Corpos de prova e eletrodos	43
3.2 Descrição do sistema de teste (Célula de ensaios triboquímicos)	44
3.3 Preparação do eletrólito	46
3.4 Particulado sólido (sílica – SiO ₂)	47
3.5 Procedimento de condicionamento (desengraxe) dos corpos de prova.....	48
3.6 Limpeza da célula e periféricos	49

3.7 Programação da MultiLog	49
3.8 Sequência dos ensaios triboquímicos	49
3.9 Determinação da taxa de desgaste por variação mássica (limpeza em banho ultrassônico)	52
3.10 Medições de microdureza Vickers (HV)	52
3.11 Medições de rugosidade e ondulação	54
3.12 Elaboração dos gráficos de taxa de corrosão por RPL	54
3.13 Caracterização superficial de um C.P. não ensaiado	55
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
4.1 RPL	56
4.2 Taxa de desgaste por variação mássica	62
4.3 Microdureza Vickers (HV).....	63
4.4 Rugosidade e ondulação.....	69
4.4.1 Corpo de prova não ensaiado	69
4.4.2 Ensaio SAM30.....	71
4.4.3 Ensaio SAM70.....	74
4.4.4 Ensaio DC70	76
4.4.5 Ensaio DEC70	78
4.5 Evidências dos diferentes mecanismos de desgaste atuantes nos C.P.'s	83
4.5.1 Ensaio SAM30.....	83
4.5.2 Ensaio SAM70.....	83
4.5.3 Ensaio DC70	84
4.5.4 Ensaio DEC70	85
5. CONCLUSÃO.....	87
SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
APÊNDICE A – Construindo a Hipótese: Ensaio Piloto (<i>Screening Tests</i>)	96
APÊNDICE B – Comparação dos Dados de Microdureza Vickers (<i>Statgraphics® Centurion XVI</i>).....	110
APÊNDICE C – Comparação dos Dados de Rugosidade Superficial (<i>Statgraphics® Centurion XVI</i>).....	129
APÊNDICE D – Comparação dos Dados de Ondulação Superficial (<i>Statgraphics® Centurion XVI</i>).....	152

1. INTRODUÇÃO

A primeira linha de dutos de que se tem registro no Brasil data de maio de 1942, com diâmetro de 2" e 1 km de extensão ligando a Refinaria Experimental de Aratu ao Porto de Santa Luzia, na Bahia, e que recebia o petróleo dos Saveiros-Tanques vindos dos campos de Itaparica e Joanes. Nessa época, os dutos eram feitos de cobre, e possuíam baixa resistência à corrosão (TERZIAN, 2005; COLOMBAROLI, 2009). Atualmente, segundo ANDRADE (2000), a extensa utilização de aço carbono na construção de dutos de transporte de petróleo é devido à sua alta resistência, baixo custo e facilidade de fabricação.

Em contrapartida, a grande susceptibilidade à corrosão do aço carbono, utilizado em equipamentos e dutos de transporte, faz com que seja necessário identificar e caracterizar os agentes corrosivos atuantes, controlá-los e monitorá-los ao longo do tempo. Falhas, por exemplo, devido ao sinergismo erosão-corrosão, em equipamentos e dutos podem acarretar em sérios problemas de integridade estrutural, danos ambientais e à imagem da companhia operadora, além de prejuízos relacionados à continuidade operacional (NÓBREGA *et al.*, 2002).

A corrosão interna em dutos pode ocorrer por diversos mecanismos. Normalmente, os tipos mais comuns de corrosão estão associados a agentes como o O₂, H₂S e CO₂, pelos seus ataques diretos ao metal em meio aquoso. Em alguns casos, esta corrosão pode ser acelerada ou induzida, caso existam condições para formação de células de concentração diferencial ou desenvolvimento de microrganismos, como as bactérias redutoras de sulfato (BRS) (FERREIRA, 1998).

Na produção de óleo e gás é comum, também, encontrar particulados sólidos (carbonato de cálcio, óxido de ferro, sílica e sulfeto de ferro) nos fluidos de produção e, em função da velocidade e das angulações do fluxo com a linha horizontal, essas partículas podem erodir as tubulações, válvulas e outros equipamentos de uma planta (SHADLEY *et al.*, 1996; GOMES, 2005). A ação erosiva de líquidos é aumentada pela presença de partículas sólidas (GENTIL, 2007).

A erosão é considerada um fenômeno puramente mecânico, em que o metal é removido ou destruído mecanicamente, sofrendo somente alterações físicas. Na erosão-corrosão ocorrem fenômenos físico-químicos, caracterizados por sua aparência sob a forma de sulcos, crateras, ondulações, furos arredondados e um sentido direcional de ataque. Em razão da própria ação de erosão, a superfície fica

isenta de possíveis produtos de corrosão, devido ao choque de partículas contidas no fluido (partículas sólidas em um líquido, gotas de líquido em um gás, partículas sólidas em um gás) na superfície sólida, como resultado de velocidades extremamente elevadas do fluido sobre a superfície (> 10 m/s). Todos os tipos de equipamentos expostos a fluidos em movimento, praticamente, estão sujeitos à erosão-corrosão, como no caso dos oleodutos (ANDRADE, 2000; GENTIL, 2007). O controle e gerenciamento do sinergismo erosão-corrosão são necessários à segurança operacional e à diminuição dos custos de produção.

O estudo do desgaste erosivo dos materiais em ambientes corrosivos tem recebido uma elevada atenção. Isto é devido à existência da chamada “sinergia” entre os processos. A soma total do dano sofrido pelo material devido aos processos agindo independentemente, não é igual à perda global quando estes atuam em conjunto, o que significa que os mecanismos de interação devem ser compreendidos e quantificados (STACK, 2002). Desta forma, dependendo do material do duto, se frágil ou dúctil, o sinergismo erosão-corrosão pode ocorrer mais intensamente em estrangulamentos ou em desvios de fluxos, como cotovelos, curvas e ejetores de vapor (SHADLEY *et al.*, 1996; GOMES, 2005).

O grande volume e a agressividade dos fluidos transportados em um sistema multifásico (petróleo, gás, água e particulados sólidos em suspensão) podem levar ao desgaste acelerado tanto por corrosão e erosão como também por cavitação em componentes usados no sistema de exploração de petróleo, por exemplo, nas unidades de bombeamento (SILVA, 2008).

1.1 Motivação

Os novos campos de produção petróleo, que se encontram na camada pré-sal, possuem uma concentração de CO₂ de 3 a 4 vezes maior que os campos maduros e fora do pré-sal. A presença deste gás é um fator crítico nestes reservatórios. Estudos realizados indicam que poços na região do pré-sal podem apresentar teores de CO₂ acima de 12%, e em alguns casos chegando a ultrapassar 30%, já campos fora do pré-sal possuem em média 3% gás carbônico.

1.2 Objetivo geral

Investigar o desgaste triboquímico de um aço similar ao usado em dutos de óleo e gás em meio aquoso salino, estacionário, ou não, em uma célula eletrolítica.

1.3 Objetivos específicos

- Realizar ensaios triboquímicos a duas temperaturas de ensaio;
- Caracterizar mecanismos e taxas de desgaste por corrosão, corrosão-erosão, corrosão-erosão-cavitação;
- Diferenciar estatisticamente a evolução das microdurezas e texturas dos C.P. de aço investigados.

1.4 Hipótese

Cilindros estacionários de aço, submetidos a um fluxo fluídico corrosivo, com ou sem a presença de particulados sólidos, apresentam mecanismos e taxas de desgaste diferentes entre as suas zonas a montante e a jusante desse escoamento.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O embasamento teórico para o desenvolvimento da dissertação é apresentado neste capítulo, sendo abordados temas, como a tribocorrosão, a erosão por partículas sólidas, a corrosão pelo CO₂, o desgaste erosivo-corrosivo, o desgaste por cavitação e os fundamentos da técnica de resistência de polarização linear, que é utilizada no monitoramento da corrosão em dutos.

2.1 Tribocorrosão

Tribocorrosão (*tribocorrosion*) é um termo que descreve a interação entre processos tribológicos e corrosão, ou seja, os mecanismos de corrosão e desgaste não atuam separadamente VIEIRA *et al.* (2012), mas sim dependem um do outro de uma forma bastante complexa em que a corrosão é acelerada pelo desgaste e o desgaste é afetado pela corrosão (MANHABOSCO *et al.*, 2009). Neste processo pode-se incluir o deslizamento ou desgaste abrasivo, erosão por particulados sólidos ou por escoamento de fluidos, ou cavitação (*cavitation*), *fretting* ou fadiga. Ambientes corrosivos podem ser complexos, podendo ser alternadamente secos ou molhados em condições aquosas, a temperatura ambiente (STACK, 2002).

Segundo WOOD (2007) a tribocorrosão inclui a interação da corrosão com: erosão por partículas sólidas, abrasão, erosão cavitação, *fretting*, soluções biológicas, desgaste por deslizamento (Figura 2.1) e tribo-oxidação. Neste trabalho espera-se a influência dos mecanismos de desgaste por cavitação, cavitação-erosão, partículas sólidas e fadiga, atuando na superfície dos corpos de prova.



Figura 2.1 – Possíveis interações entre corrosão e os vários mecanismos de desgaste (adaptada de WOOD, 2007).

Na Tabela 2.1, WOOD (2007) resumiu as possíveis respostas da superfície para uma variedade de condições de contato.

Tabela 2.1 – Resumo dos efeitos tribológicos sobre os fenômenos superfície/corrosão

Condições de contato	Resposta
<i>Carga de contato e geometria</i>	Tensão de contato e área de contato. Subsuperfície e superfície elástica ou elasto-plástica ou completamente plástica. Deflexão da superfície.
<i>Movimento relativo sob carga em ambiente corrosivo</i>	Despassivação induzida da superfície e liberação de íons primários. Efeitos do E_{corr} . Superfície induzida e transformação de fase próximo da superfície. Efeitos cinéticos de repassivação. Aumento do transporte de massa local, temperatura de contato, rugosidade e área da superfície de contato. Mudança na composição na camada superficial. Estabilidade de processo galvânico entre uma superfície usada e não usada. Indução por encruamento na tensão superficial. Afeta a resistência ao cisalhamento de junções aspereza/aspereza e contribuições adesivas para a força de atrito.
<i>Variando a aplicação da carga de contatos dinâmicos</i>	Potencial de corrosão livre. Densidade de corrente local. Número de áreas anódicas ativa e localização de sítios anódicos. Tempo de recobrimento da superfície. Alterar mecanismo de desgaste ou transição de força para taxas de perda mais/menos severa.
<i>Tribocorrosão</i>	Efeito do atrito. pH local do ambiente. Perda de massa total da superfície.
<i>Debris</i>	Geração de debris metálicos causa liberação de íons secundários como reação dos debris com ambiente.

Diversos autores estudaram o efeito de diferentes tipos de desgaste tribocorrosivo: STACK *et al.* (2010) estudaram a micro-abrasão-corrosão; SUN e HARUMAN (2011) os efeitos corrosivos em deslizamento unidirecional (usando um tribômetro pino-disco); e MANHABOSCO *et al.* (2009) o deslizamento relativo em meio corrosivo. STACK (2002) estudou o mecanismo erosivo-corrosivo, e abordou o desenvolvimento de mapas de desgaste em condições secas e aquosas.

De acordo com STACK (2002), houve um avanço significativo no estudo da tribocorrosão. Neste contexto, a erosão-corrosão tem recebido muita atenção, devido à crescente prevalência no processamento de minérios e na indústria de petróleo e gás. Mapas mecânicos de tais processos têm sido gerados, mostrando as transições entre os regimes tribocorrosivos, assim como a funcionalidade das variáveis tribológicas e corrosivas.

Para uma gama de aplicações industriais em que a tribocorrosão ocorre, há áreas significativas em que a aplicação de mapas teria um grande impacto. Por exemplo, a indústria de petróleo e gás possui cada vez mais problemas que são inevitáveis devido ao desgaste erosivo por partículas de areia em meio aquoso (STACK, 2002).

ZUM GAHR (1987) destaca seis diferentes tipos de erosão: (a) erosão por partículas sólidas em meio gasoso; (b) erosão por partículas sólidas em meio líquido; (c) erosão devido à ação de líquidos; (d) erosão-corrosão, (e) erosão por cavitação e (f) erosão térmica. SILVA (2008) ainda acrescenta que, cada tipo de erosão tem seu mecanismo particular e depende de condições específicas. A erosão por partículas sólidas e a erosão-corrosão são influenciadas principalmente pela velocidade de impacto, pela quantidade e massa individual das partículas erosivas, pelo ângulo de incidência e pelo tipo de meio envolvido, dentre outros.

2.2 Erosão por partículas sólidas

Erosão é a deterioração de materiais metálicos ou não-metálicos pela ação abrasiva de fluidos em movimento, geralmente acelerada pela presença de partículas sólidas em suspensão (HUTCHINGS, 1992; GENTIL, 2007). Sendo frequentemente observada em uma grande variedade de condições ambientais, principalmente naquelas que envolve transporte de fluídos (líquidos ou gases). Como exemplos de equipamentos e componentes que estão sujeitos a este tipo de desgaste, citam-se: transportadores pneumáticos, turbinas, tubulações, bombas, válvulas, conexões, entre outros (SILVA, 2008). GENTIL (2007) diz que o desgaste erosivo pode promover a destruição das camadas superficiais protetoras dos materiais metálicos, levando ao aparecimento de pequenas regiões anódicas em contato com grandes extensões catódicas, o que se figura como uma pilha eletroquímica quando este material está em contato com meios eletrolíticos.

O desgaste erosivo também é conhecido como erosão por partículas sólidas ou erosão por impacto sólido (*impingement*), para distinguir dos danos causados por impacto de jatos líquidos ou gotas. A velocidade das partículas em um desgaste erosivo é geralmente da ordem de 5 a 500 m·s⁻¹, apesar de que ainda fora deste limite o processo possa acontecer. Se estas partículas forem transportadas por um líquido o desgaste pode ser denominado *slurry erosion* (HUTCHINGS, 1992).

Na erosão, diversas forças de diferentes origens podem agir sobre uma partícula em contato com uma superfície sólida (Figura 2.2). Partículas próximas podem exercer forças de contato entre elas; e um fluido escoando, poderá exercer outra força denominada força de arraste. Contudo, a força predominante sobre uma partícula erosiva, a qual é responsável principalmente pela desaceleração a partir de sua velocidade inicial de impacto, é geralmente a força de contato exercida pela superfície. Na erosão, a extensão do desgaste depende não só do número e massa de partículas individuais que atingem a superfície, como também da sua velocidade de impacto (HUTCHINGS, 1992).

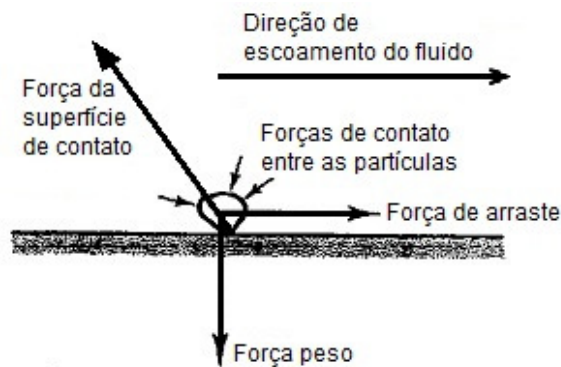


Figura 2.2 – Diagrama mostrando as forças que podem atuar sobre uma partícula em contato com uma superfície sólida (adaptada de HUTCHINGS, 1992).

Segundo SILVA (2008), a energia cinética das partículas erosivas convertida em energia de impacto é a grande responsável pelas tensões de contato nas superfícies erodidas. FINNIE (1995) *apud* SILVA (2008) ainda acrescenta que, as diversas variáveis que podem influenciar na energia de impacto e, conseqüentemente, na taxa de erosão, foram classificadas em três grandes grupos: (a) variáveis relativas ao impacto; (b) variáveis relativas à partícula erosiva e; (c) variáveis relativas ao material.

As variáveis relativas ao impacto descrevem o escoamento das partículas e são constituídas da velocidade da partícula (v), do ângulo de incidência (α) e do fluxo (concentração de partículas e escoamento do fluido) (Figura 2.3). O ângulo de incidência é definido com relação à superfície do material erodido e à trajetória da partícula erosiva. Na prática, o impacto se dá por várias partículas e estas podem

incidir normalmente à superfície ($\alpha = 90^\circ$), obliquamente (ângulos próximos de zero) ou atuar simultaneamente em diversos ângulos (SILVA, 2008).

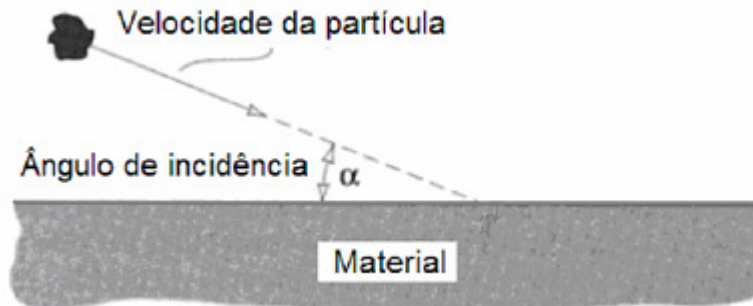


Figura 2.3 – Representação esquemática da ação erosiva de uma partícula (adaptada de SILVA, 2008).

São consideradas como variáveis de partícula: a forma, o tamanho, a dureza e a tenacidade à fratura. Quanto às variáveis de material, devem ser consideradas todas as propriedades e características do material, tais como: microestrutura, dureza e tenacidade. SILVA (2008), em sua tese, relata que além de todas estas variáveis citadas anteriormente, a taxa de erosão depende, também, da forma com que o material é removido, ou seja, depende dos mecanismos de erosão.

As variáveis envolvidas na erosão influenciam no tipo de mecanismo de remoção de material e, conseqüentemente, na taxa de desgaste. Uma observação é que os modelos e mecanismos descritos na literatura consideram o impacto de apenas uma partícula em ângulos de impactos específicos, o que na prática não acontece (SILVA, 2008).

Segundo HUTCHINGS (1992), os mecanismos de erosão conhecidos atualmente são compostos basicamente pelo corte, sulcamento, deformação plástica e fratura frágil, sendo que, os mecanismos de corte e sulcamento são semelhantes àqueles observados na abrasão. O microsulcamento é definido como sendo o deslocamento de material para o lado ou para frente da partícula (SILVA, 2008).

ZUM GAHR (1987) diz que o efeito do ângulo de incidência sobre a taxa de erosão é função do mecanismo de remoção de material. A Figura 2.4 apresenta o efeito do ângulo de impacto na taxa de desgaste de materiais dúcteis e frágeis.

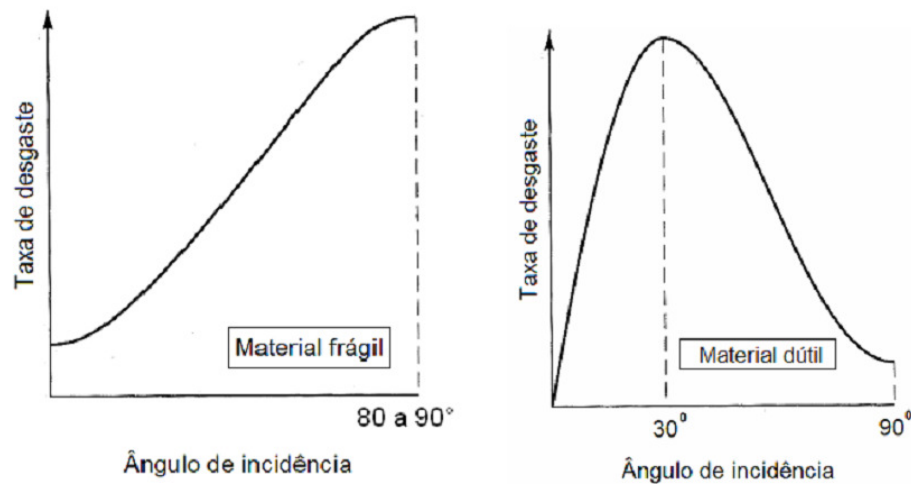


Figura 2.4 – Representação esquemática do efeito do ângulo de impacto na taxa de desgaste de materiais dúcteis e frágeis (adaptada de STACHOWIAK e BATCHELOR, 2006).

De acordo com SILVA (2008), em sistemas onde prevalecem o corte e o sulcamento, as maiores taxas de desgaste são verificadas para ângulos de incidência baixos, tipicamente entre 20° e 30° , caindo para metade a um terço em ângulos de incidência normal. Esse comportamento caracteriza um comportamento dúctil do material erodido.

WANG *et al.* (1995) *apud* SILVA (2008) relataram que nas condições em que a deformação plástica e a fratura frágil atuam, as maiores taxas de remoção de material são obtidas para incidência normal das partículas, caracterizando um comportamento frágil. Como por exemplo, materiais frágeis, tais como, vidro ou cerâmica fraturam com pouca ou nenhuma deformação e a taxa de desgaste máxima acontece a 90° por fragmentação decorrente da formação e propagação de trincas subsuperficiais no ponto de impacto.

Os mecanismos básicos da erosão por partículas sólidas (microcorte e/ou microsulcamento, fadiga, deformação plástica e fratura frágil) são representados esquematicamente na Figura 2.5.

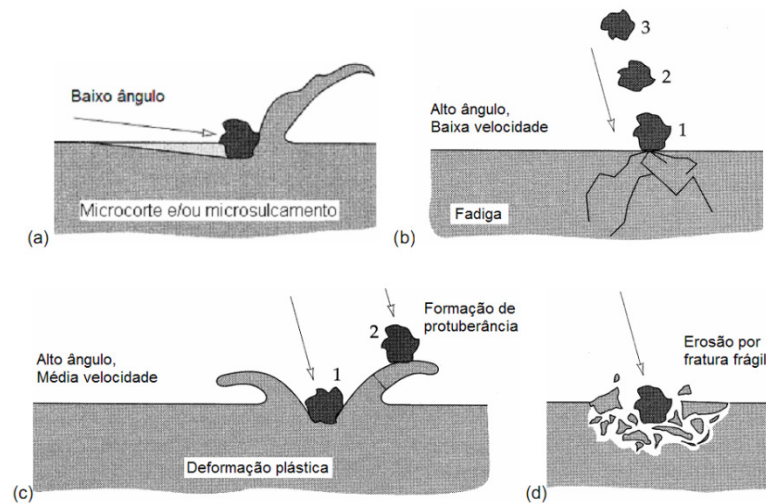


Figura 2.5 – (a) microcorte e/ou microsulcamento – baixos ângulos de incidência; (b) fadiga – altos ângulos e baixa velocidade, (c) deformação plástica – alto ângulo e média velocidade e (d) fratura frágil (adaptada de STACHOWIAK e BATCHELOR, 2006).

Os danos a filmes passivados em uma superfície metálica podem ser, também, influenciados pelo ângulo de contato da partícula sobre a superfície, desta forma WOOD (2007) esquematizou as seguintes possibilidades de danos que podem ocorrer em uma superfície passivada (Figura 2.6): (1) superfície passivada inicialmente sem dano; (2) baixo ângulo de impacto resulta em corte e remoção, do filme passivado e do material do substrato; (3) ângulo intermediário de impacto resulta em corte e remoção do filme, mais a formação de crateras plásticas e fratura do filme; (4) ângulo normal de impacto à superfície leva a formação de crateras plásticas/recobrimento e fratura do filme.

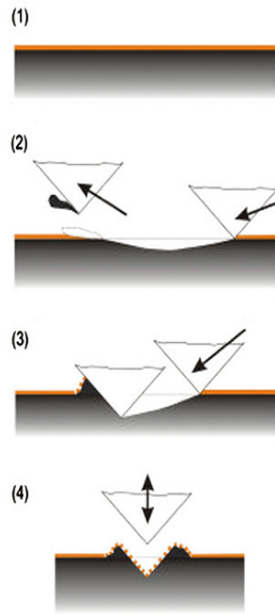


Figura 2.6 – Remoção ou fratura de filmes passivados depende do ângulo de impacto das partículas (adaptada de WOOD, 2007).

A taxa de erosão (E) é geralmente definida em função da variação de massa do material erodido por unidade de área e por unidade de tempo ($\text{g}/\text{mm}^2 \cdot \text{min}$). Outra forma muito utilizada é a taxa de erosão adimensional (E_M), obtida pela relação da variação de massa de material removido, em gramas, pela massa de partículas erosivas que atingem a superfície, também em gramas, para o mesmo período de tempo (g/g) (HUTCHINGS, 1992; SILVA, 2008). A Equação 2.1 relaciona estas duas formas de apresentar a taxa de erosão:

$$E = c V E_M \quad (2.1)$$

Onde:

E = taxa de erosão ($\text{g}/\text{mm}^2 \cdot \text{min}$);

c = concentração de partículas erosivas (g/mm^3);

V = velocidade de impacto (m/s);

E_M = taxa de erosão (g/g)

A taxa de erosão é medida através de testes de erosão ou calculada utilizando-se os modelos matemáticos propostos na literatura. Em um dos modelos genéricos propostos, a taxa de erosão é calculada em função da massa específica

do material erodido, da velocidade de impacto e da dureza do material, segundo a Equação 2.2 (HUTCHINGS, 1992; SILVA, 2008).

$$E = \frac{K \rho V^2}{2H} \quad (2.2)$$

Onde:

E = taxa de erosão (g/g);

K = constante;

V = velocidade de impacto (m/s);

H = dureza do material erodido (Pa);

ρ = massa específica do material erodido (kg/m³)

Este modelo simplificado, relatado por HUTCHINGS (1992) em sua obra, não leva em consideração o efeito de variáveis tais como: ângulo de incidência, tamanho e forma da partícula erosiva, dentre outras. Por isso, a constante K da Equação 2.2 é controlada por estas variáveis e tem valores típicos entre 10^{-5} a 10^{-1} . SILVA (2008) ainda acrescenta que apesar das limitações e simplificações dos modelos matemáticos propostos para erosão, eles podem fornecer estimativas de desgaste em projetos, bem como auxiliar no entendimento de problemas práticos envolvendo erosão.

2.3 Corrosão pelo CO₂

A corrosão por CO₂ é frequentemente encontrada na indústria de petróleo e gás natural e ocorre em todos os estágios de produção, desde a prospecção até às instalações de processamento (ALTOÉ, 1998; LINTER e BURSTEIN, 1999; FERREIRA e FERREIRA, 2003; TÁVORA, 2007).

A perda de produção e os custos de reparo ocasionados pela corrosão do aço carbono em contato com gases úmidos e linhas com múltiplas fases tornam indispensável adoção de técnicas adequadas de monitoramento da corrosão (ALTOÉ, 1998; MISHRA *et al.*, 1997; MORA-MENDOZA e TURGOOSE, 2002).

O CO₂ se dissolve na água formando ácido carbônico (H₂CO₃) (Equação 2.3), que é um ácido agressivo ao aço carbono. Ao entrar em contato com a água produz

as espécies químicas: HCO_3^- (aq) (Equação 2.4), H^+ (aq) e CO_3^{2-} (Equação 2.5). A formação do produto de corrosão sobre a superfície sofre influência da composição do aço, do fluxo e das condições do meio, como pH, temperatura, pressão, composição do eletrólito, existência de inibidores, dentre outros (MORA-MENDOZA e TURGOOSE, 2002).



A camada de produto de corrosão tem papel fundamental no mecanismo, na cinética e no tipo de corrosão por CO_2 . Quando existe uma camada protetora, a transferência de massa para a superfície metálica se torna o fator de controle da taxa de corrosão, antes da evolução catódica do hidrogênio (KINSELLA *et al.*, 1998).

A formação irregular da camada de corrosão e a sua destruição localizada são os principais fatores que contribuem para a corrosão localizada por CO_2 . Camadas de corrosão protetoras são capazes de diminuir a taxa de corrosão inicial em até 3 vezes, levando a taxa nula de corrosão com o passar do tempo (KINSELLA *et al.*, 1998). A corrosão por CO_2 pode ser ocasionada tanto pelas condições do meio, quanto pelos aspectos metalúrgicos dos materiais. Os métodos de prevenção incluem a reposição das tubulações de aço carbono por ligas resistentes à corrosão e o uso de inibidores e revestimentos não metálicos (MISHRA *et al.*, 1997).

Na corrosão pelo CO_2 podem-se ter diversos tipos de fatores que atuarão agravando ou minimizando o processo corrosivo, dentre os quais podemos citar: pH, temperatura, pressão parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$), oxigênio (O_2) dissolvido, velocidade de fluxo, meio corrosivo (eletrólito), tratamento térmico do aço e a presença de particulados sólidos, como por exemplo, o óxido de silício (SiO_2).

- pH

O pH da solução tem um papel importante na corrosão do aço porque influencia tanto as reações eletroquímicas que levam à dissolução do ferro quanto à precipitação das camadas protetoras, que governam os fenômenos de transporte associados com estas reações. Sob certas condições, os constituintes da solução na fase aquosa tamponam o pH, o que pode levar à precipitação da camada de corrosão e a uma possível diminuição na taxa de corrosão (KERMANI e MORSHED, 2003).

Como um exemplo, pelo incremento do pH de 4,0 para 5,0, a solubilidade do Fe^{2+} é reduzida 5 vezes. Já para um acréscimo do pH de 5,0 para 6,0, a redução da solubilidade do Fe^{2+} é de cerca de 100 vezes. Uma baixa solubilidade pode corresponder a uma maior supersaturação, a qual acelera o processo de precipitação do filme de FeCO_3 . Para valores de $\text{pH} > 5,0$, a probabilidade de formação do filme é aumentada e pode contribuir para as menores taxas de corrosão observadas, segundo KERMANI e MORSHED (2003) *apud* TÁVORA (2007). Além disso, valores elevados de pH resultam na diminuição da taxa de corrosão porque diminuem a quantidade de íons H^+ disponíveis, e diminuem a taxa de reação de redução de hidrogênio (NEŠIĆ e LUNDE, 1994).

Para corrosão uniforme, a taxa de corrosão aumenta com a adição de CO_2 , porque a solução tem seu pH reduzido em virtude da formação do ácido carbônico. Este efeito é mais acentuado para valores menores que 3,8 (MISHRA *et al.*, 1997).

Segundo ALTOÉ (1998), o pH é um dos parâmetros mais críticos na determinação da corrosividade. Para ambientes que contêm CO_2 e H_2S dissolvidos, o pH deve ser calculado com base nas pressões parciais desses gases, no teor de bicarbonato e na temperatura. Já a taxa de corrosão será afetada, pelo pH, conforme é mostrado na Figura 2.7:

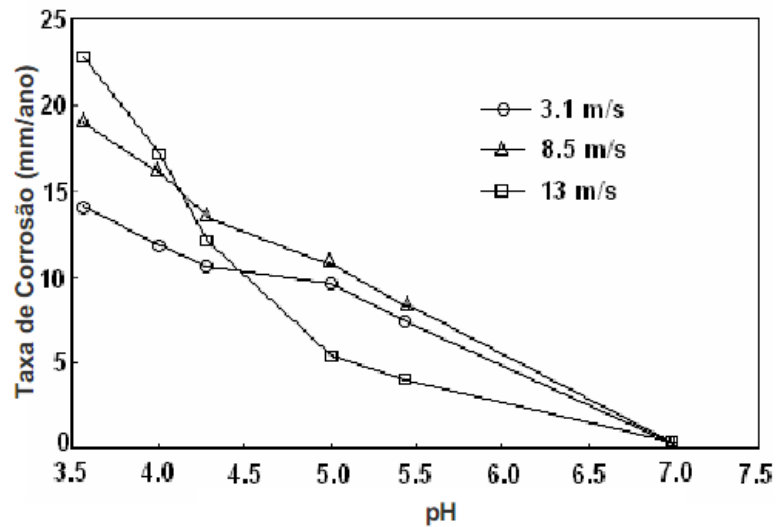


Figura 2.7 – Taxa de corrosão do aço em função do pH para algumas velocidades de fluxo (adaptada de ALTOÉ, 1998)

MORA-MENDOZA e TURGOOSE (2002), concluíram que para o aço, imerso em soluções aquosas com CO_2 na temperatura ambiente, as camadas de FeCO_3 se formam para $\text{pH} > 4,95$. MORAES *et al.* (2000) também relataram que filmes protetores só são observados para valores de pH acima de 5,0.

MISHRA *et al.* (1993) *apud* TÁVORA (2007), construíram um diagrama de Pourbaix para o sistema $\text{Fe-H}_2\text{O-CO}_2$ a 51°C , onde se verifica que a formação do carbonato de ferro é possível para $\text{pH} > 6,0$. Este diagrama é mostrado na Figura 2.8.

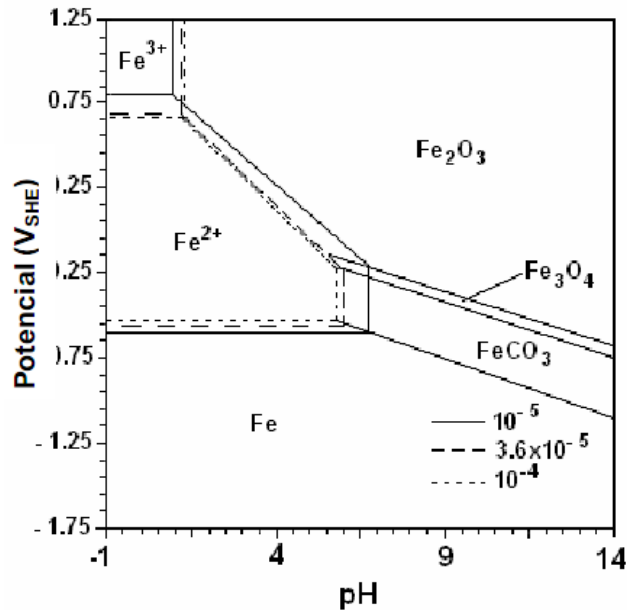


Figura 2.8 – Diagrama de Pourbaix para o sistema Fe-H₂O-CO₂ a 51 °C, com valores diferentes de atividade iônica, mostrando a região do FeCO₃ (adaptada de MISHRA *et al.*, 1993 *apud* TÁVORA, 2007)

- Temperatura

ALTOÉ (1998) correlaciona a temperatura com os produtos de corrosão pelo CO₂ da seguinte forma:

- Para temperaturas abaixo de 60°C a corrosão pelo CO₂ não forma produtos de corrosão que possuam ação protetora, expondo assim a superfície do material a uma corrosão contínua e normalmente mais uniforme;
- Para temperaturas entre 60°C e 120°C, nesta faixa de temperatura a taxa de corrosão uniforme pode às vezes ser menos severa, dependendo da formação do filme do produto de corrosão. Entretanto, o mecanismo de corrosão preocupante passa a ser a corrosão localizada, devido à formação imperfeita do filme criando pites, o que pode levar a falhas em tempos menores de operação. Nesta faixa de temperatura, a corrosão torna-se bastante influenciada pela velocidade, ocorrendo também problemas de corrosão-erosão;
- Para temperatura entre 120°C e 150°C, é conhecido que a taxa de corrosão é baixa devido à formação de um filme pelo produto de corrosão bastante fino, uniforme e aderente, o que lhe confere um caráter protetor.

A formação desse filme ocorre devido à forte dissolução do ferro e a uma nucleação muito acelerada do FeCO_3 , tornando-o bastante uniforme e protetor.

Segundo MORA-MENDOZA e TURGOOSE (2002) a morfologia dos filmes é função da temperatura. Abaixo de 40°C , os filmes apresentam estrutura com poros abertos e são formados principalmente por Fe_3C , com pouco FeCO_3 e elementos de liga contidos no aço. O carbeto de ferro é a primeira parte do aço original, no estado não oxidado, que se acumula na superfície como produto de corrosão do ferro. A taxa de corrosão tende a diminuir nos primeiros dias de exposição, porém aumenta novamente para tempos mais prolongados, devido ao aumento da reação catódica induzida pela presença de carbeto de ferro.

MORAES *et al.* (2000) dizem que, à temperatura de 49°C os filmes de corrosão formados não são efetivos na redução da taxa de corrosão. Já MORA-MENDOZA e TURGOOSE (2002) dizem que em 60°C , o filme apresenta poros contendo principalmente Fe_3C na parte interna e mais FeCO_3 acumulado na parte externa. Entretanto, a formação de FeCO_3 não reduz a taxa de corrosão significativamente. Entretanto, a 80°C um filme de FeCO_3 denso e protetor é formado próximo à superfície metálica, diminuindo a taxa de corrosão rapidamente.

- Pressão parcial de CO_2 ($p\text{CO}_2$)

De acordo com TÁVORA (2007), a pressão parcial de CO_2 também exerce uma forte influencia na corrosividade do meio. Na Figura 2.9 a seguir, adaptada de ALTOÉ (1998), é mostrado que a taxa de corrosão aumenta com o aumento da temperatura e da $p\text{CO}_2$.

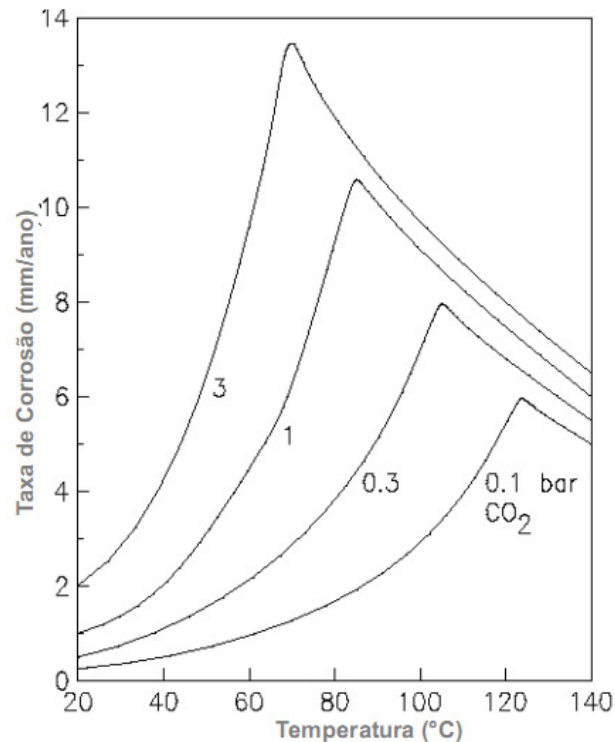


Figura 2.9 – Taxa de corrosão em função da temperatura e da pCO₂ (adaptada de ALTOÉ, 1998)

A pressão de CO₂ tem sido usada nos cálculos de pH e nas medidas de taxa de corrosão, uma vez que influi na quantidade de CO₂ dissolvido (KERMANI e MORSHED, 2003; MISHRA *et al.*, 1997).

Maiores pressões parciais de CO₂ aumentam com a taxa de corrosão, pois causam redução no pH e aumentam a taxa de reação de redução do ácido carbônico (NEŠIĆ e LUNDE, 1994).

- Oxigênio (O₂) dissolvido

Na indústria petrolífera, o oxigênio não está presente no fluido de produção transportado em oleodutos e gasodutos, a não ser que tenha ocorrido uma contaminação. Esta contaminação pode ocorrer quando o campo tem sistema de injeção de água, cujo oxigênio pode não ter sido removido adequadamente; em oleodutos, onde os suspiros de tanques de campos de baixa produção não são selados com gás natural; em gasodutos, por falha em selagens de compressores; em oleodutos, por problemas em gaxetas, etc. Quando esta contaminação ocorre, o resultado pode ser desastroso (ALTOÉ, 1998).

MISHRA *et al.* (1997) reportaram em seu trabalho que a contaminação por O_2 é uma das maiores dificuldades no estudo da corrosão por CO_2 em laboratório. Na prática, traços de O_2 podem entrar no sistema na injeção de inibidores ou em outras operações. Adição súbita de O_2 (10 ppb a 1500 ppb) resulta em um acréscimo moderado da taxa de corrosão devido a uma reação catódica alternativa.

- Velocidade de fluxo

A velocidade é provavelmente um dos parâmetros mais significativos na determinação da corrosividade. A velocidade do fluido afeta tanto a composição quanto à extensão dos filmes dos produtos de corrosão. Apesar de existirem algumas diretrizes em relação à velocidade, não existem valores definidos que sejam realidades absolutas, desta forma a corrosividade em relação à velocidade irá variar de acordo com o duto (ALTOÉ, 1998).

Segundo MISHRA *et al.* (1997) a taxa de corrosão é controlada parcialmente por difusão em velocidades $< 0,32$ m/s, onde o processo difusivo é a etapa determinante, e para um eletrodo de disco rotatório, a taxa de corrosão em meio com CO_2 é controlada parcialmente pela difusão para velocidades de até 1,0 m/s.

Altas taxas de fluxo normalmente aumentam as taxas de corrosão, pelo aumento das taxas de transporte das espécies reagentes da superfície metálica, e pela prevenção ou destruição das camadas protetoras. O efeito do fluxo mais relevante ocorre a baixas temperaturas ($20^\circ C$), onde existe uma dificuldade na formação de $FeCO_3$ e a possibilidade de se chegar a uma supersaturação de Fe^{2+} . Após as exposições, a superfície metálica fica coberta de carvão de ferro, o qual demonstra ser muito susceptível à erosão pelo fluxo. Isto é, um efeito mecânico que afeta o processo eletroquímico, sem estar relacionado à transferência de massa (NEŠIĆ e LUNDE, 1994).

- Meio corrosivo (eletrólito)

A água produzida, tipicamente, em poços de petróleo, contém íons, como o cloreto, em solução. A concentração de cloreto na água pode variar consideravelmente, de zero até milhares de ppm na água de formação. Normalmente, este valor varia de 10.000 ppm a 130.000 ppm. Dependendo da

temperatura, este teor de cloreto pode se tornar preocupante, principalmente para valores de temperatura maiores que 60 °C. Os íons cloretos podem ser incorporados ao produto de corrosão, podendo levá-lo à desestabilização e conseqüentemente ao aumento da corrosão. Dependendo da temperatura este efeito é acelerado (ALTOÉ, 1998).

Em solução de H_2CO_3 livre de O_2 , o cloreto pode levar à redução da corrosão uniforme pela reação com o CO_2 ou pela inibição na superfície. O aumento da concentração de cloretos ou outros sais diminuem a solubilidade do CO_2 em uma pressão parcial constante deste gás, diminuindo a taxa inicial de corrosão. Não é possível observar o efeito a baixas concentrações de cloretos (< 1.000 ppm), entretanto, os testes de laboratório têm resultado em taxas maiores do que as encontradas no campo, uma vez que utilizam soluções de sais puros, como o NaCl, sem alguns componentes encontrados em campo, como Ca^{2+} , HCO_3^- , Mg^{2+} , etc. A taxa de corrosão diminui quando os íons Ca^{2+} e HCO_3^- são adicionados nas mesmas concentrações encontradas nas situações reais. Este comportamento ocorre pela construção de filmes protetores, principalmente de FeCO_3 enriquecidos com cálcio (MISHRA *et al.*, 1997).

A adição de petróleo e derivados pode ter efeitos significativos na corrosão do aço. O petróleo não é corrosivo, promovendo uma barreira entre a superfície metálica e a água e protegendo o metal enquanto estiver na sua superfície. Já a presença de partículas sólidas, como areia, leva à corrosão do aço através de dois mecanismos: erosão dos filmes de corrosão protetores, e despolarização do processo de corrosão controlado anodicamente e/ou catodicamente pela danificação da superfície metálica (MISHRA *et al.*, 1997).

- Tratamento térmico do aço

Segundo MISHRA *et al.* (1997) a microestrutura do aço e do aço baixa liga são conhecidas por sofrer influência na sua resistência à corrosão em ambiente ácido, e em particular em ambiente com CO_2 . Além disso, é conhecido que o aço e o aço doce são mais resistentes quando temperados ou duplamente temperados para formar a microestrutura martensítica, atingindo dureza da ordem de 22 HRC (*Rockwell Hardness*). A espessura da camada primária de FeCO_3 é mais uniforme

com grandes cristais na amostra normalizada que a formada no material temperado. Este comportamento resulta da fase perlítica no aço normalizado, que é bem distribuída na matriz metálica e ajuda a ancorar os cristais de FeCO_3 da superfície quando a ferrita é corroída, deixando a perlita na forma de plaquetas.

- Particulados sólidos

Alguns particulados sólidos provenientes de processos de incrustação (CaCO_3), corrosão por outros gases como o H_2S (FeS) e oriundos da própria formação (sílica) podem ser encontrados, especialmente em linhas de produção e escoamento de óleo e gás natural. O sulfeto de ferro podem ainda ter origem na atividade microbiológica das bactérias redutoras de sulfato (TÁVORA, 2007).

A sílica tem origem na rocha produtora (rocha arenítica), e possui partículas fracamente consolidadas, podendo estas ser produzidas junto com óleo e água durante o processo produtivo de um reservatório. Em muitos casos a areia pode causar sérios problemas de erosão, e por esse motivo medidas devem ser tomadas para remediar este problema, tais como a aplicação de peneiras para retenção da areia, e algumas vezes, é necessário diminuir a velocidade de fluxo. Em alguns campos o problema é menor, e pequenas quantidades de areia são encontradas rotineiramente. A deposição de areia em uma área da superfície do aço pode formar uma camada protetora contra a corrosão generalizada, mas a corrosão localizada pode vir a ser um problema a médio e longo prazo, caso esta camada venha a ser quebrada. (MACMAHON *et al.*, 2005)

MACMAHON *et al.* (2005) estudaram o efeito da produção de areia na eficiência dos inibidores de corrosão para meios com CO_2 , que são normalmente adicionados para proteger linhas de produção, transporte e equipamentos em aço utilizados na indústria de petróleo. Já TÁVORA (2007) estudou o efeito de diferentes tipos de particulados sólidos (carbonato de cálcio, óxido de ferro, óxido de silício e sulfeto de ferro) na eficiência de um inibidor de corrosão recomendado para meios salinos com CO_2 .

2.3.1 Mecanismos de corrosão pelo CO_2

TÁVORA (2007) e ALTOÉ (1998) dizem que apesar da corrosividade pelo CO_2 ser tema de muitos estudos nos últimos 30 anos, o completo conhecimento do

seu mecanismo e previsão da sua corrosividade não é completamente dominado. Existem várias proposições diferentes sobre reações eletroquímicas em relação à corrosão pelo CO_2 . Em alguns casos, foi concluído que essas reações que estão competindo podem ocorrer preferencialmente em relação às demais, dependendo do pH do meio e das condições de transporte (velocidade), ou seja, da transferência de massa. De forma generalizada, as reações que acarretam a corrosão pelo CO_2 podem ser representadas pelas seguintes equações:



Entretanto, na temperatura ambiente, somente cerca de uma em cem mil moléculas é dissociada na Equação 2.8 (ALTOÉ, 1998). Já MORA-MENDOZA e TURGOOSE (2002) diz que devido o $\text{pH} < 7$ o íon carbonato (CO_3^{2-}) é uma espécie em minoria, e é considerado o íon bicarbonato como espécie precipitável, segundo a Equação 2.9. Desta forma, a formação do carbonato de ferro (FeCO_3) pode ocorrer de acordo com a seguinte Equação 2.10:



E uma constante de equilíbrio (K) pode ser definida (Equação 2.11):

$$K = \frac{K_{sp(\text{FeCO}_3)}}{K_{a2}} = \frac{[\text{Fe}^{2+}] [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]} \quad (2.11)$$

A precipitação do FeCO_3 é uma função das concentrações dos íons Fe^{2+} e bicarbonato, e também do pH. A temperatura ambiente sua precipitação será possível quando (Equação 2.12):

$$\frac{[\text{Fe}^{2+}] [\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}^+]} > K \quad (2.12)$$

Embora seja um ácido fraco, o ácido carbônico é altamente corrosivo porque a parte catódica da reação de corrosão não necessita do H^+ , como acontece normalmente na corrosão ácida, pois envolve a redução direta do ácido carbônico na forma não dissociada (TÁVORA, 2007):



Seguido por:



A reação anódica, que é a dissolução do ferro, é a seguinte:



A reação global é a seguinte:



A solubilidade do FeCO_3 (carbonato de ferro) é baixa e diminui com a temperatura. O FeCO_3 pode formar um filme protetor em algumas condições, porém a quantificação dessa proteção é um dos assuntos mais difíceis no estudo da corrosão pelo CO_2 . Alguns pesquisadores encontraram, para certas condições de temperatura e velocidade, a presença de óxido de ferro (Fe_3O_4) como produto de corrosão pelo CO_2 junto com o carbonato de ferro e cementita, porém, como a quantidade de FeCO_3 e de cementita é pequena, fica difícil uma avaliação mais consistente (ALTOÉ, 1998).

Segundo TÁVORA (2007) existem diferentes modelos propostos na literatura, apesar de ALTOÉ (1998) afirmar que a reação é controlada por transferência de carga, ou seja, a difusão do H_2CO_3 do meio para superfície do duto e o seu consumo

também devem ser considerados. Para casos de pH menor que 4,0 a redução do hidrogênio é ainda a equação catódica dominante junto com a concentração dos íons H^+ , onde:



Para pH igual a 5,0, além da reação de redução do hidrogênio, uma nova reação catódica torna-se importante: a redução direta do ácido carbônico (Equação 2.18).



2.3.2 Taxa de corrosão pelo CO_2

TÁVORA (2007) comenta em sua dissertação que diversos estudos foram desenvolvidos para aprimorar a previsão da corrosão pelo CO_2 , visto que o resultado calculado na maioria das vezes é superior ao verificado na prática, sendo assumidos os seus resultados como o pior caso.

A reação de corrosão do aço pelo ácido carbônico é controlada, em parte, pela transferência de carga. Esse processo é representado pelo diagrama na Figura 2.10, onde é assumido como premissa que a reação da corrosão pelo CO_2 não é completamente controlada catodicamente, e que a reação anódica depende do pH e da pCO_2 , o que reduz a dependência em relação à pressão parcial de CO_2 . Este diagrama também representa (Figura 2.10) a equação base utilizada nas simulações de corrosão. O seu resultado deve ser corrigido para os diversos efeitos que alteram a taxa de corrosão tais como: pH, formação de depósito de produto de corrosão protetor, presença de metanol ou glicol no caso de gasodutos, efeito do tipo de óleo, efeito da velocidade na remoção do produto de corrosão formado, etc. (ALTOÉ, 1998).

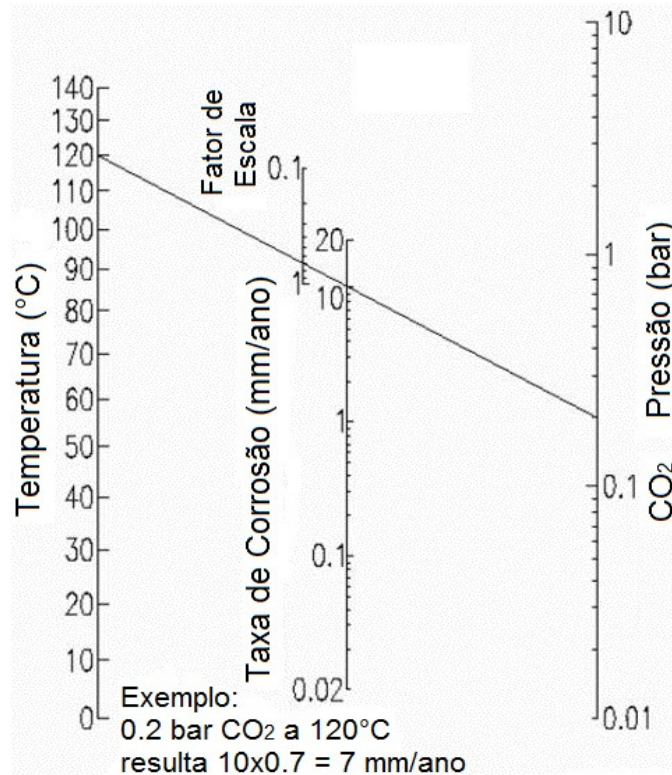


Figura 2.10 – Monograma da corrosão pelo CO₂ (adaptada de ALTOÉ, 1998)

Os resultados obtidos pelo diagrama devem ser corrigidos, pois outros fatores contribuem para atenuar a corrosão (TÁVORA, 2007). De acordo com ALTOÉ (1998) modificações foram propostas, com a determinação de fatores que consideram vários outros efeitos no valor obtido do diagrama. Entre esses fatores está o da velocidade, segundo o qual a taxa de corrosão não seria apenas influenciada pela transferência de carga, ou seja, as reações de cinética (eletroquímicas), mas também pela taxa de transporte de massa das espécies que estão reagindo.

2.3.3 Produtos de corrosão formados pelo CO₂

A corrosão por CO₂ em aços carbono e de baixa liga é fortemente dependente da formação de filmes na superfície durante os processos de corrosão. A proteção, a taxa de formação/precipitação e a estabilidade do filme controlam a taxa de corrosão e a sua natureza (corrosão generalizada ou localizada). A cinética de precipitação do filme de FeCO₃ é afetada pelas concentrações do ferro e de carbonato e sua subsequente formação e crescimento são extremamente sensíveis à temperatura. Não é a espessura do filme e sim a estrutura e a sua morfologia que conferem baixa

corrosão e proteção. É interessante notar que uma camada de corrosão contendo os mesmos componentes sólidos pode ser extremamente protetora, pouco protetora, ou até mesmo corrosiva (KERMANI e MORSHED, 2003).

Em geral, as características de proteção do filme de corrosão dependem tanto das características do aço (microestrutura, tratamento térmico, elementos de liga) quanto das condições do meio (pH da solução, temperatura, composição da solução, fluxo, etc.) (KERMANI e MORSHED, 2003).

Segundo KERMANI e MORSHED (2003) os filmes de corrosão formados entre 5°C e 150°C em água com CO₂ podem ser divididos genericamente em quatro classes principais: (a) transparentes; (b) de carbeto de ferro (Fe₃C); (c) de carbonato de ferro (FeCO₃); (d) de carbonato de ferro com carbeto de ferro (FeCO₃ + Fe₃C).

2.4 Erosão-corrosão

Segundo MALKA *et al.* (2007) corrosão é um processo de degradação do material o qual ocorre devido a ação química ou eletroquímica, enquanto a erosão é um processo de desgaste mecânico. Quando estes dois processos agem juntos (erosão + corrosão) em ambientes aquosos, este fenômeno é conhecido como erosão-corrosão.

A erosão é considerada um fenômeno puramente mecânico, em que o metal é removido ou destruído mecanicamente, sofrendo somente alterações físicas. Na erosão-corrosão ocorrem fenômenos físicos e químicos, sendo caracterizada por sua aparência sob a forma de sulcos, crateras, ondulações, furos arredondados e um sentido direcional de ataque. Em razão da própria ação de erosão, a superfície fica isenta de possíveis produtos de corrosão (GENTIL, 2007). NEVILLE *et al.* (1995) cita como exemplo clássico o que acontece nos aços inoxidáveis que possuem uma elevada capacidade de passivação e, portanto, uma boa resistência à corrosão. Entretanto, a destruição da camada de óxidos pela erosão pode levar a uma alta contribuição do desgaste erosivo no aumento da taxa de corrosão e, conseqüentemente, taxa de desgaste total.

O escoamento de um fluido é um dos fatores que podem interferir nos mecanismos de desgaste erosivo-corrosivo, desta forma WOOD (2006) apresentou um diagrama (Figura 2.11) ilustrativo das possíveis regiões de interação erosão-corrosão em diferentes regimes de escoamento.

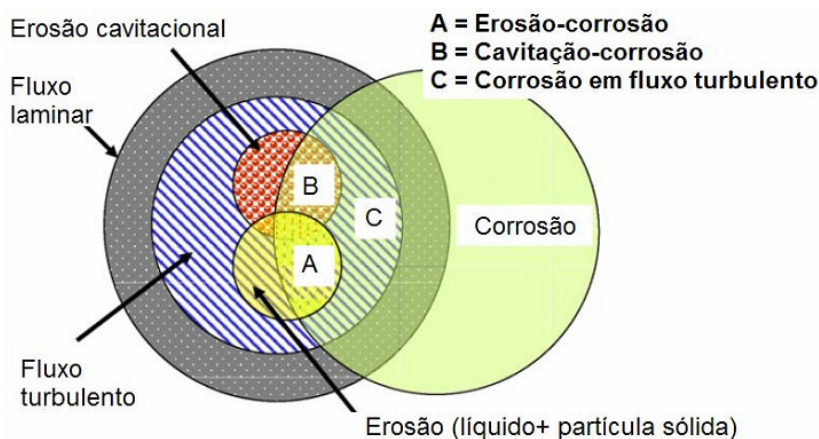


Figura 2.11 – Diagrama ilustrativo das possíveis regiões de interação erosiva-corrosiva em diferentes regimes de escoamento (adaptada de WOOD, 2006).

As regiões mais significativas na erosão-corrosão (Figura 2.11) são aonde se tem: o sinergismo entre o fluxo turbulento erosivo (líquido + partícula sólida) e a corrosão (região A); entre a cavitação hidrodinamicamente induzida e a corrosão (região B); e entre o fluxo turbulento e a corrosão, causando a corrosão em fluxo turbulento; embora sólidos em suspensão num fluxo laminar possam induzir erosão-corrosão, se suas energias de impacto forem suficientes para causar deformação plástica na superfície. A erosão-corrosão ocorre somente nas regiões A e B onde as interações envolvidas são mecânicas e eletroquímicas. Assim, a região C é referenciada como corrosão em fluxo turbulento, em vez de erosão-corrosão (WOOD, 2006).

Para casos de uma superfície metálica estar revestida, DEARNLEY e ALDRICH-SMITH (2004) propuseram três principais mecanismos de desgaste corrosivo quando partículas interagem com esta superfície, que são os tipos 1, 2 e 3. O tipo 1 (Figura 2.12) relaciona a remoção ou o dano de filmes passivados em revestimentos e sua recuperação. Médias interações no desgaste corrosivo são esperadas a partir deste mecanismo. O tipo 2 (Figura 2.13), entretanto, relaciona o ataque galvânico do substrato levando à formação de bolhas e remoção do revestimento sob contatos deslizantes. Maiores interações no desgaste corrosivo são esperadas neste mecanismo. Já o tipo 3 (Figura 2.14) relaciona o ataque galvânico do contra-corpo que subseqüentemente tornada a superfície áspera, conduzindo à abrasão do revestimento durante o deslizamento.

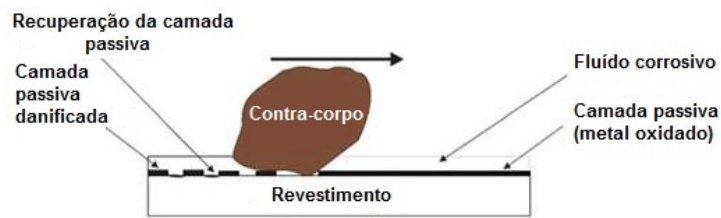


Figura 2.12 – Mecanismo de desgaste corrosivo de sistemas metálicos revestidos tipo 1 (adaptada de WOOD, 2007).

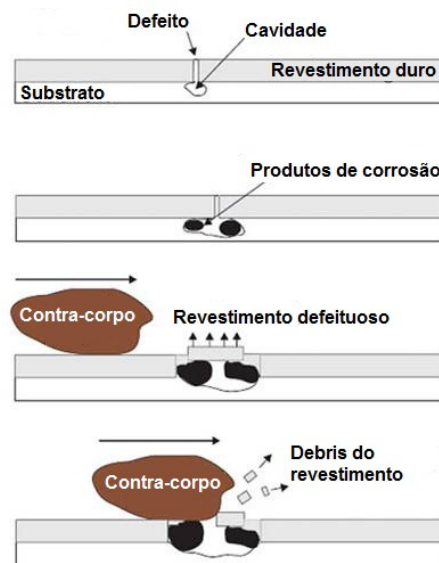


Figura 2.13 – Mecanismo de desgaste corrosivo de sistemas metálicos revestidos tipo 2 (adaptada de WOOD, 2007).

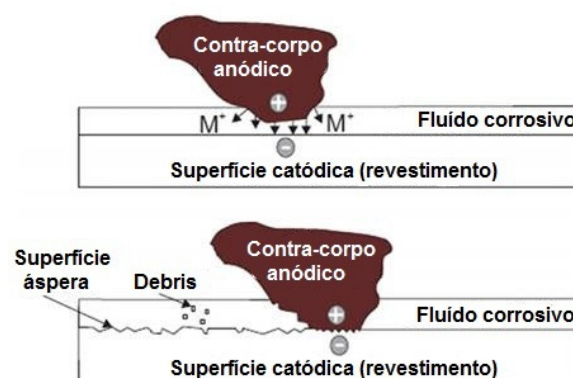


Figura 2.14 – Mecanismo de desgaste corrosivo de sistemas metálicos revestidos tipo 3 (adaptada de WOOD, 2007).

2.4.1 Mecanismos de remoção mecânica de filmes na erosão-corrosão (Taylor-Couette)

Segundo RUZIC *et al.* (2006), baseado em dados experimentais e resultados limitado disponíveis em literatura aberta sobre fluxos turbulento de Taylor-Couette, um possível mecanismo de remoção mecânica em escoamentos monofásico foi proposto. As etapas seqüenciais da hipótese são as seguintes:

Separação a partir do substrato – a estrutura porosa de filme de carbonato de ferro (tipo esponja) pode ser vista a partir do ponto de vista mecânico como sistema de molas. Apenas a tensão de cisalhamento na parede não é claramente suficiente responsável pela remoção do filme. Assim como, quantidades de flutuações locais severas (tais como velocidade e flutuações na tensão de cisalhamento na parede), primeiramente devido ao movimento dos vórtices de Taylor, solicitações mecânicas (vibrações), que leva a um tipo de dano como fadiga. Uma vez a resistência do filme excedida, o filme começa separar a partir do substrato (Figura 2.15a).

Trinca vertical – sobre a influência de força centrífuga e/ou pressão relativa negativa, a folga entre o substrato e o filme tende a aumentar, e quando a tensão interna alcança o valor crítico ocorre a trinca vertical (Figura 2.15b).

Abertura e alargamento da trinca – a rugosidade superficial aumentada na localização da trinca melhora o nível local de turbulência promovendo o destacamento do filme e o levantamento da superfície do metal (Figura 2.15c).

Destacamento do filme – o filme levantado provoca um maior arraste, em cujo estágio a tensão de cisalhamento na parede descasca a parte do filme protuberante. As partes do filme destacada são subsequentemente arrancadas a partir do cilindro, pela influência das forças centrífugas e/ou pressão relativa negativa (Figura 2.15d).

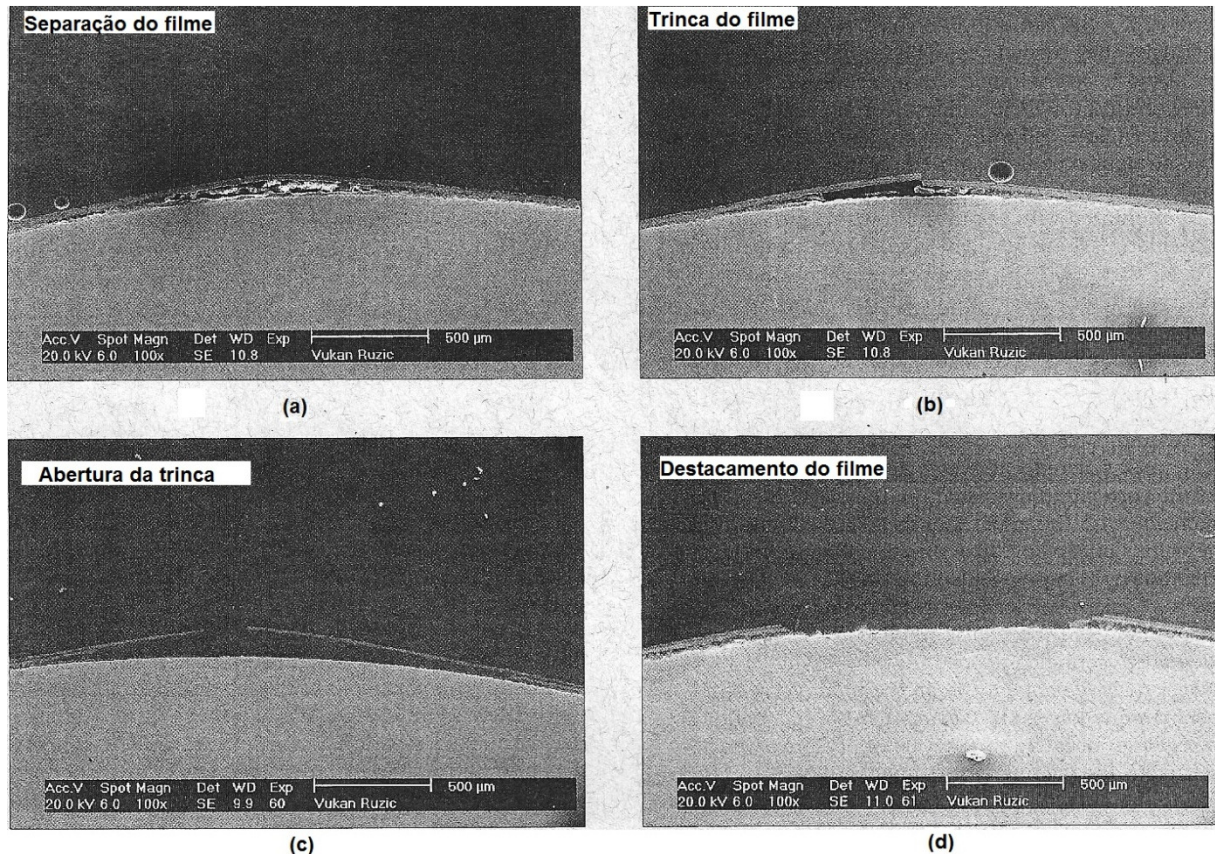


Figura 2.15 – Mecanismos de remoção de filme mecanicamente proposto: (a) separação a partir do substrato, (b) trinca vertical, (c) abertura e alargamento da trinca e (d) destacamento do filme (adaptada de RUZIC *et al.* 2006).

2.4.2 Sinergismos erosão-corrosão

Em muitas aplicações, a presença de meios quimicamente agressivos, atuando junto com a abrasão, erosão ou deslizamento, pode resultar em um desgaste bem mais acelerado. Isso pode resultar numa falha prematura dos componentes envolvidos no tribossistema. Este aumento na taxa de desgaste devido a esta interação é denominando de sinergia, isto é, o efeito resultante da ação simultânea de certos fatores é superior ao valor da soma dos mesmos fenômenos quando ocorrem individualmente (SILVA, 2008; STACK, 2002).

Na presença de meios quimicamente agressivos, a erosão pode atuar junto com a corrosão, resultando em efeitos mecânicos e eletroquímicos que levam a variação de massa do material, maior que erosão e corrosão atuando separadamente (SILVA, 2008; WATSON *et al.*, 1995). Tal sinergia deve ser levada em consideração quando se fala em materiais resistentes a erosão e à corrosão

(SILVA, 2008). Para a corrosão em meio aquoso, o termo "sinergismo" define a situação em que a corrosão afeta as propriedades mecânicas da superfície, geralmente (mas não em todos os casos) o aumento na taxa de desgaste (STACK, 2002).

Segundo SILVA (2008) em vários casos reportados na literatura, materiais sujeitos à erosão e à corrosão são testados algumas vezes através de ensaios puramente erosivos ou ensaios puramente corrosivos. Não levar em consideração a sinergia pode resultar em uma classificação de materiais completamente diferente daquela observada na prática, e justificar falhas inesperadas em equipamentos sob a ação da erosão-corrosão. WATSON *et al.* (1995) comenta que o entendimento dos mecanismos envolvidos e a quantificação da interação entre ambos os processos podem ajudar na minimização dos efeitos sinérgicos, bem como na seleção correta de materiais. Esforços têm sido feitos neste sentido, verificando-se, também, os efeitos das variáveis que interferem nestes processos.

Foi apresentado por WATSON *et al.* (1995) uma revisão bibliográfica sobre os vários métodos de medição da sinergia entre desgaste e corrosão, mas ele propôs uma metodologia baseada na taxa de redução de espessura no material por unidade de tempo. A grande dificuldade desta quantificação é o número de variáveis envolvidas e a inexistência de testes padronizados.

A norma ASTM G119 – 09 (2009) apresenta um guia para o cálculo da sinergia entre desgaste e corrosão. Esta norma é baseada em conceitos utilizados nas principais publicações encontradas na literatura sobre erosão-corrosão. A taxa de desgaste total (K_T) em erosão-corrosão é definida como a soma correspondente à taxa de erosão pura (K_E^0), à taxa de corrosão pura (K_C^0) e à sinergia (S), como mostra a Equação 2.19 (YANG e CHENG, 2012; STACK e PUNGWIWAT, 2004).

$$K_T = K_E^0 + K_C^0 + S \quad (2.19)$$

De acordo com STACK *et al.*, (1999) *apud* SILVA (2008) a sinergia total (S) é atribuída a dois regimes de interação entre erosão-corrosão (Equação 2.20). No regime onde a taxa de erosão é aumentada pela corrosão (ΔK_{EC}) o termo efeito sinérgico é normalmente utilizado pela literatura para defini-lo. O outro termo utilizado é denominado de efeito aditivo e está relacionado ao aumento da taxa de

corrosão devido ao efeito da erosão (ΔK_{C^E}) (ASTM G119 – 09, 2009). A erosão pode aumentar a taxa de corrosão pela remoção do filme passivo ou pela mudança na rugosidade, gerando regiões com diferentes potenciais eletroquímicos (GENTIL, 2007). A corrosão por sua vez pode aumentar a taxa de erosão pela dissolução preferencial da matriz de um compósito (SILVA, 2008).

$$S = \Delta K_{E^C} + \Delta K_{C^E} \quad (2.20)$$

Desta forma, a taxa total de desgaste (K_T) também pode ser definida de forma genérica através da Equação 2.21 ou ainda, de uma forma simplificada, pela Equação 2.24.

$$K_T = K_E^0 + \Delta K_{E^C} + K_C^0 + \Delta K_{C^E} \quad (2.21)$$

$$K_E = K_E^0 + \Delta K_{E^C} \quad (2.22)$$

$$K_C = K_C^0 + \Delta K_{C^E} \quad (2.23)$$

$$K_T = K_E + K_C \quad (2.24)$$

Onde: K_E – corresponde à total contribuição da erosão; e K_C – a total contribuição da corrosão em casos envolvendo a erosão-corrosão (Equações 2.22 e 2.23).

STACK e PUNGWIWAT (2004) dizem que a sinergia pode não existir e, em alguns casos de grande interesse prático, a sinergia pode até ser negativa, como por exemplo, quando a corrosão resulta na diminuição da taxa de erosão. Isto pode acontecer pela formação contínua de um filme de óxido ou produto da corrosão, duro, dúctil e protetor. Nestes casos, onde o efeito da corrosão é diminuir a taxa de erosão (sinergia negativa), o regime de interação é normalmente definido como efeito antagônico.

SILVA (2008), e STACK e PUNGWIWAT (2004) destacam que os regimes de interação dependem fortemente do material, das condições erosivas e da agressividade do meio. Desta forma é importante definir em quais condições os regimes acontecem e quando ocorre a transição da sinergia positiva para a negativa.

Dentre os critérios existentes para definir os regimes de interação entre erosão-corrosão, em condições aquosas, utiliza-se à razão entre a taxa total de

corrosão e a taxa total de erosão (Equações 2.22 e 2.23). Neste caso, os regimes variam de erosão à corrosão dominante e regimes intermediários, onde a erosão e a corrosão atuam em conjunto. A corrosão pode acontecer por dissolução, passivação, transpassivação ou por pite. Estes termos podem ser utilizados nas definições abaixo para caracterizar o processo de corrosão (STACK e PUNGWIWAT, 2004).

$$\frac{K_C}{K_E} < 0,1 \quad \text{Erosão dominante} \quad (2.25)$$

$$0,1 \leq \frac{K_C}{K_E} < 1 \quad \text{Erosão-corrosão dominante} \quad (2.26)$$

$$1 \leq \frac{K_C}{K_E} < 10 \quad \text{Corrosão-erosão dominante} \quad (2.27)$$

$$\frac{K_C}{K_E} \geq 10 \quad \text{Corrosão dominante} \quad (2.28)$$

As Equações 2.25 a 2.28, também podem ser utilizadas para definir regimes de comportamento aditivo, sinérgico e antagônico. A razão entre o aumento da taxa de corrosão (devido ao efeito da erosão) e a taxa de corrosão pura é utilizada como critério para definir a transição entre os diferentes níveis de regime com comportamento aditivo (SILVA, 2008; STACK e PUNGWIWAT, 2004).

$$\frac{\Delta K_{C^E}}{K_C^0} < 1 \quad \text{Baixo efeito aditivo} \quad (2.29)$$

$$1 \leq \frac{\Delta K_{C^E}}{K_C^0} < 10 \quad \text{Médio efeito aditivo} \quad (2.30)$$

$$\frac{\Delta K_{C^E}}{K_C^0} \geq 10 \quad \text{Alto efeito aditivo} \quad (2.31)$$

Já, a razão entre o aumento da taxa de erosão (devido ao efeito da corrosão) e a taxa de erosão pura é utilizada para definir os diferentes níveis de regime do comportamento sinérgico.

$$\frac{\Delta K_{EC}}{K_E^0} < 1 \quad \text{Baixo efeito sinérgico} \quad (2.32)$$

$$1 \leq \frac{\Delta K_{EC}}{K_E^0} < 10 \quad \text{Médico efeito sinérgico} \quad (2.33)$$

$$\frac{\Delta K_{EC}}{K_E^0} \geq 10 \quad \text{Alto efeito sinérgico} \quad (2.34)$$

Quando a sinergia for negativa, os níveis de efeito antagônico são definidos pela razão entre o aumento da taxa de erosão (devido ao efeito da corrosão) e a taxa de erosão pura.

$$\frac{\Delta K_{EC}}{K_E^0} < -1 \quad \text{Baixo efeito antagônico} \quad (2.35)$$

$$-1 \leq \frac{\Delta K_{EC}}{K_E^0} < -10 \quad \text{Médico efeito antagônico} \quad (2.36)$$

$$\frac{\Delta K_{EC}}{K_E^0} \geq -10 \quad \text{Alto efeito antagônico} \quad (2.37)$$

Segundo STACK *et al.* (1999) através destes critérios citados, mapas de desgaste podem ser construídos com o objetivo de identificar diferentes regimes de interação. Os mapas de erosão-corrosão são utilizados geralmente para mostrar visualmente uma representação das interações e dos efeitos isolados da erosão e da corrosão em função dos principais parâmetros de testes ou operacionais. Na Figura 2.16 tem-se um exemplo de mapa de desgaste erosivo-corrosivo para um aço carbono doce revestido por uma liga de bronze alumínio níquel (NAB) através da técnica de aspersão térmica hipersônica (HVOF), um aço carbono (aço 1020) não revestido e da liga bronze alumínio níquel fundida (CAST NAB). Mapas como este são bastante úteis quando se leva em consideração composições e resistência melhorada, nos quais são destacados aspectos mecânicos ou eletroquímicos que precisão ser inibidos (WOOD, 2007).

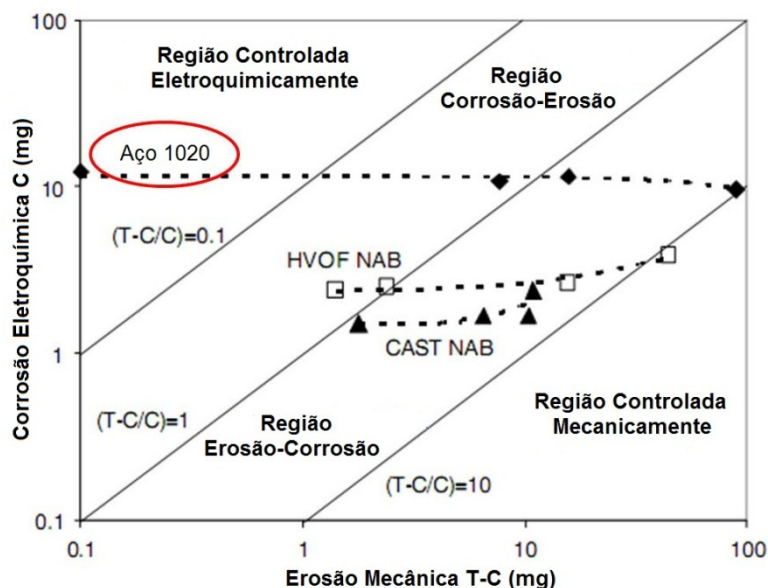


Figura 2.16 – Mapa de desgaste erosivo-corrosivo (perda de material eletroquímico *versus* perda de material mecânica) para o aço carbono AISI 1020 não revestido, para o mesmo aço revestido pela liga NAB, depositada por HVOF, e também para liga NAB fundida (CAST NAB); todos em condições de jato de impacto com 2% de areia em água do mar (adaptada de WOOD, 2007).

2.4.3 Erosão-corrosão na indústria petrolífera

Em sistemas de produção de petróleo e gás a erosão-corrosão devido a areia e um problema cada vez mais significativo (MALKA *et al.*, 2007) é comum se encontrar areia nas correntes de produção e quando a velocidade do fluxo é suficientemente alta, esta areia pode erodir as tubulações, válvulas e outros equipamentos da planta. O processo erosão-corrosão ocorre mais intensamente em estrangulamentos ou em desvios de fluxos, como cotovelos, curvas e ejetores de vapor (GOMES, 2005).

Segundo GOMES (2005) os métodos mais usuais para combater a erosão-corrosão são:

- a) emprego de materiais mais resistentes;
- b) alteração de projeto, visando modificações no formato ou geometria dos equipamentos;
- c) acréscimo de diâmetro de uma tubulação de modo a diminuir a velocidade do fluido, assegurando-lhe fluxo laminar;
- d) direção das tubulações de entrada para o centro de tanques, ao invés de colocá-las próximas às paredes laterais;

- e) modificações no meio corrosivo: desaeração e emprego de inibidores;
- f) revestimentos;
- g) proteção catódica; entre outros.

2.5 Cavitação

O termo cavitação vem da palavra do latim “*cavus*” que significa cavidade. Segundo a norma ASTM G32 – 10 a cavitação é definida como sendo um fenômeno que consiste na formação e subsequente colapso de bolhas ou “cavidades” contendo vapor e/ou gás, dentro de fases líquidas. Este fenômeno resulta de uma redução localizada da pressão hidrostática, produzida pela movimentação de líquido (escoamento) ou de uma superfície sólida (vibração) e acontece geralmente em máquinas hidráulicas, tais como: bombas, turbinas em componentes mecânicos: válvulas, hélices de navio e passagens internas de fluxo, contendo restrições. Quando a cavitação acontece próximo de superfícies, ocorrem golpes hidráulicos que resultam principalmente em vibração, ruído, perdas significativas de matéria, diminuição de eficiência e até sucateamento de componentes. Este desgaste resultante do fenômeno da cavitação é denominado de erosão por cavitação ou erosão cavitacional. KWOK *et al.* (2000) dizem que cavitação erosão refere-se ao dano devido ao processo de fadiga que ocorre na superfície do próprio material.

Durante o colapso das bolhas, um grande pulso de tensão é gerado e este é frequentemente acompanhado por um jateamento a alta velocidade do líquido que impinge superfícies sólidas em contato com o líquido. A rápida repetição de pulsos de tensão poderia induzir a falha por fadiga localizada e subsequente remoção de material. Se o ataque cavitacional causa remoção acelerada de um filme passivo existente ou camada de produto de corrosão, e se os mecanismos que determina a taxa total é a taxa de crescimento do filme ou camada, então o resultado da perda mássica de material refere-se à cavitação erosão-corrosão (KWOK *et al.*, 2000).

Segundo CUPPARI (2002) os mecanismos exatos pelos quais o desgaste acontece ainda não são totalmente entendidos, mas sabe-se que este é efetivamente provocado por um agregado de bolhas, também chamado de nuvem. As implosões ocorrem muito rapidamente, atingindo uma grande velocidade, em um curtíssimo intervalo de tempo, gerando assim diferentes interações líquido/sólido e uma alta concentração de energia nas imediações do colapso (SILVA, 2008).

MARQUES *et al.* (2001) dizem que dois mecanismos são aceitos para explicar a perda de material de superfícies sujeitas a cavitação. Um deles é a formação de ondas de choque e o outro é a formação de microjatos. O efeito mecânico da ação conjunta destes dois mecanismos pode resultar em modificações nas propriedades, e conseqüentemente, perda de material das superfícies cavitadas.

A formação de ondas de choque é provocada pelas perturbações do fluido durante sua movimentação. Pulsos de alta amplitude são gerados com a descontinuidade do escoamento e como conseqüência à superfície é submetida a impactos repetidos (CUPPARI, 2002). Autores, como KORNFELD e SUVOROV, e PLESSET e CHAPMAN, citados por CUPPARI (2002), dizem, respectivamente, que os modelos propostos para a formação dos microjatos de líquidos são baseados na instabilidade da simetria esférica da bolha quando se aproximam da superfície, e que simulações numéricas deste fenômeno estimam jatos de líquidos com velocidades de 130 m/s, resultando em pressões de impacto próximas de 2040 kgf/cm².

O processo erosivo por cavitação pode ser composto por diferentes períodos, tais como: incubação, aceleração, taxa máxima, atenuação e período terminal ou catastrófico, como representado na Figura 2.17a. Difícil de ser medido, o período de incubação é caracterizado por apresentar pouca ou nenhuma perda de massa, sendo necessário uma resolução mínima de 0,1 mg para sua identificação (SILVA, 2008). MEGED (2002) relatou em seu artigo que a condição superficial inicial da amostra, principalmente a tensão residual e a textura superficial deixada pelo processo de acabamento estão correlacionados com o tempo de incubação. Como observado na Figura 2.17b o tempo de incubação pode ser definido como o intercepto do prolongamento da reta de taxa máxima de erosão por cavitação com o eixo do tempo de exposição (SILVA, 2008).

O segundo período, denominado de aceleração, é caracterizado pelo início da perda do material previamente deformado (SILVA, 2008). O período estacionário está relacionado ao ataque de uma superfície homogeneamente encruada. A taxa de erosão neste período é máxima, podendo manter-se constante por curtos ou longos períodos. Após este estágio, segundo MARQUES *et al.* (2001), observa-se uma atenuação da taxa de erosão por cavitação, que está associada a dois fenômenos: um deles é a redução da pressão de colapso das bolhas na vizinhança de uma superfície rugosa e outro, o efeito do amortecimento pelo líquido retido nas

reentrâncias da superfície cavitada ou pelo ar, ou vapor contido no líquido na zona de cavitação.

O gráfico da perda de massa acumulada com o tempo (Figura 2.17b) é indicado para a determinação de alguns parâmetros que caracterizam a resistência à erosão por cavitação, tais como: tempo nominal de incubação, taxa máxima e taxa terminal de erosão por cavitação (SILVA, 2008).

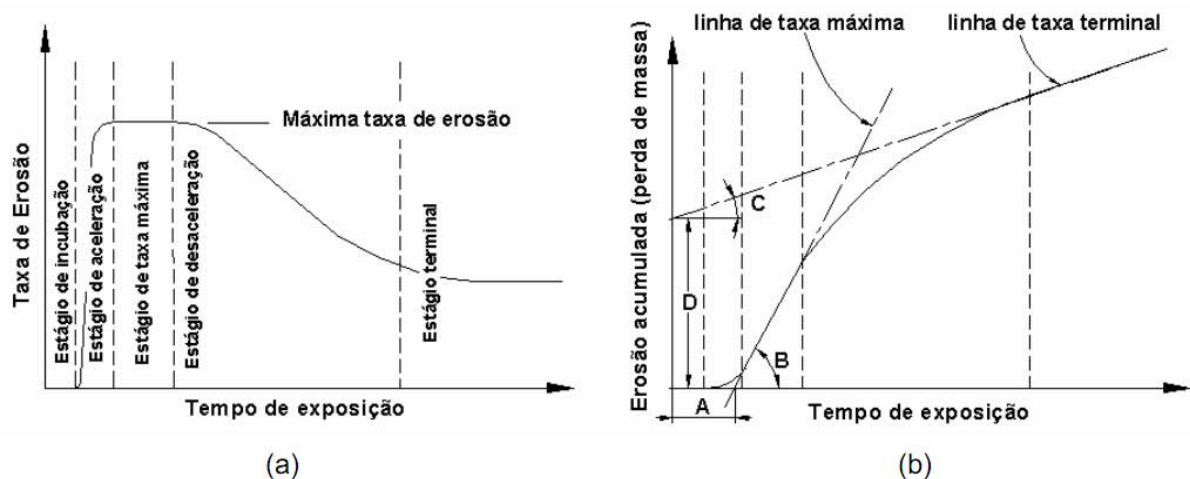


Figura 2.17 – Curvas que representam a erosão por cavitação segundo a norma ASTM G32 – 10. Em (a) tem-se características dos estágios da taxa de erosão cavitacional com o tempo; e em (b) parâmetros da curva de erosão por cavitação acumulada com o tempo, A → tempo nominal de incubação, tangente B → taxa máxima de erosão, tangente C → taxa terminal de erosão, e D → intercepto da linha terminal.

Segundo SILVA (2008), quando materiais de diferentes densidades são comparados, sugere-se que os dados de perda de massa sejam convertidos em perda de volume, e apresentados na forma de profundidade média de erosão por cavitação, que corresponde à espessura média de material removido. Esta é calculada dividindo-se a perda de massa pela densidade do material, obtendo-se o volume de material perdido, o qual é dividido pela área cavitada. Este valor dividido pelo tempo em horas fornece a taxa de redução de espessura do material devido à cavitação.

SILVA (2008), em sua tese, cita que pesquisadores procuram correlacionar propriedades mecânicas dos materiais com a resistência à erosão cavitacional e que as propriedades mecânicas podem apresentar, para um mesmo grupo de materiais ou ligas, boas correlações com a taxa de erosão cavitacional. De acordo com

BOCCANERA *et al.*(1998) *apud* SILVA (2008), dentre as propriedades, a dureza é tida como um dos principais parâmetros, porém, nem sempre ela apresenta uma boa correlação. A dureza tem uma boa correlação com a resistência à erosão por cavitação apenas quando se compara materiais da mesma família.

A erosão cavitacional não é controlada apenas por propriedades mecânicas, pois ela depende também do meio e das características microestruturais do material, tais como: estrutura cristalina, capacidade de encruamento, capacidade de transformação de fase e presença de uma segunda fase (CUPPARI, 2002). A Tabela 2.2 apresenta taxas de erosão cavitacional obtidas em ensaios de cavitação para alguns tipos de materiais, incluindo metais monofásicos, com diferentes estruturas, e polifásicos.

Tabela 2.2 – Taxas de erosão por cavitação para alguns materiais selecionados (adaptada de CUPPARI, 2002).

Material	Estrutura	Taxa de Erosão por Cavitação (mg/min)
Alumínio	Monofásico – CFC	0,500
Cobre	Monofásico – CFC	0,670
Níquel	Monofásico – CFC	0,290
Zinco	Monofásico – HC	1,670
Cobalto	Monofásico – HC	0,002
AISI 304	Austenita	0,030
SAE 1045	Ferrita + Perlita	0,060
AISI 347 (12% de ferrita)	Austenita + Ferrita	0,040
Aço Duplex	Austenita + Ferrita	0,030 – 0,190
Ligas fundidas de Fe-Cr-Ni-C	Austenita + Carbonetos	0,010 – 0,050

2.6 Resistência de polarização linear (RPL)

A técnica de Resistência de Polarização Linear (RPL) é baseada em uma teoria eletroquímica complexa. Para aplicações onde se requer medir a velocidade do processo corrosivo de modo mais rápido esta técnica foi simplificada. Sendo assim, foram desenvolvidos equipamentos que operam com conceitos mais básicos do que os equipamentos complexos que são utilizados em laboratórios (MAGALHÃES e PIMENTA, 2003).

O princípio fundamental desses equipamentos é a aplicação de uma pequena voltagem (ou polarização) a um eletrodo imerso em um eletrólito. A corrente necessária para manter um deslocamento específico do potencial de repouso

(potencial de corrosão), tipicamente 10 mV, está diretamente relacionada à corrosão na superfície do eletrodo imerso no eletrólito. Desse modo, medir essa corrente é também medir em qual velocidade a corrosão está ocorrendo na superfície do eletrodo (MAGALHÃES e PIMENTA, 2003).

Os instrumentos disponíveis comercialmente usam medidas de resistência de polarização linear para obter a resistência de polarização (R_p) e determinar a densidade de corrente de corrosão. A análise teórica da cinética mostra que uma aproximação pode ser usada para linearizar a inclinação ($\Delta E / \Delta i$) da curva de polarização (i vs E) no potencial de corrosão para obter R_p (Equação 2.38):

$$R_p = (\Delta E) / (\Delta i) \quad (2.38)$$

Onde: ΔE é a polarização a partir do potencial de corrosão, ou sobrepotencial ($E - E_{corr}$) (MAGALHÃES e PIMENTA, 2003).

A resistência de polarização é então convertida em densidade de corrente (i_{corr}) (Equação 2.39) por meio da constante de Stern-Geary (B) para a combinação metal/ambiente, em particular:

$$i_{corr} = B / R_p \quad (2.39)$$

Onde: a constante de Stern-Geary é uma combinação das inclinações de Tafel (b_a = anódico e b_c = catódico) (Equação 2.40):

$$B = (b_a \times b_c) / [2,303 \times (b_a + b_c)] \quad (2.40)$$

Os valores de b_a e b_c ou de B podem ser obtidos experimentalmente através das extrapolações de Tafel (Figura 2.18), de publicações ou de análises harmônicas (WOLYNEC, 2003; MAGALHÃES e PIMENTA, 2003).

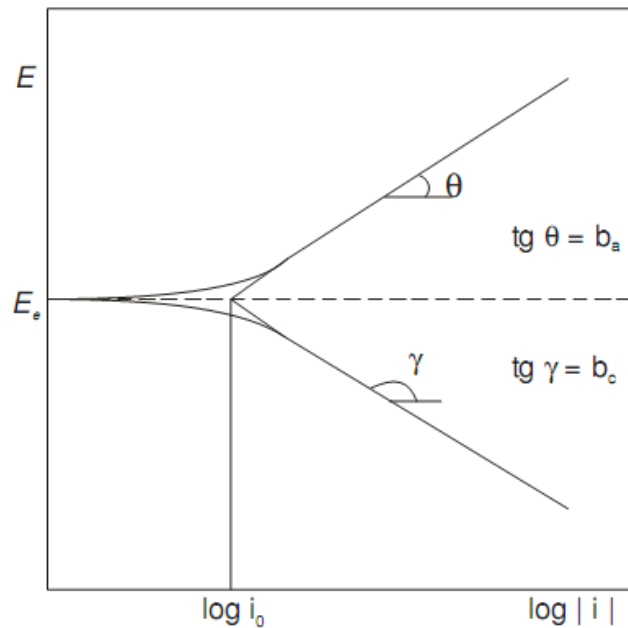


Figura 2.18 – Curvas de Tafel com extrapolações (adaptada de WOLYNEC, 2003)

Com base nos resultados experimentais de seu trabalho FOFANO e PONTE (2001) mostraram, que para a determinação de taxas de corrosão utilizando técnicas eletroquímicas é fundamental a utilização do coeficiente de Stern-Geary, obtido das constantes de Tafel do sistema sob análise.

A densidade de corrente (i_{corr}) pode ser convertida em taxa de corrosão (TC) pela lei de Faraday, caso o equivalente grama e a massa específica do metal, sejam conhecidos (WOLYNEC, 2003; MAGALHÃES e PIMENTA 2003):

$$TC = (K \times i_{corr} \times E_{gg}) / \rho \quad (2.41)$$

Onde: TC é a taxa de corrosão (mm/ano), K é uma constante ($3,27 \times 10^{-3}$ mm/ $\mu\text{A}\cdot\text{cm}\cdot\text{ano}$), i_{corr} é a densidade de corrente de corrosão ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$), E_{gg} é o equivalente grama (g) e ρ é a massa específica do material (g/cm^3).

Segundo TÁVORA (2007) o método de RPL é aplicável para obtenção de taxas de corrosão uniforme e é particularmente útil para comparação de inibidores e aços em sistemas com CO_2 .

Quando a técnica for utilizada para avaliar o tempo de vida dos equipamentos, recomenda-se correlacionar seus resultados aos de variação de massa. No entanto, para a avaliação da mudança de processos, onde o valor

absoluto da taxa de corrosão é menos crítico que a mudança em seu valor relativo, a RPL é bastante útil (MAGALHÃES e PIMENTA, 2003).

MAGALHÃES e PIMENTA (2003) apontam como vantagens e desvantagens desta técnica, os seguintes pontos:

- Vantagens:
 - A técnica de RPL é bem prática e pode ser usada com vantagens no laboratório e no campo.
 - Rapidez na determinação da taxa de corrosão e a sensibilidade para detectar pequenas variações no meio corrosivo, tais como mudança de pH, variação na concentração de inibidor, etc.
 - Exposição do corpo de prova a uma pequena variação de potencial, não alterando substancialmente sua superfície, de forma que a corrosão seja avaliada de forma longa e contínua.
- Desvantagens:
 - Empregada somente em meios que contenham fase aquosa (eletrólitos).
 - Técnica desenvolvida sobre os fundamentos de corrosão generalizada, fornecendo, portanto, pouca ou nenhuma informação sobre corrosão localizada.
 - Não é aconselhada para ambientes com H_2S , pois produtos de corrosão formados a partir deste gás, como os filmes de sulfeto de ferro (semicondutores, porosos, grande área superficial e capacitância), geram falsos resultados de taxa de corrosão.
 - Taxa de corrosão medida pode apresentar erros de 2 a 4 vezes no valor da taxa de corrosão, seja pelo erro na determinação da constante B ou pela existência de queda ôhmica em meios de alta resistividade;

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, os métodos (eletroquímico e não-eletroquímico) de avaliação do desgaste corrosivo, assim como também, os procedimentos para realização dos ensaios nas condições de desgastes propostas (sem agitação mecânica e borbulhamento de CO₂ (SAM), corrosivo-cavitativo (DC) e erosivo-corrosivo (DEC)), são apresentados neste capítulo.

3.1 Corpos de prova e eletrodos

Tanto os corpos de prova utilizados nos ensaios de variação mássica, como os eletrodos de trabalho usados nas medições de taxa de corrosão por RPL, foram confeccionados em aço carbono AISI 1018 (Figura 3.1), esta escolha foi devida este material apresentar características semelhantes ao que é empregado na fabricação de dutos. Na Tabela 3.1 é apresentada a análise química do aço, segundo a norma ASTM E350 – 00 (2000). Na norma NACE RP 0775 (1999) é mostrado o procedimento de confecção, acabamento, limpeza e acondicionamento dos corpos de prova.



Figura 3.1 – Imagem de um dos corpos de prova e/ou eletrodos de trabalho em aço carbono 1018.

Tabela 3.1 – Análise química do aço carbono AISI 1018 (Percentual em massa).

C	Cu	Cr	S	P	Mn	Mo	Ni	Si	Fe
0,18	-	-	0,05	0,04	0,85	-	-	-	98,88

O contra eletrodo e o eletrodo de referência utilizados na sonda RPL foram confeccionados em aço inoxidável 304 L (Figura 3.2). Na Tabela 3.2 tem-se a composição do aço inoxidável, a qual segue a norma ASTM A262 – 02.



Figura 3.2 – Imagem de um dos contra eletrodos e/ou eletrodos de referência em aço inoxidável 304 L.

Tabela 3.2 – Análise química do aço inoxidável 304 L (Percentual em massa).

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Fe
0,05	1,95	0,45	0,04	0,03	18,20	8,22	0,41	0,01	70,64

Os corpos de prova de variação de massa e os eletrodos da sonda RPL foram confeccionados a partir de tarugos comerciais. Estes possuem área superficial de 852,10 mm² e dimensões mostradas na Figura 3.3.

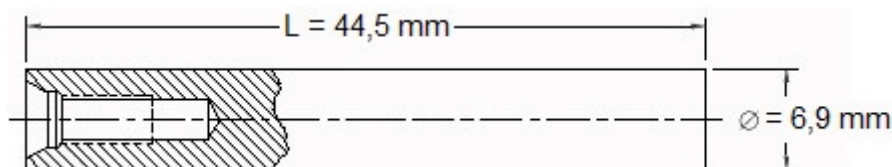


Figura 3.3 – Geometria e dimensões dos corpos de prova utilizados nos ensaios de variação de massa e dos eletrodos da sonda RPL (adaptada do catálogo METAL SAMPLES, 2005).

3.2 Descrição do sistema de teste (Célula de ensaios triboquímicos)

O sistema de teste é uma célula instrumentada fabricada sob encomenda (Figura 3.4 a 3.6), que teve como base a célula desenvolvida em nosso laboratório e usada por TÁVORA (2007) e CUNHA (2008), sendo a célula adaptada com uma sonda retrátil (medidas de taxa de corrosão por RPL), provador de variação mássica (Figura 3.4); e também com um oxímetro e peagâmetro (Figura 3.6).

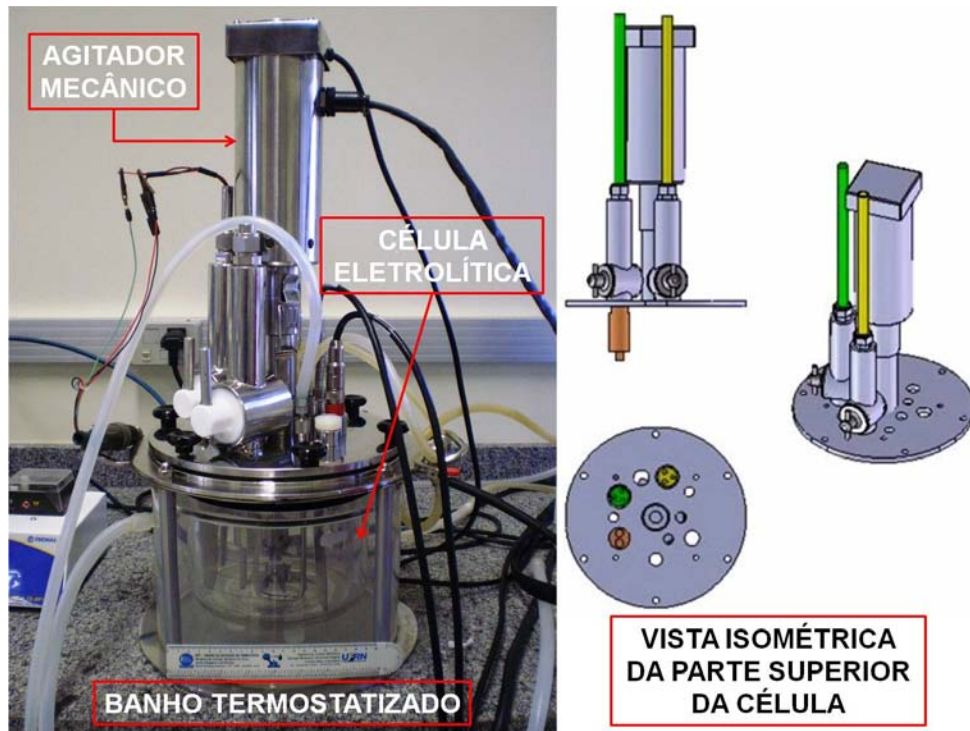


Figura 3.4 – Imagem mostrando a célula montada com todos seus componentes e a vista isométrica da parte superior da célula (tampa). Em verde tem-se a sonda retrátil para medidas de taxa de corrosão por RPL e em amarelo o provador de variação mássica.



Figura 3.5 – Vista da parte superior da célula (tampa) mostrando a posição de cada componente.

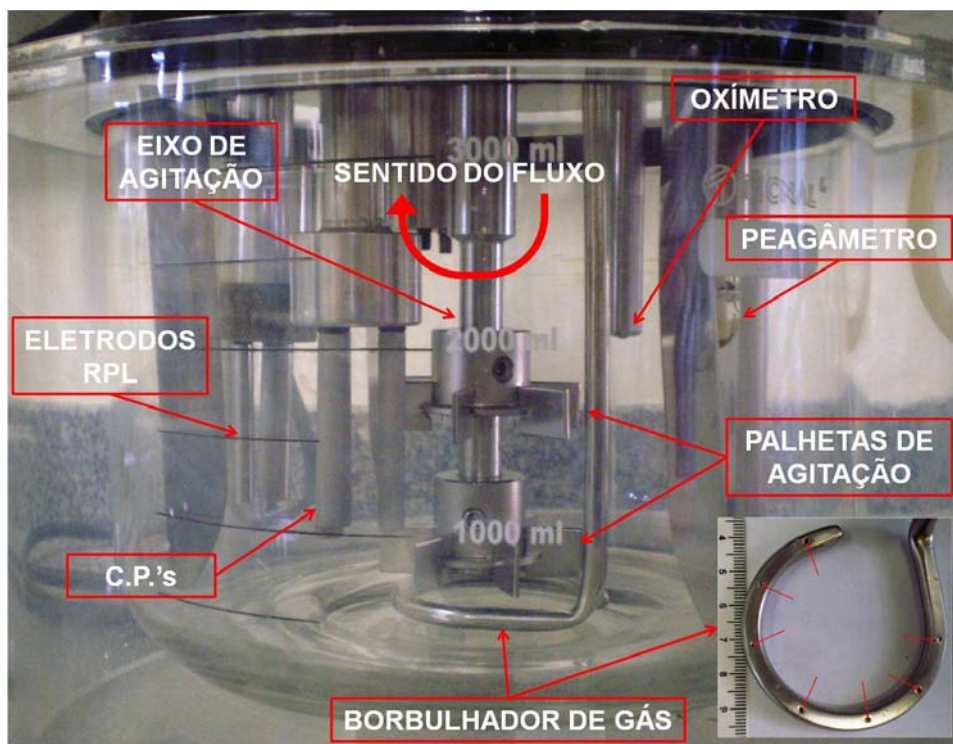


Figura 3.6 – Vista interna da célula mostrando o posicionamento dos componentes internamente e o sentido do fluxo dentro da célula.

3.3 Preparação do eletrólito

A solução com 10.000 ppm de cloreto (Cl^-) foi inicialmente preparada a partir do NaCl comercial, com correção de massa prévia aquecendo-se a amostra durante uma hora em estufa a $105 \pm 15^\circ\text{C}$ para remoção da água adsorvida existente. O NaCl foi dissolvido em água destilada conforme composição recomendada segundo norma ASTM D1193 – 06 (2011). A água utilizada foi obtida em um sistema de purificação por osmose reversa (Marca: Permutation e Modelo: RO/0210).

As características do eletrólito foram acompanhadas durante todo experimento pelos eletrodos de pH/Temperatura (Modelo: InPro[®] 3250/120/Pt100) e oxigênio (O_2) dissolvido (Modelo: InPro[®] 6800/12/120 Series O_2 Sensors), ambos da Mettler Toledo. A faixa de trabalho do peagâmetro é 0 a 14 pH (limites -2 a 16 pH) e precisão $\pm 0,01$ + erro da solução/eletrodo/calibração; a do medidor de temperatura é de 0 a 140°C ; e a faixa do oxímetro é de 0 a 100% de O_2 .

3.4 Particulado sólido (sílica – SiO₂)

O particulado sólido utilizado como contaminante foi um óxido de silício (SiO₂) (areia de rio). Este particulado foi caracterizado, quanto à composição elementar por fluorescência de raios X (FRX), quanto à análise cristalográfica por difração de raios X (DRX), e o tamanho de partícula por granulometria a laser, seguindo os seguintes métodos:

A análise de FRX foi realizada num equipamento da marca Shimadzu modelo XRF-1800 Sequencial, neste é empregada a metodologia de dispersão por comprimento de onda (WD-XRF), sendo sua faixa de detecção do sódio (Na – Z = 11) ao urânio (U – Z = 92) e radiação RhK α ($\lambda = 0,615 \text{ \AA}$), no modo semi-quantitativo e no qual o particulado encontrava-se na forma de pastilha prensada. Este foi prensado, em uma prensa hidráulica, com ácido bórico (H₃BO₃) na proporção 5:1 (ácido bórico:amostra), na pressão de 20.000 libras e com o tempo de 1 minuto. O particulado apresentou a seguinte composição (Tabela 3.3):

Tabela 3.3 – Fluorescência de raios X do SiO₂ (Percentual em massa).

Fe	Ca	Na	K	Mn	Mg	S	Si	Al
1,10	0,49	0,06	2,68	0,13	0,15	0,13	21,65	1,73

A difração de raios X foi realizada em um equipamento da marca Shimadzu modelo LabX XRD – 6000, com radiação CuK α ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$) e varredura de 10° a 80° com uma taxa de 1°/min. O difratograma obtido foi analisado pelos programas *Search Match* v.3.01 e *Basic Process* da Shimadzu com banco de dados do JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*). O mineral foi identificado como quartzo (SiO₂) e carta do banco de dados do JCPDS, 79-1906. Na Figura 3.7 é apresentado o difratograma evidenciando a fase presente.

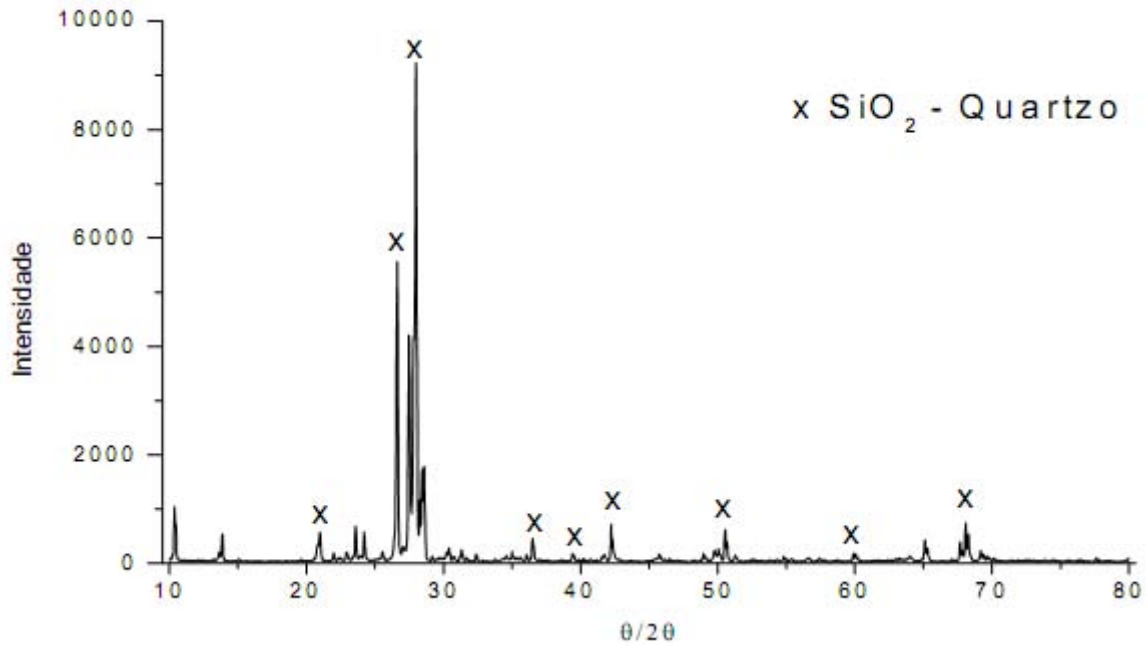


Figura 3.7 – Difratoograma do particulado evidenciando a presença do quartzo (SiO_2).

O método utilizado para medir o tamanho de partícula foi granulometria por dispersão a laser. O meio dispersante utilizado na análise foi água destilada. Equipamento marca Microtrac e modelo S3500. O particulado (Figura 3.8) apresentou tamanho médio de partícula igual a $264 \pm 8 \mu\text{m}$.

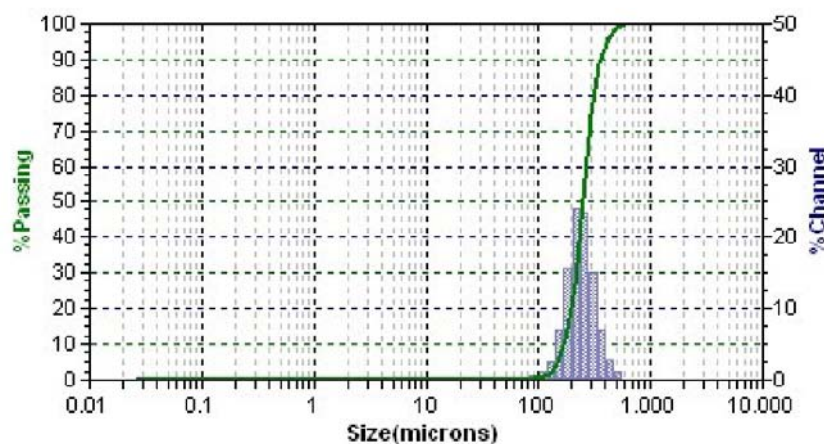


Figura 3.8 – Distribuição granulométrica do particulado (SiO_2). Diâmetro Médio = $264 \pm 8 \mu\text{m}$.

3.5 Procedimento de condicionamento (desengraxe) dos corpos de prova

Os corpos de prova, antes do ensaio, passam por um processo de desengraxe inicialmente, com água e sabão, seguido de álcool isopropílico e acetona em banho ultrassônico. Após etapa de limpeza os corpos são secos com ar

quente. Os eletrodos de aço inoxidável também passam pelo mesmo processo de limpeza.

3.6 Limpeza da célula e periféricos

A célula de vidro, a sonda, as hastes e as hélices do agitador mecânico (aço inoxidável) são lavadas com água e sabão, seguido de água destilada, álcool isopropílico e acetona. Em seguida as mesmas são secas com ar quente.

Os eletrodos de pH e O₂ são lavados com água corrente e água destilada, em seguida, são limpos com algodão embebido em álcool isopropílico.

3.7 Programação da MultiLog

A captura das medidas eletroquímicas dá-se através da MultiLog que faz o armazenamento de dados para posterior análise. A programação da MultiLog é feita através do *software* MultiTrend V3.09, da CorrOcean ASA.

A MultiLog, equipamento utilizado nas medições de taxa de corrosão por RPL, foi programada pelo MultiTrend através do cabo de comunicação com o PC para efetuar leituras em intervalos de 10 minutos durante as 24 horas do ensaio. Para as leituras de RPL é utilizado a área do eletrodo de trabalho e o valor de $B = 24$ mV, é um valor que foi determinado através da curva de Tafel para este eletrodo em meio salino (10.000 ppm de Cl⁻).

3.8 Sequência dos ensaios triboquímicos

Os corpos de prova, antes de cada ensaio, foram marcados em suas seções transversais com uma agulha, desta maneira foi possível posicionar os corpos de provas contra o fluxo de agitação dentro da célula. A geratriz onde o fluxo incide foi denominada de 0° (montante) e as outras, seguindo o sentido horário, 90°, 180°(jusante) e 270° (Figura 3.9). Além das marcações feitas anteriormente os quatros corpos de provas ensaiados são numerados como na Tabela 3.4.

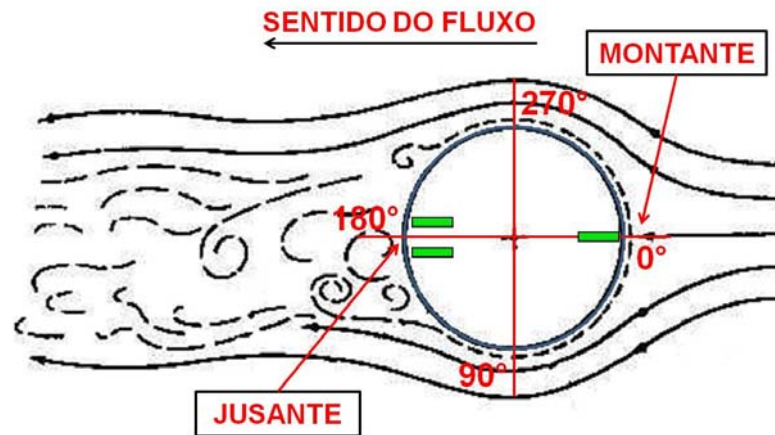


Figura 3.9 – Imagem esquemática, mostrando a posição do copo de prova em relação ao fluxo do fluido dentro da célula (adaptada do site www.feng.pucrs.br, 2012)

Tabela 3.4 – Análises realizadas em cada corpo de prova (C.P.).

Numeração dos C.P.'s	Técnicas estudadas
C.P.0	Eletrodo de trabalho (RPL)
C.P.1	Rugosidade e ondulação
C.P.2	Microdureza Vickers (HV)
C.P.3	

C.P.'s para medição de variação mássica (triplicata).

Foram realizados nove ensaios, sendo três à temperatura de $30 \pm 3^\circ\text{C}$ e seis a $70 \pm 3^\circ\text{C}$, como mostrado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Condições de desgaste dos ensaios e temperatura em que foram realizados.

Condição de desgaste	Temperatura ($^\circ\text{C}$)
SAM	30 ± 3
	70 ± 3
	70 ± 3
DC	30 ± 3
	70 ± 3
	70 ± 3
DEC	30 ± 3
	70 ± 3
	70 ± 3

SAM → Sem agitação mecânica e borbulhamento de gás;

DC → Desgaste corrosivo-cavitativo;

DEC → Desgaste erosivo-corrosivo

Todos os ensaios nas condições DC e DEC estavam sob o efeito de agitação mecânica a 750 ± 4 rpm e borbulhamento de gás constantemente. A faixa de trabalho do agitador utilizado é de 100 a 1000 rpm com resolução e controle de 1 rpm.

- Ensaio de desgaste corrosivo-cavitativo (DC)

O ensaio é iniciado com a salmoura (eletrólito) e agitação. Os eletrodos de pH e O₂ estão presentes no meio desde o início do ensaio, ainda com o meio aerado. O nitrogênio (N₂) 5.0 (99,999%) é então injetado durante 1 hora a uma pressão parcial de N₂ igual a 1 bar para o meio ficar totalmente desaerado. Decorrido este tempo e com o meio já estando totalmente desaerado, é então, injetado o dióxido de carbono (CO₂) 3.0 (9,99%) na vazão de aproximadamente 5 L/min, juntamente com a sonda de RPL e o provador de variação de massa. A partir deste momento o ensaio tem duração de 24 horas.

- Ensaio de desgaste erosivo-corrosivo (DEC)

O ensaio se inicia com a salmoura, os particulados sólido (80 g) (SiO₂) e agitação. Os eletrodos de pH e O₂ estão presentes no meio desde o início do ensaio, ainda com o meio aerado. O nitrogênio é então injetado durante 1 hora a uma pressão parcial de N₂ igual a 1 bar para o meio ficar totalmente desaerado. Decorrido este tempo e o meio já estando totalmente desaerado, é então, injetado o dióxido de carbono na vazão de aproximadamente 5 L/min, até o final do ensaio, logo em seguida, a sonda de RPL e o provador de variação de massa também são inseridos. A partir deste momento o ensaio tem duração de 24 horas.

- Ensaio sem agitação mecânica e borbulhamento de CO₂ (SAM)

O ensaio é iniciado com a salmoura (eletrólito) e agitação. Os eletrodos de pH e O₂ estão presentes no meio desde o início do ensaio, ainda com o meio aerado. O nitrogênio é então injetado durante 1 hora a uma pressão parcial de N₂ igual a 1 bar para o meio ficar totalmente desaerado. Decorrido este tempo e com o meio já estando totalmente desaerado, é então, injetado o dióxido de carbono na vazão de aproximadamente 5 L/min, juntamente com a sonda de RPL e o provador de variação de massa, durante um período de 10 minutos para saturação do meio, logo após, a agitação e o borbulhamento são desligados. A partir deste momento o ensaio tem duração de 24 horas.

Após os ensaios os corpos de prova são limpos com acetona em banho ultrassônico, para medição da taxa de desgaste, em seguida são registradas fotografias das geratrizes dos corpos e realizada as medidas de microdureza Vickers (HV) e rugosidade superficial média (Ra).

3.9 Determinação da taxa de desgaste por variação mássica (limpeza em banho ultrassônico)

Ao final de cada ensaio os corpos de prova são limpos em banho ultrassônico com acetona por 20 minutos, para a remoção dos produtos de corrosão menos aderentes na superfície do C.P. Por fim, são secos em ar quente e pesados em balança analítica, marca Tecnal e modelo B-TEC-210 A, com precisão de décimo de miligrama.

A taxa de corrosão é calculada de acordo com a Equação 3.1, segundo a ASTM G1 – 03 (2011):

$$TC = \frac{K.W}{A.t.D} \quad (3.1)$$

Onde: TC – taxa de corrosão (mm/ano); K – é uma constante ($8,76 \times 10^4$); W – variação de massa (g); A – área (cm^2); T – tempo de exposição (h); D – massa específica (g/cm^3).

3.10 Medições de microdureza Vickers (HV)

As medições de microdureza Vickers (HV) (equipamento Panambra/Pantec, modelo HVS – 1000) foram realizadas nas geratrizes (seção longitudinal) do corpo de prova a 0° e 180° ; após cada ensaio e, também, em um corpo de prova selecionado aleatoriamente, não ensaiado. Desta forma sendo possível determinar a dureza das possíveis camadas (produto de corrosão e/ou endurecimento superficial) promovidas pelas condições dos ensaios.

As cargas utilizadas foram: 50 gf, 100 gf e 200 gf; sendo realizadas 21 impressões, com tempo de 15 segundos de permanência do indentador, para cada carga, ao longo de cada geratriz (Figura 3.10) e distância de 750 μm entre cada

impressão, com o objetivo de tentar identificar as subcamadas provenientes tanto do processo corrosivo quanto da ação mecânica da cavitação e da erosão. Os dados coletados foram posteriormente comparados estatisticamente utilizando-se o software *Statgraphics® Centurion XVI*, com 95% de certeza estatística.

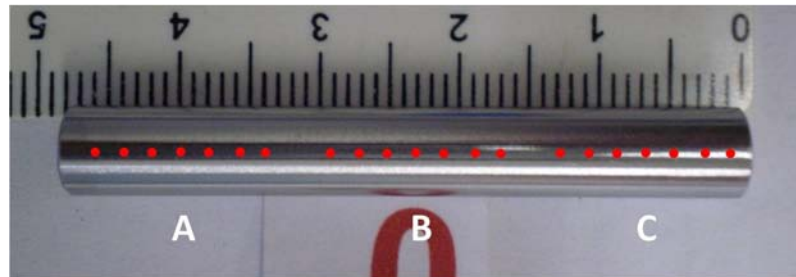


Figura 3.10 – Figura esquemática mostrando como foram realizadas as medições de microdureza Vickers nas geratrizes dos C.P.'s.

As amostras foram usinadas por retificação e apresentaram uma superfície bastante heterogênea, na qual é observada a presença de inclusões (Figura 3.11 – elipse vermelha), formação de proa (Figura 3.11 – elipse amarela) e sulcamento ocasionadas pela usinagem, tal heterogeneidade pode conferir uma dureza mais elevada na superfície dos C.P. através da modificação nas tensões residuais superficiais (MEDEIROS, 2002). Observa-se também que este acabamento (Figura 3.11) assemelha-se ao realizado em dutos de transporte de petróleo, gás natural e seus derivados, desta forma tem-se condições bem parecidas com a realidade do campo.

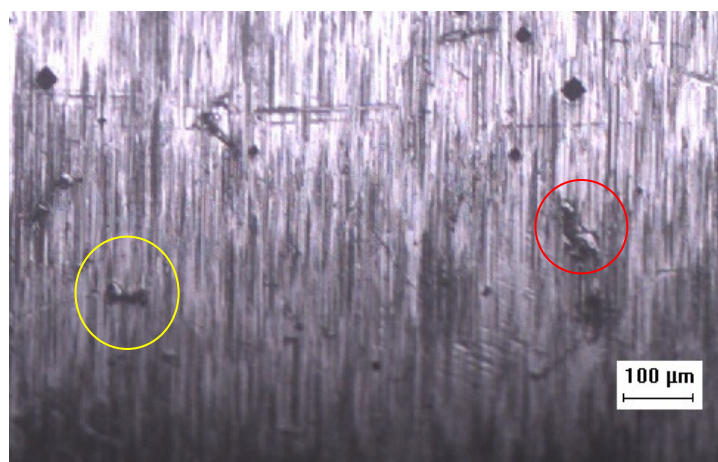


Figura 3.11 – Micrografia (100x) mostrando a superfície de uma das amostras, não ensaiada, logo após o ensaio de microdureza Vickers.

3.11 Medições de rugosidade e ondulação

Medidas de rugosidade e ondulação (Figura 3.12) foram obtidas nas geratrizes (seção longitudinal) do corpo de prova a 0° e 180°; após cada ensaio e, também, em um corpo de prova selecionado aleatoriamente, não ensaiado, utilizando-se um rugosímetro portátil modelo *Surtronic 25*, da marca Taylor Hobson. O rugosímetro foi conectado ao computador via conexão RS232/USB. Os dados eram coletados e manipulados através do software *Talyprofile Silver Edition*, da Taylor Hobson. Com o auxílio desse software, foi possível traçar o perfil de rugosidade (topografia) do trecho medido, bem como obter outros parâmetros de rugosidade. Em todas as medições, usou-se um apalpador padrão com raio de 10 μm e *cut-off* de 0,8 mm. Posteriormente, os dados coletados foram comparados estatisticamente utilizando-se o software *Statgraphics® Centurion XVI*, com 95% de certeza estatística.

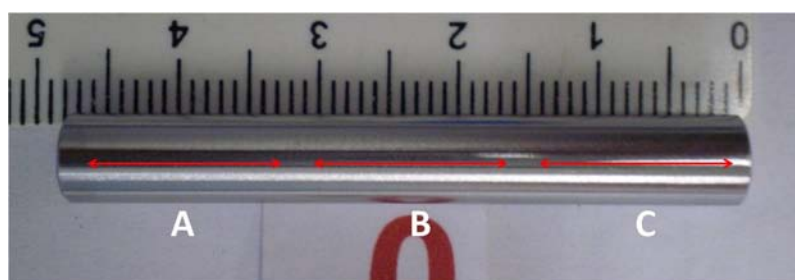


Figura 3.12 – Esquema mostrando como foram realizadas as medições de rugosidade e ondulação superficial nas geratrizes dos C.P.'s.

3.12 Elaboração dos gráficos de taxa de corrosão por RPL

O MultiTrend V3.09 é um software da CorrOcean ASA que faz o monitoramento da corrosão. Este software gera para a sonda RPL gráficos diretos de taxa de corrosão em função do tempo utilizando os dados citados no item 3.7.

A fim de facilitar a interpretação, estes dados são exportados para a planilha eletrônica e, posteriormente, foram tratados separando-os em 12 grupos cada um com duas horas de medidas de taxa de desgaste ($\mu\text{m}/\text{ano}$) e por fim transformados em gráficos *box and plot*.

3.13 Caracterização superficial de um C.P. não ensaiado

Os resultados apresentados no Quadro 3.1 mostram que os corpos de prova utilizados nos ensaios possuem grande dispersão tanto nos valores de microdureza quanto nos de rugosidade superficial. Estes valores juntamente com o que foi visualizado na Figura 3.11, sugerem que os corpos de prova utilizados no ensaio possuem superfície não uniforme. Esta não uniformidade pode influenciar nos resultados das taxas de desgaste corrosivo.

Quadro 3.1 – Resultados (máx e mín) de microdureza Vickers e dos parâmetros de rugosidade superficial das geratrizes a montante (0°) e a jusante (180°) de um corpo de prova não ensaiado.

HV_{0,05}	190 – 263	220 – 275	195 – 290	0°
HV_{0,10}	230 – 280	230 – 280	245 – 310	
HV_{0,20}	235 – 270	230 – 290	240 – 290	
Rsm	35 – 42	30 – 43	35 – 44	
Ra	0,23 – 0,27	0,19 – 0,23	0,23 – 0,34	
Rq	0,29 – 0,35	0,25 – 0,30	0,31 – 0,45	
Rz	1,6 – 2,5	1,3 – 2,1	1,9 – 2,5	
	A	B	C	
Rz	2,1 – 2,6	1,9 – 2,3	1,8 – 3,0	180°
Rq	0,33 – 0,40	0,33 – 0,37	0,35 – 0,49	
Ra	0,25 – 0,32	0,26 – 0,29	0,26 – 0,37	
Rsm	40 – 46	39 – 54	36 – 70	
HV_{0,20}	240 – 295	220 – 300	215 – 255	
HV_{0,10}	220 – 305	255 – 290	220 – 270	
HV_{0,05}	240 – 295	215 – 270	240 – 270	

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de desgaste corrosivo obtidos por RPL e por variação mássica; as medições de microdureza Vickers, rugosidade e ondulação superficial; as imagens macroscópicas dos corpos de prova após ensaio; e suas respectivas discussões, são expostas neste capítulo.

4.1 RPL

Os resultados de taxa de desgaste por RPL são apresentados da Figura 4.1 a 4.9 no formato *box and plot*. Na Figura 4.1 é observado nas 12 primeiras horas de ensaio, intervalos (0 a 2, 4 a 6 e 8 a 10 horas) com maior dispersão nos valores do que nos outros, no quarto quartil, o que sugere momentos de passivação e despassivação da superfície. Há também, uma diminuição na taxa até um valor mínimo, no intervalo de 6 a 8, com uma posterior tendência ao aumento na taxa de desgaste. Comportamento influenciado, possivelmente, pela físico-química da reação de oxidação do ferro nas 12 primeiras horas de ensaio e que teve continuidade logo após, mas com menor intensidade.

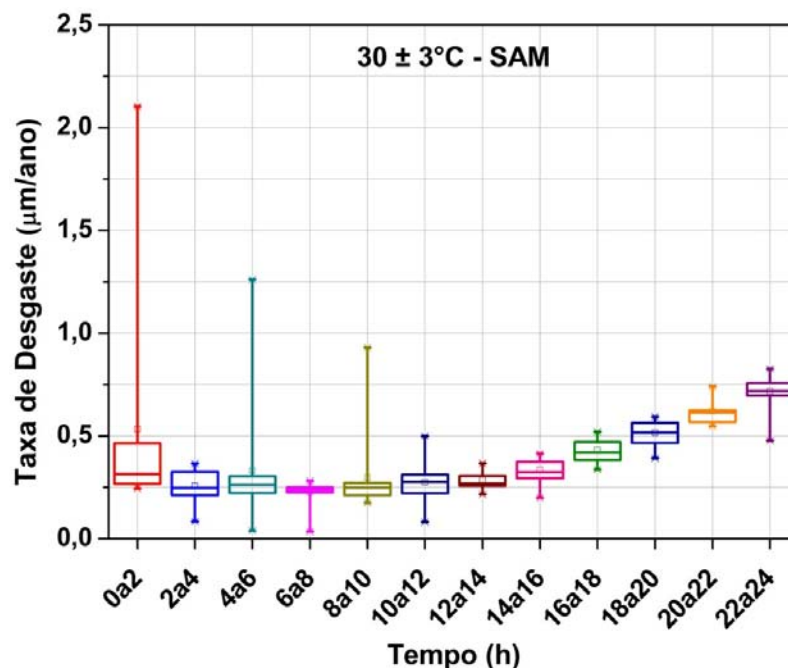


Figura 4.1 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição SAM a $30 \pm 3^\circ\text{C}$.

A Figura 4.2a e 4.2b representam o ensaio na condição SAM à temperatura de 70°C, é observado que a taxa de desgaste alcançou valores (25 µm/ano) com uma ordem de grandeza em relação ao ensaio anterior (Figura 4.1). Nas primeiras horas de ensaio nota-se também um aumento no valor da mediana (~ 3 → 7,5 µm/ano), mas a média dos valores permanece a mesma (~ 10 µm/ano) com diminuição na dispersão ocasionada pela passivação da superfície. Após 4 horas há o rompimento de um filme e com recuperação deste logo em seguida às 6 horas de ensaio através da passivação, a taxa de desgaste segue com uma tendência central em torno de 20 µm/ano até às 14 horas quando a taxa tende a diminuir devido à passivação da superfície do eletrodo. Segundo KERMANI e MORSHED (2003) um aumento na taxa de precipitação do FeCO₃ a temperaturas elevadas poderia explicar por que a taxa de desgaste corrosivo foi a um nível máximo.

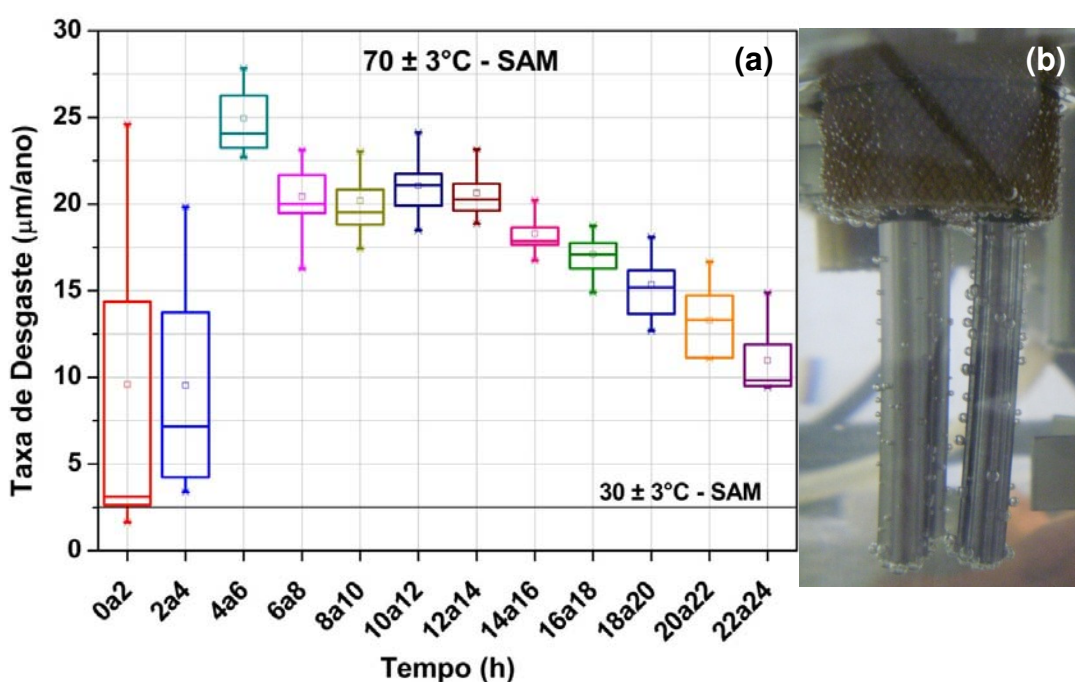


Figura 4.2 – (a) Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição SAM a 70 ± 3°C e (b) bolhas ancoradas na superfície dos eletrodos após saturação de gás.

A repetição (Figura 4.3) do ensaio anterior mostrou comportamento semelhante, desta forma confirmando que a temperaturas acima de 60°C é possível formar filmes protetores de FeCO₃ na superfície do aço carbono, como foi relatado por KERMANI e MORSHED (2003) em seu trabalho. Nas duas primeiras horas foi

observada baixa taxa de desgaste ocasionada, possivelmente, pela presença de um filme protetor de oxidação do próprio corpo de prova antes do ensaio. Logo após estas duas horas o filme passivado rompe aumentando a dispersão dos valores. Posteriormente, às 4 horas de ensaio, a tendência central gira em torno de $20 \mu\text{m}/\text{ano}$ até 10 horas e logo em seguida a taxa tende a diminuir devido a passivação da superfície.

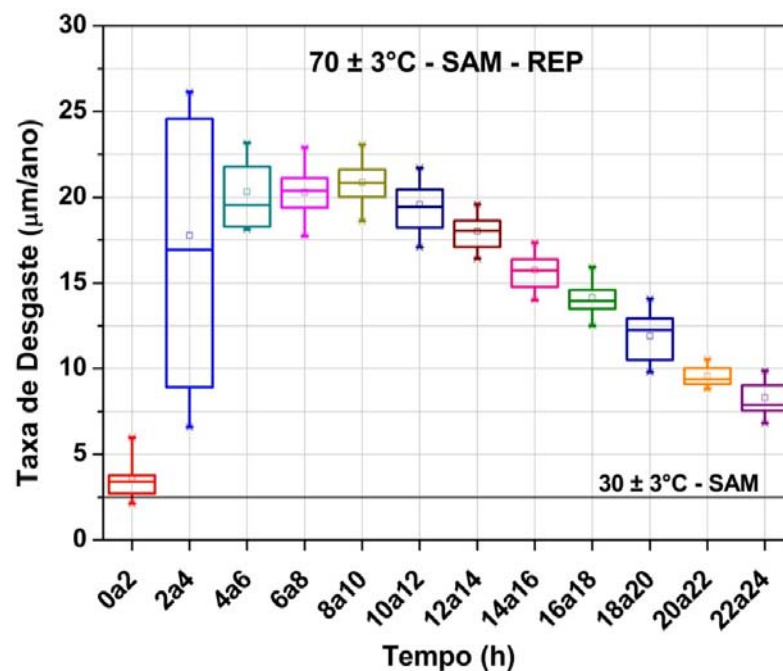


Figura 4.3 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição SAM a $70 \pm 3^\circ\text{C}$, repetição.

O ensaio de desgaste corrosivo-cavitativo à temperatura de 30°C , representado pela Figura 4.4, apresentou taxas de desgaste elevada nas duas primeiras horas de ensaio como observado no quarto quartil da caixa do intervalo de 0 a 2, este apresentado grande dispersão nos valores. Através da mediana é possível visualizar uma tendência à diminuição até 2,7 milhões de ciclos o que implica na passivação da superfície e em seguida a taxa tende a permanecer constante até o fim do ensaio sem ser afetada pela hidrodinâmica.

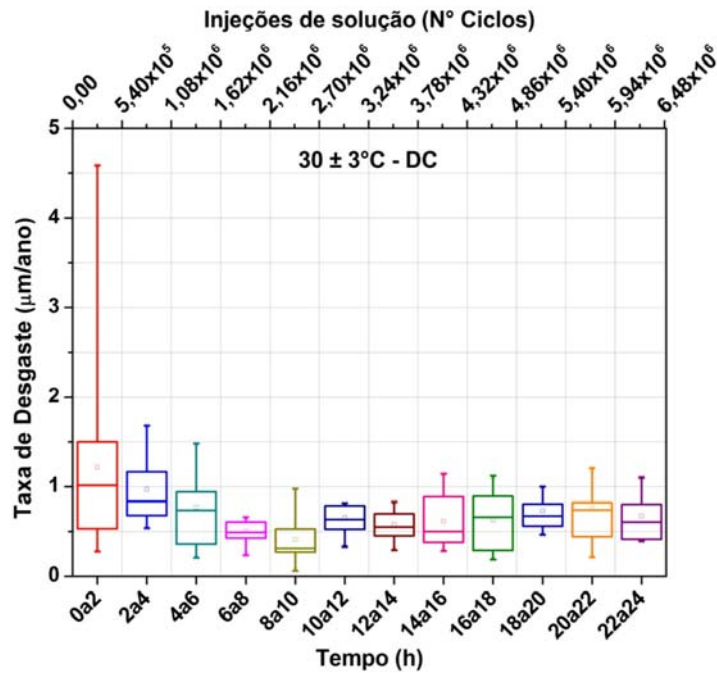


Figura 4.4 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição DC a 30 ± 3°C.

Para o ensaio de desgaste corrosivo-cavitativo a 70°C e sua repetição (Figuras 4.5 e 4.6) são observados comportamentos semelhantes até 5,4 milhões de ciclos quando a partir deste momento tem-se a primeira uma curva monotonicamente crescente (Figura 4.5) e na segunda uma curva sigmoidal (Figura 4.6), ou seja, nota-se a presença de uma bifurcação após 5,4 milhões de ciclos, fenômenos que dependem da textura superficial do eletrodo, dos filmes formados, da hidrodinâmica e da temperatura.

A ação hidrodinâmica (Taylor-Couette) associada à presença de bolhas de gás e a elevada temperatura, mostrou forte influência nos ensaios de desgaste corrosivo-cavitativo (Figuras 4.5 e 4.6), ou seja, a passivação foi possível até determinado ponto, havendo a quebra do filme devido a forças hidrodinâmicas atuantes (RUZIC *et al.*, 2006) auxiliadas, também, pela cavitação e temperatura.

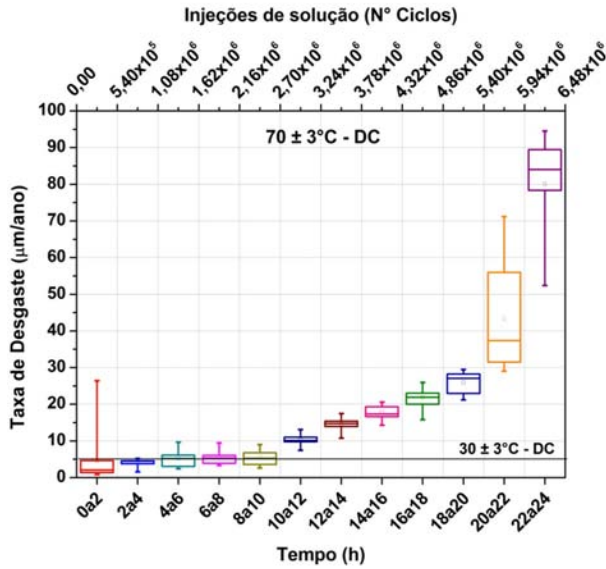


Figura 4.5 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição DC a $70 \pm 3^\circ\text{C}$.

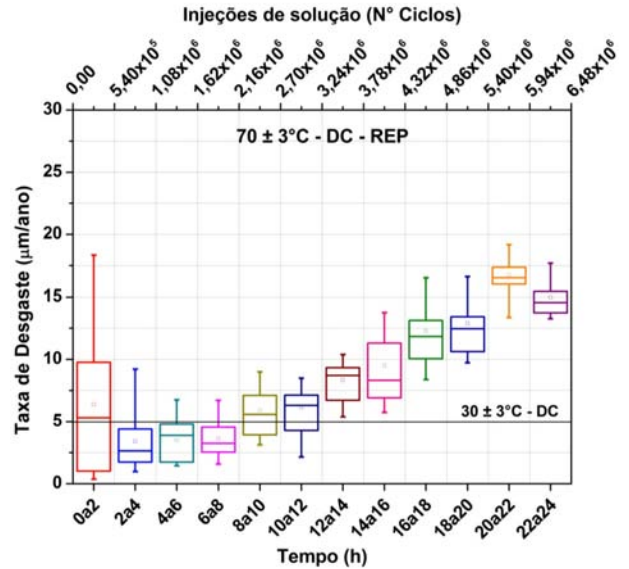


Figura 4.6 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição DC a $70 \pm 3^\circ\text{C}$, repetição.

Para o ensaio de desgaste erosivo-corrosivo a 30°C (Figura 4.7) ao observar-se a média e a mediana nota-se que existe uma tendência central em torno de $1 \mu\text{m/ano}$, ou seja, neste caso os particulados inibiram o processo corrosivo através do jateamento superficial. Além disso, intervalos de elevada dispersão também são observados o que implica na despassivação da superfície devido ao rompimento do filme pelos particulados.

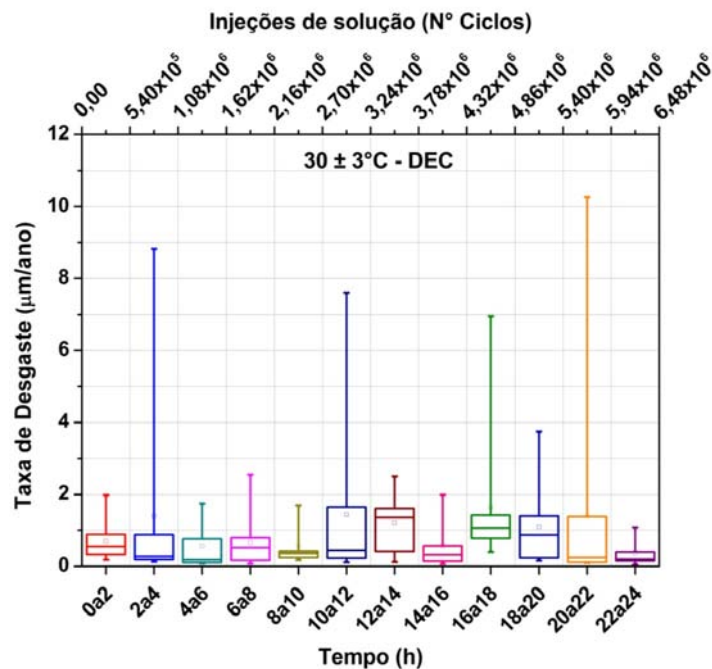


Figura 4.7 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição DEC a $30 \pm 3^\circ\text{C}$.

Para o ensaio de DEC a 70 °C, representado pela Figura 4.8, nas 4 primeiras horas é observado uma tendência central em torno de 2 µm/ano. Com 1 milhão de ciclos há um aumento na dispersão dos valores e a tendência central gira em torno de 5 µm/ano, como observado através da média e da mediana. Logo após 3,2 milhões de ciclos ocorre o rompimento catastrófico do filme e conseqüentemente a dispersão das medidas aumenta até o fim do ensaio.

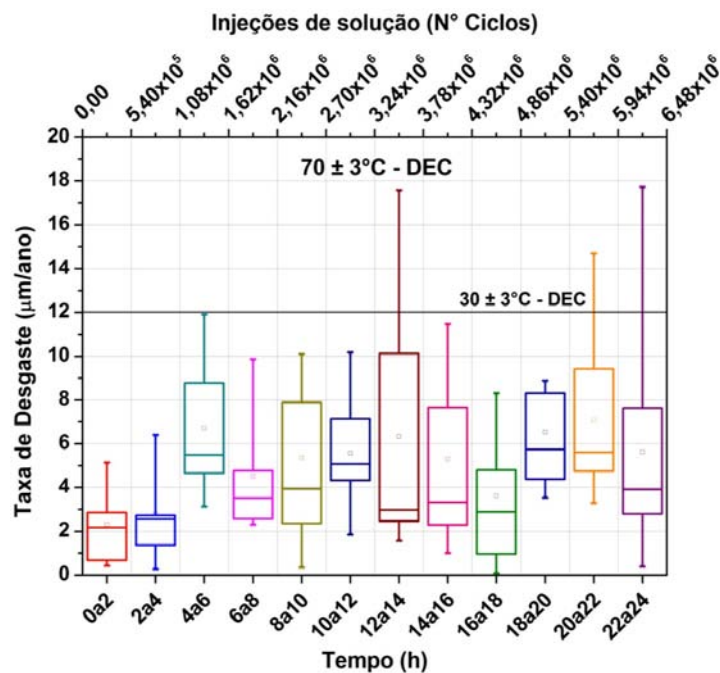


Figura 4.8 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição DEC a 70 ± 3°C.

A repetição do ensaio anterior (Figura 4.8), representado pela Figura 4.9, apresentou comportamento semelhante, mas com menor dispersão dos valores da taxa de desgaste. Levando-se em consideração a média e a mediana foi possível contestar que, com 1,6 milhões de ciclos é observado uma elevação nos valores da taxa e tendência central em torno de 4 µm/ano, logo após 3,8 milhões de ciclos há o rompimento do filme formado e nota-se uma tendência a diminuição dos valores. E, por fim, com 5,9 milhões de ciclos há o rompimento catastrófico do filme.

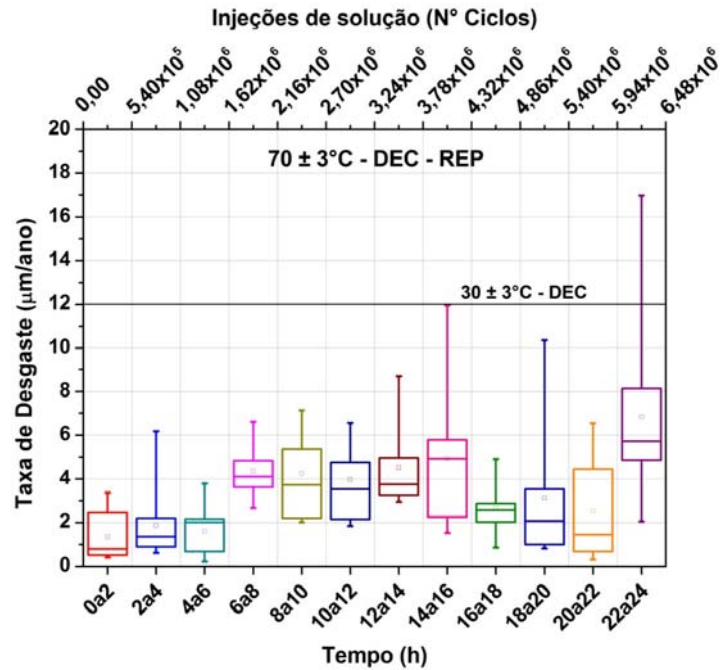


Figura 4.9 – Gráfico da taxa de desgaste por RPL para a condição DEC a $70 \pm 3^\circ\text{C}$, repetição.

4.2 Taxa de desgaste por variação mássica

A RPL mede o desgaste devido à corrosão, obtendo informações de variações de corrente na área superficial do C.P., informações estas que são fortemente influenciadas por perturbações do sistema, como a hidrodinâmica, por exemplo, enquanto, a taxa de desgaste, medida por variação mássica, leva em consideração a massa perdida pelo C.P. Através da taxa de desgaste por variação mássica (Tabela 4.1) observa-se que, mudanças nas condições de desgaste elevam o valor da taxa ($5 \rightarrow 9 \rightarrow 15$ mm/ano) para ensaios realizados a temperatura de 70°C , ou seja, o sinergismo pode estar atuando fortemente.

Tabela 4.1 – Tabela das taxas de desgaste medidas por variação mássica após limpeza com banho ultrassônico ao final de cada ensaio.

Condição	Temperatura	Taxa de Desgaste (mm/ano)
SAM	30 ± 3	3,0968
	70 ± 3	5,8040
	70 ± 3	5,8885
DC	30 ± 3	5,0915
	70 ± 3	9,3587
	70 ± 3	9,1461
DEC	30 ± 3	5,1514
	70 ± 3	14,6109
	70 ± 3	15,0959

4.3 Microdureza Vickers (HV)

As Figuras 4.10a (dispersão das medidas) e 4.10b apresentam os resultados em que existe diferenças estaticamente significativa da microdureza Vickers $HV_{0,05}$, $HV_{0,10}$, em três zonas de duas geratrizes, a montante (0°) e a jusante (180°) do C.P. cilíndrico não ensaiado, utilizando-se respectivamente, três magnitudes de carga: 50 gf, 100 gf, e 200 gf.

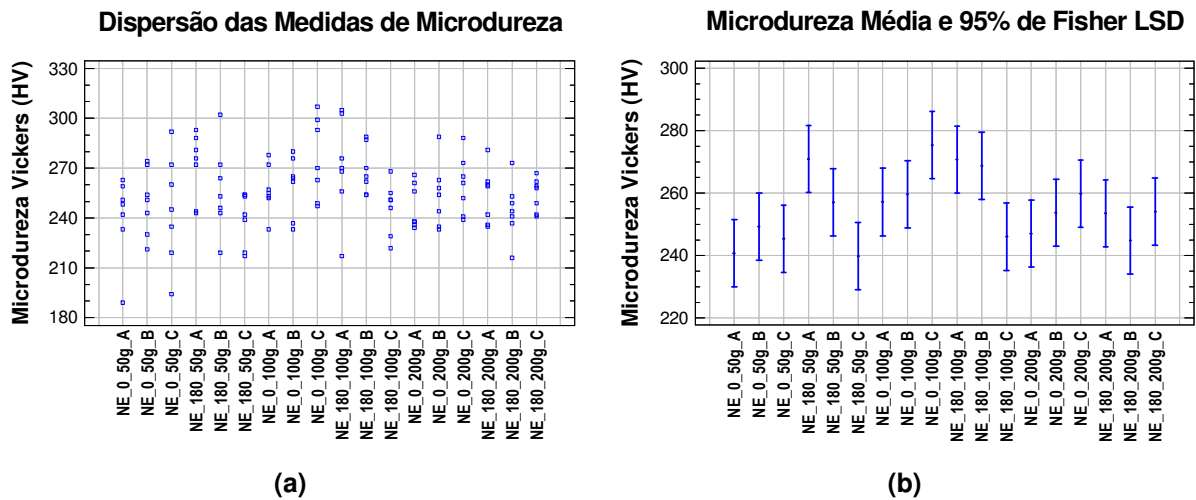


Figura 4.10 – Comparação da (a) dispersão das medidas e (b) média de microdureza nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.

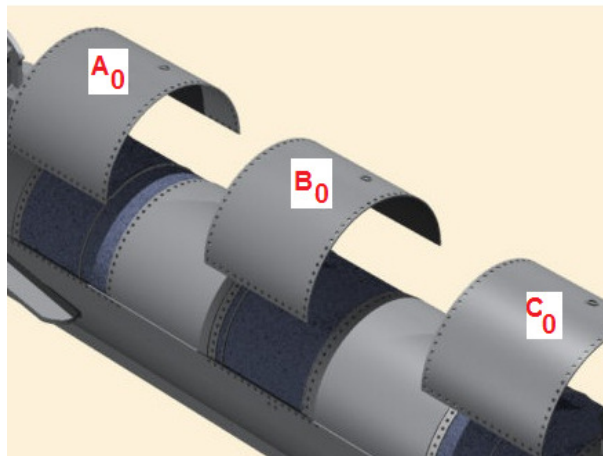


Figura 4.11 – Esboço esquemático das Cascas cilíndricas submetidas à ação da indentação através de Microdureza Vickers.

A Figura 4.11 apresenta esquematicamente as zonas A, B e C do C.P. não ensaiado, de modo a que se visualiza o cerne da Figura 4.10. Foi observado que para a carga de 200 gf, com 95% de certeza estatística, não houve diferença

estatística significativa entre as zonas e nem entre as geratrizes. Em contra partida, as cargas de 50 gf e 100 gf (Figura 4.10b) mostraram-se sensíveis ao processo de fabricação do C.P., sendo possível observar algumas diferenças estatísticas nestas subsuperfícies, inerentes da retificação. As tensões residuais na superfície do C.P., provocadas pelo processo de usinagem, levaram ao aumento da microdureza dureza nas subsuperfícies do cilindro não ensaiado. Sendo estas afetadas, posteriormente, pelas condições de ensaio impostas (SAM30, SAM70, DC70 e DEC70), tal fato pode observado ao realizar as comparações estatísticas.

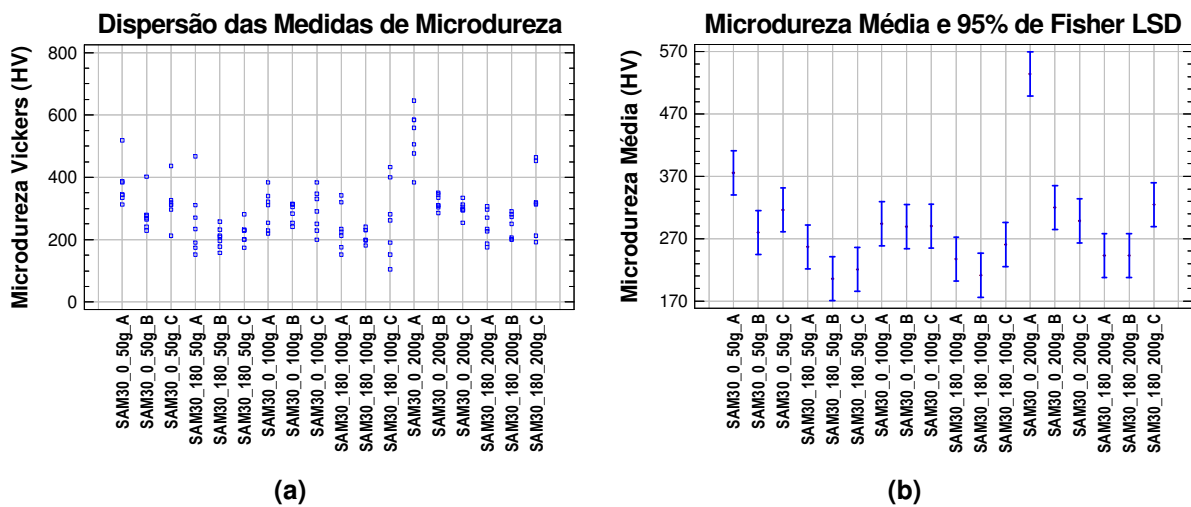


Figura 4.12 – Comparação da **(a)** dispersão das medidas e **(b)** média de microdureza nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM30.

A camada mais externa do C.P. SAM30 (Figura 4.12a e 4.12b) demonstrou haver sido afetada seletivamente pelo ensaio corrosivo sem agitação mecânica e sem borbulhamento durante 24 horas, confirmada através dos ensaios de microdureza (carga de 50 gf), com exceção para as zonas B e C, que não apresentaram diferenças estatísticas significativas ($\alpha = 5\%$) em seus resultados de microdureza $HV_{0,05}$. Observa-se também diferença estatística para a carga de 50g quando são comparadas as zonas de diferentes geratrizes. Nota-se a presença de regiões com elevada dispersão nas medidas, assim como, regiões com baixa dispersão o que pode levar a tal comportamento (Figura 4.12a)

Ao nível da carga de 100 gf é observado que não houve diferença estatisticamente significativa entre as zonas A, B e C de uma mesma geratriz. Agora, na comparação entre zonas de geratrizes diferentes (Figura 4.12b), a zona B a 180° ,

apresentou diferença estatística nesta subsuperfície para os resultados de microdureza $HV_{0,10}$ quando comparada com as demais.

Com a carga de 200 gf ($HV_{0,20}$), Figura 4.12b, é observado que na zona A, na geratriz a 0° , apresentou diferença estatística das demais, em contra partida B e C não tiveram diferenças estatísticas. Já na geratriz 180° nota-se que a zona C apresentou diferença estatística das demais, o que não ocorre entre A e B. Na comparação entre geratrizes, $HV_{0,20}$, a zona C (0°) não apresentou diferença estatística significativa das demais zonas na geratriz 180° , e também entre B (0°) e C (180°).

A comparação estatística da microdureza Vickers, com 95% de certeza, realizada para o ensaio sem agitação mecânica e borbulhamento de gás a temperatura de 70°C , indica que não houve diferenças estatisticamente significativas entre as zonas de uma mesma geratriz, para as cargas 50 gf, 100 gf e 200 gf. Em contra partida, Figura 4.13a e 4.13b, é encontrada algumas diferenças estatísticas para as cargas de 50 gf e 200 gf, quando comparado zonas de diferentes geratrizes, ou seja, para a subsuperfície mais externa ($HV_{0,05}$) a zona A (180°) apresenta diferença estatística das demais zonas na geratriz logo oposta (0°), da mesma forma também entre as zonas C (0°) e C (180°). Na subsuperfície mais interna ($HV_{0,20}$) foi observado que as zonas A (0°) e C (0°) apresentaram diferença estatisticamente significativas (Figura 4.13b) quando comparadas com as zonas B (180°) e C (180°). Estas medidas apresentaram baixa dispersão como se pode observar (Figura 4.13a).

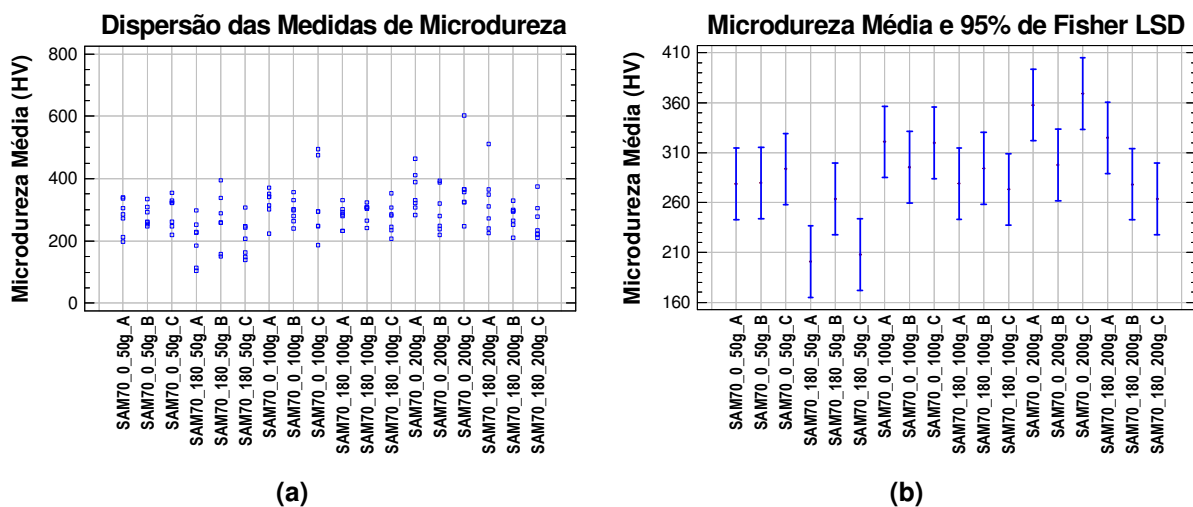


Figura 4.13 – Comparação da (a) dispersão das medidas e (b) média de microdureza nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM70.

As análises comparativas da microdureza realizada nas condições SAM30 (Figura 4.12) e SAM70 (Figura 4.13) mostram que o desgaste corrosivo atua de forma heterogênea na superfície do C.P., ou seja, os mecanismos das reações eletroquímicas não atuam uniformemente na superfície.

A comparação estatística realizada, com 95% de certeza, para a condição de ensaio DC a 70°C, Figura 4.14a e 4.14b, mostra que foi encontrada diferença estatística em apenas uma carga (100 gf) quando esta foi comparada entre as zonas de uma mesma geratriz, zona C (180°) diferente de A (180°) e B (180°), e também elevada dispersão nas medidas. Desta maneira evidenciando que os mecanismos de desgaste corrosivo-cavitativo atuantes em C difere em certo grau das outras zonas nesta mesma geratriz (180°).

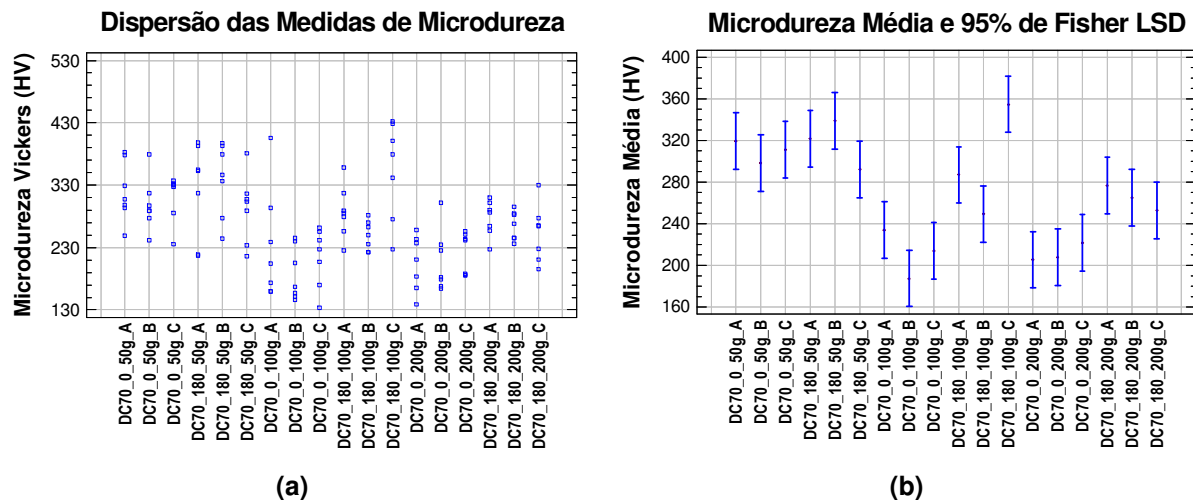


Figura 4.14 – Comparação da (a) dispersão das medidas e (b) média de microdureza nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DC70.

Continuando a análise estatística comparativa (Figura 4.14b), agora, entre zonas de diferentes geratrizes, é observado que a subsuperfície atingida pela carga de 100 gf, apresentou diferença estatisticamente significativa ($\alpha = 5\%$) para a zona B (0°) quando comparada com A (180°), B (180°) e C (180°), também de forma análoga, para a zona C (180°) quando comparada com A (0°) e C (0°), por fim, há ainda uma diferença entre C (0°) e A (180°). Para a subsuperfície atingida pela carga de 200 gf a análise mostra que a zona A (180°) apresenta diferença quando confrontada com as zonas logo opostas A (0°), B (0°) e C (0°), e de forma semelhante, a zona B (180°) difere das zonas A (0°) e B (0°).

Os resultados (Figura 4.14b) mostram que mecanismos de desgaste corrosivo-cavitativo atuam de forma diferente entre as geratrizes a montante (0°) e a jusante (180°).

A Figura 4.15a e 4.15b apresenta os resultados em que existe diferenças estaticamente significativa da microdureza Vickers $HV_{0,05}$, $HV_{0,20}$, em três zonas de duas geratrizes, a montante (0°) e a jusante (180°) do C.P. sob condições de desgaste erosivo-corrosivo a 70°C , assim como também a dispersão da medidas. Nesta condição não foi possível realizar nenhuma medição de microdureza na zona B (180°), com nenhuma das cargas, devido à elevada imperfeição superficial nesta região.

Analisando as comparações em cada geratriz, Figura 4.15b, é observado que as zonas A e C apresentam diferença tanto na geratriz a montante quanto na geratriz a jusante, ou seja, os mecanismos de desgaste atuantes em A, diferem dos que atuam em B para a subsuperfície atingida pela carga de 200 gf.

A comparação entre geratrizes diferentes mostrou que, Figura 4.15b, para uma subsuperfície mais externa (50 gf) há diferenças estatisticamente significativas, com 95% de certeza, entre a zona C (180°) e as zonas A (0°) e B (0°). De modo análogo, para uma subsuperfície mais interna (200 gf) existem diferenças entre a zona A (180°) e as zonas B (0°) e C (0°). Estes resultados comparativos confirmam que os mecanismos de desgaste erosivo-corrosivos atuantes nas duas geratrizes diferem, ou seja, não existe um desgaste homogêneo do corpo cilíndrico. Além do mais, é observado também regiões com elevada dispersão nos valores contrastando com outras de baixa dispersão, Figura 4.15a.

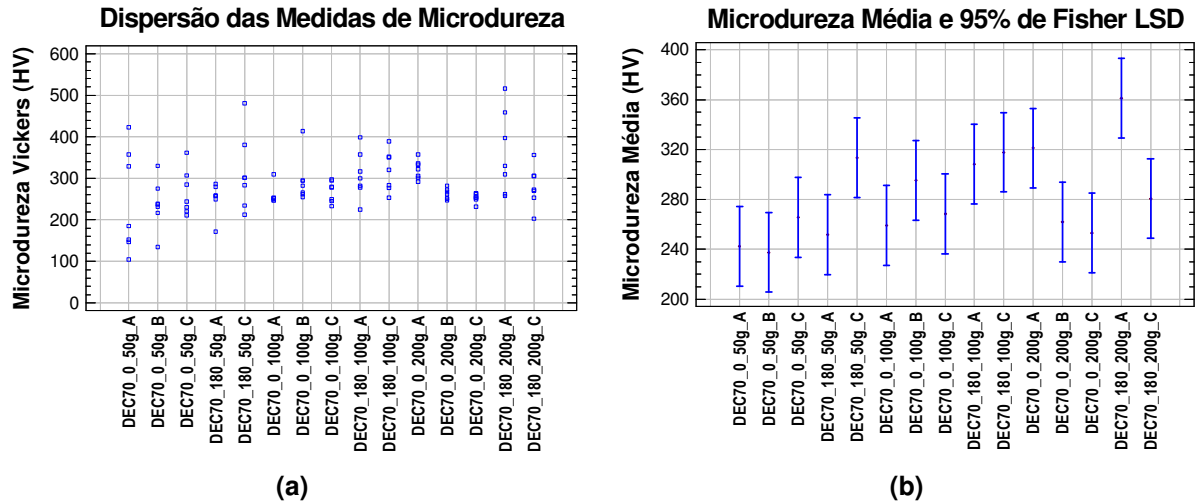


Figura 4.15 – Comparação da (a) dispersão das medidas e (b) média de microdureza nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DEC70.

De acordo com as evidências relatadas por RUZIC *et al.* (2006) foi possível evidenciar a importância da realização da microdureza Vickers, pois observou-se que as subsuperfícies atingidas pelas cargas de 50 gf, 100 gf e 200 gf, sofreram influência dos vórtices de Taylor provocados pela hidrodinâmica do sistema nas condições de desgaste corrosivo-cavitativo e erosivo-corrosivo.

4.4 Rugosidade e ondulação

4.4.1 Corpo de prova não ensaiado

A comparação entre as zonas A, B e C das geratrizes a montante e a jusante, para o C.P. não ensaiado, revelou parâmetros de rugosidade e ondulação (R_z , R_{sm} e W_{sm}) que não apresentaram nenhuma diferença estatisticamente significativa, com 95% de certeza.

As Figuras 4.16a, 4.16b, 4.17a e 4.17b apresentam as diferenças estatísticas significativas para a rugosidade R_a e R_q , assim como as dispersões dos valores medidos. Tais resultados mostram que há diferença na rugosidade superficial revelando uma heterogeneidade devido ao processo de fabricação.

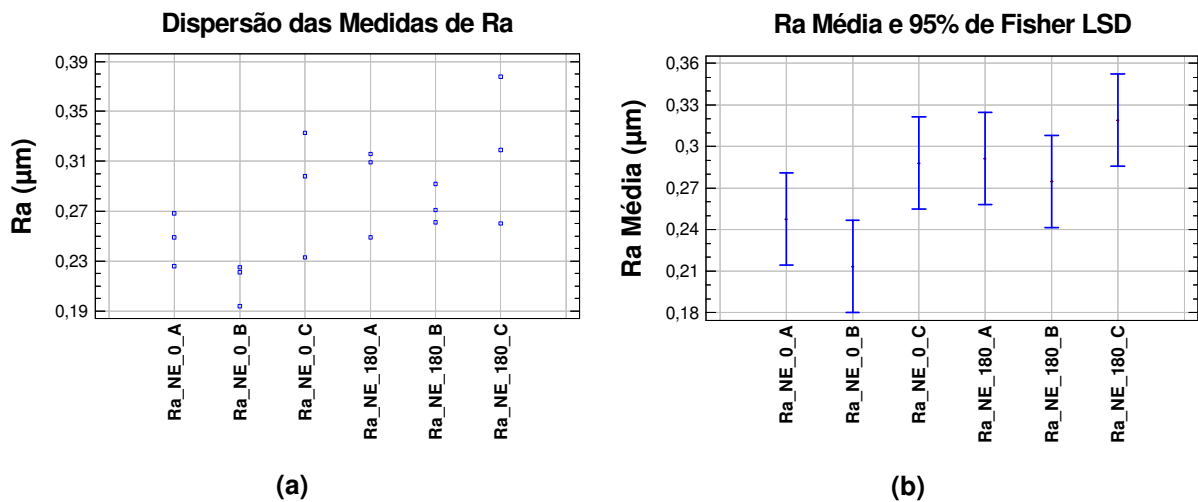


Figura 4.16 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial R_a para um C.P. não ensaiado.

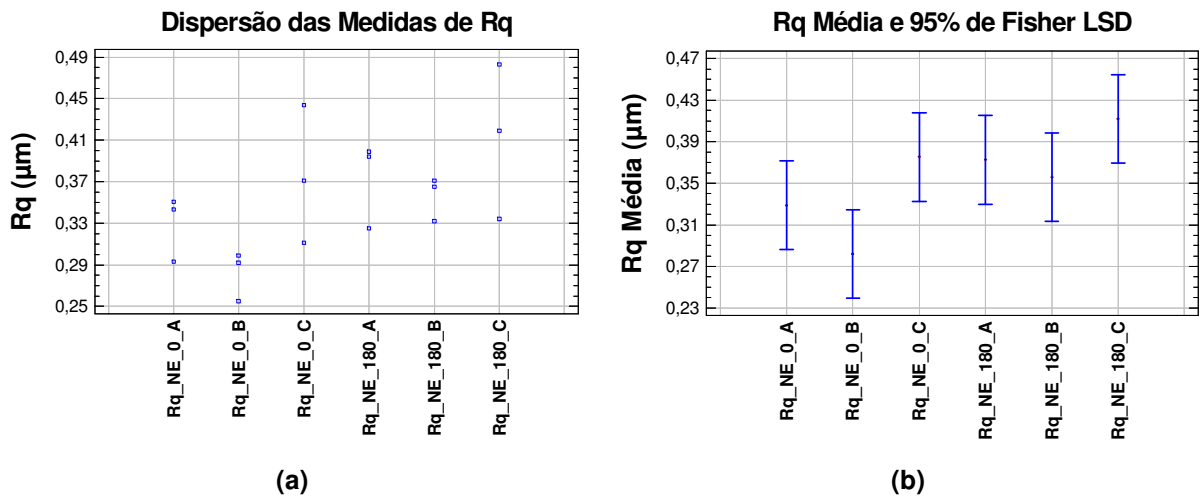


Figura 4.17 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rq para um C.P. não ensaiado.

Nas Figuras 4.18a, 4.18b, 4.19a, 4.19b, 4.20a e 4.20b é mostrado que os parâmetros de ondulação W_a , W_q e W_z , apresentaram diferenças estatísticas significativas, para 95% de certeza, quando comparados entre as zonas de uma mesma geratriz e também entre zonas de geratrizes diferentes. A dispersão dos valores em algumas regiões apresentou-se mais elevada do que em outras.

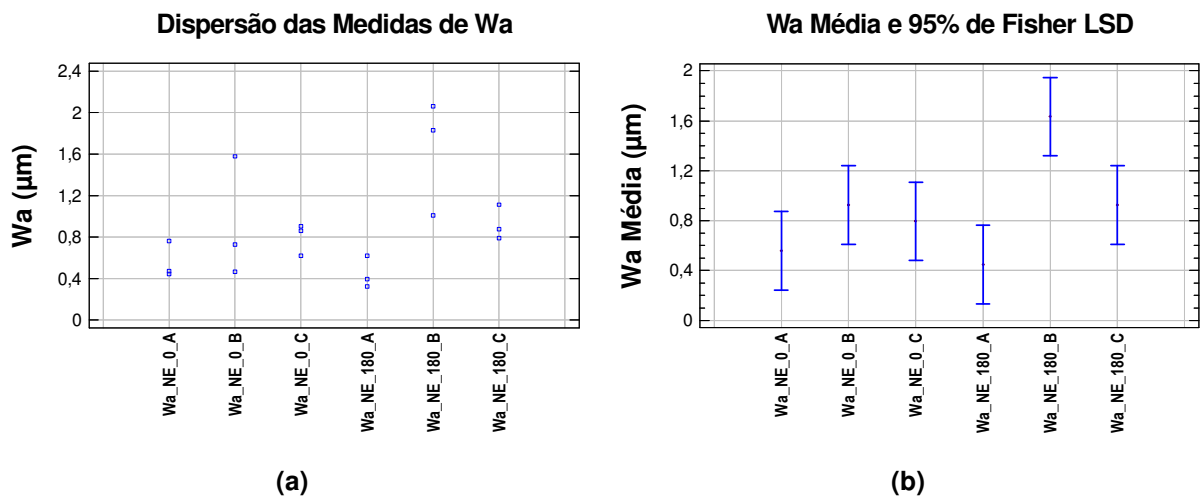


Figura 4.18 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas ondulação superficial W_a para um C.P. não ensaiado.

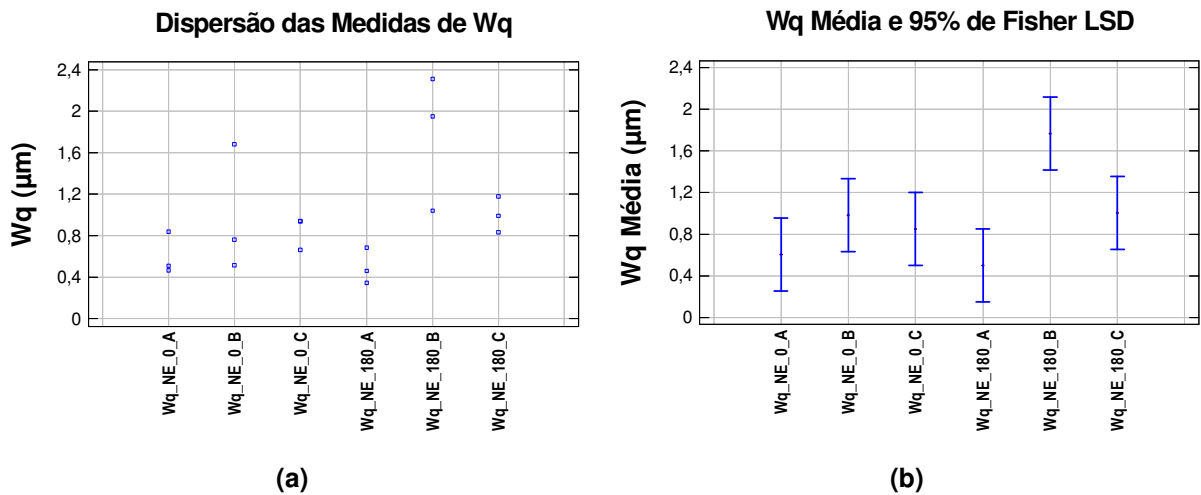


Figura 4.19 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas ondulação superficial Wq para um C.P. não ensaiado.

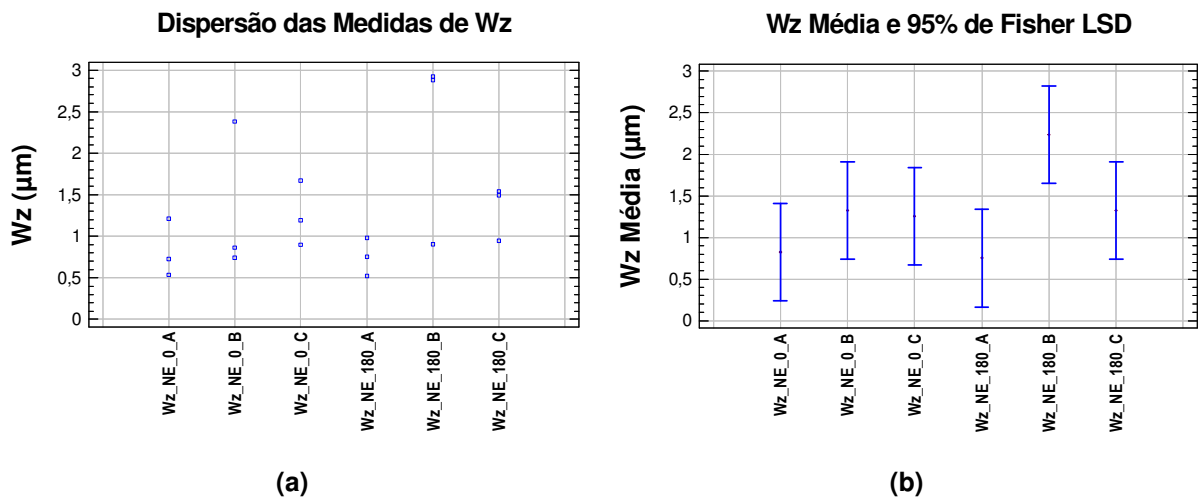


Figura 4.20 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas ondulação superficial Wz para um C.P. não ensaiado.

4.4.2 Ensaio SAM30

Os resultados de rugosidade superficial para condição sem agitação mecânica e borbulhamento de gás a 30°C, (Figuras 4.21a, 4.21b, 4.22a, 4.22b, 4.23a, 4.23b, 4.24a e 4.24b) estão mostrando que os parâmetros Ra, Rq e Rsm apresentaram diferenças estatísticas tanto entre as zonas quanto entre as geratrizes. O parâmetro Rz apresentou diferença apenas entre geratrizes. Nota-se também elevada dispersão nos valores obtidos.

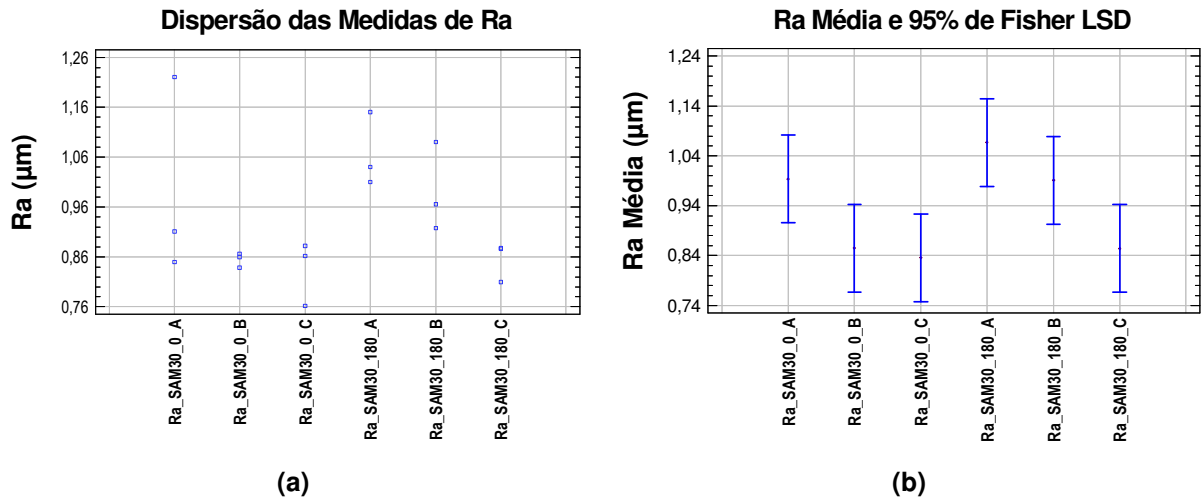


Figura 4.21 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Ra para um C.P. sob a condição SAM30.

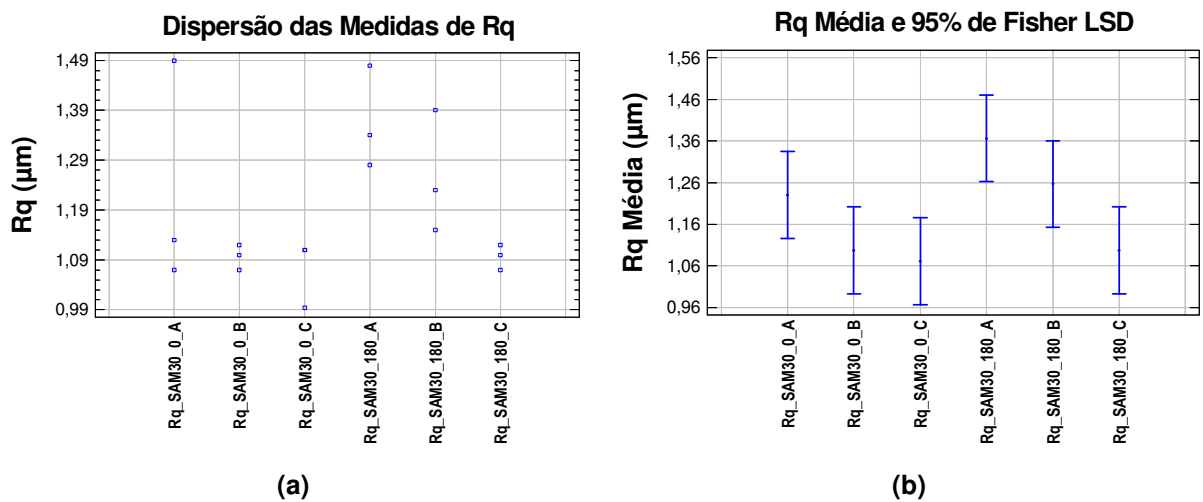


Figura 4.22 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rq para um C.P. sob a condição SAM30.

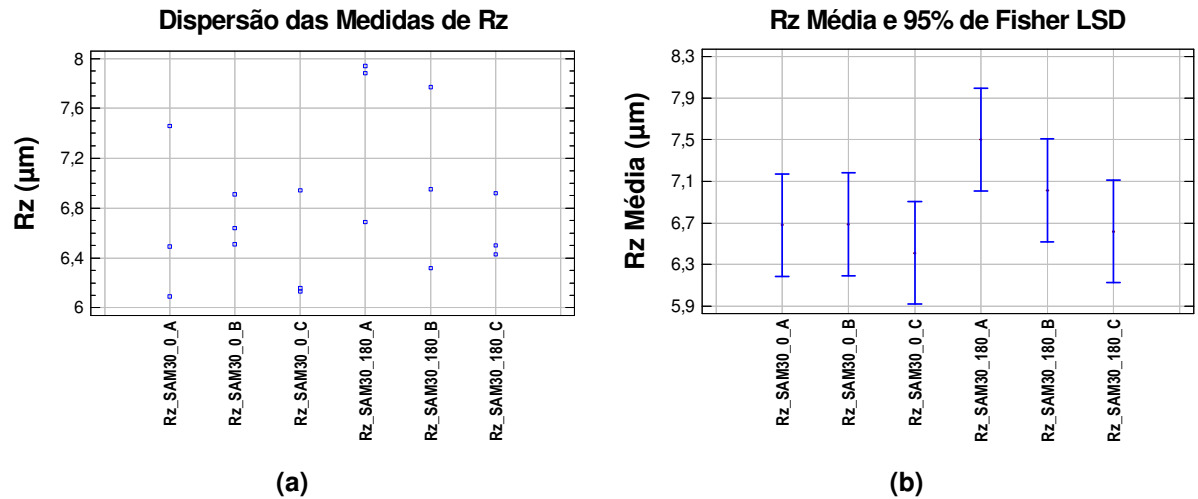


Figura 4.23 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rq para um C.P. sob a condição SAM30.

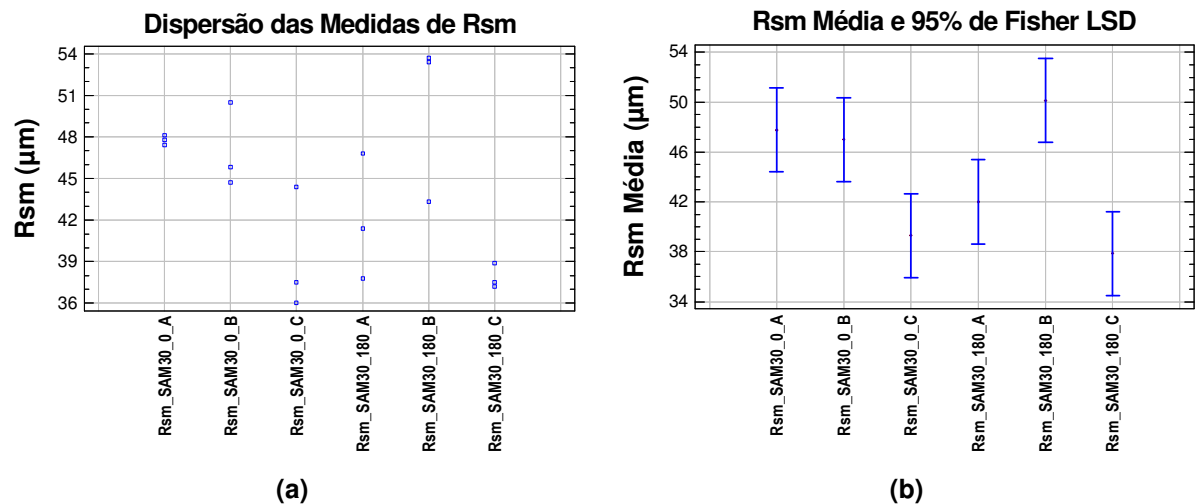


Figura 4,24 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rsm para um C.P. sob a condição SAM30.

Os parâmetros W_a e W_q não apresentaram nenhuma diferença estatisticamente significativa na condição SAM30. Já os parâmetros W_z e W_{sm} apresentaram diferença entre zonas e também entre geratrizes (Figuras 4.25a, 4.25b, 4.26a e 4.26b) do corpo de prova. É observado elevada dispersão nos valores de ondulação W_z e W_{sm} .

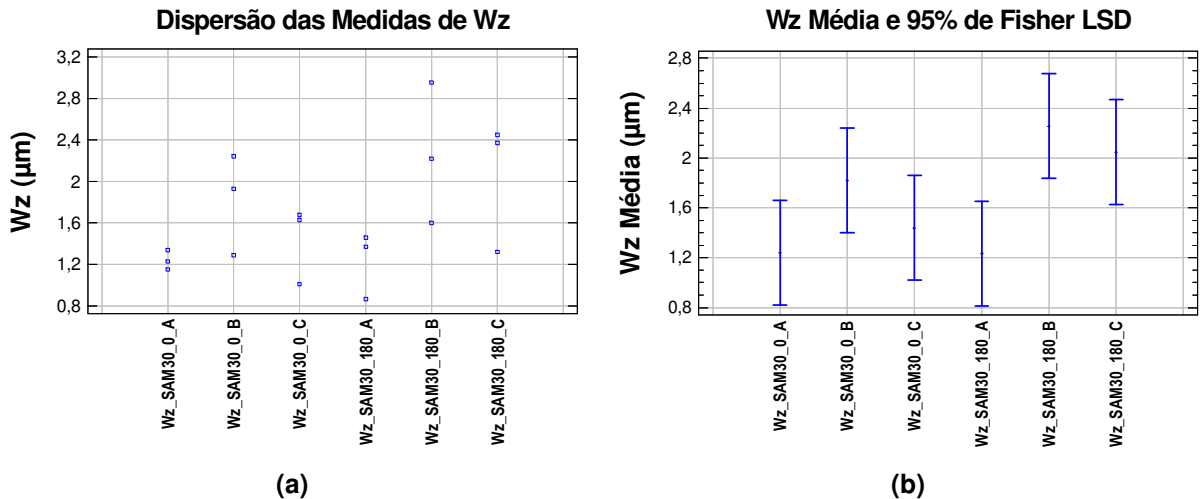


Figura 4.25 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wz para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

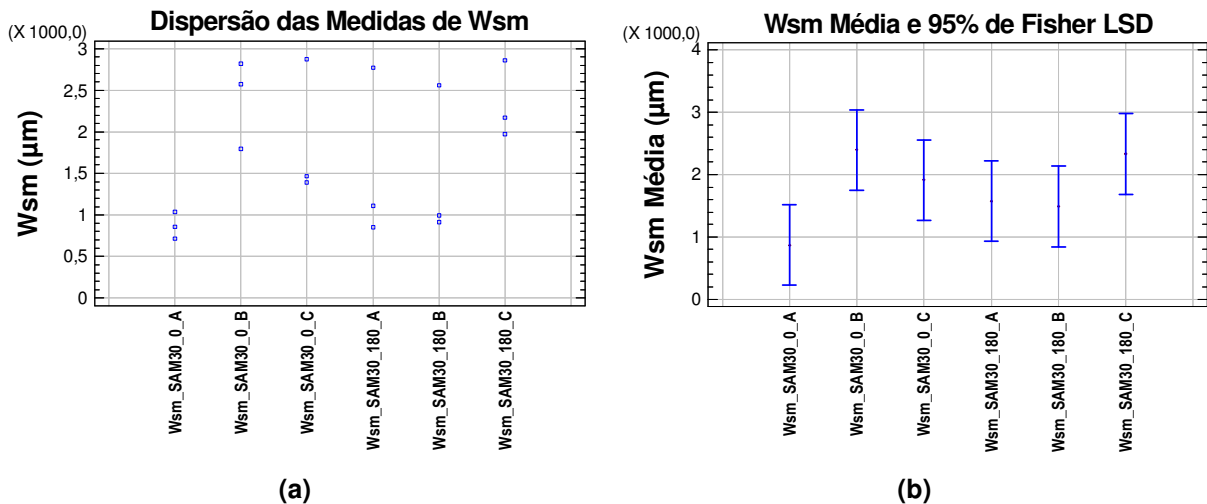


Figura 4.26 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wsm para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

Os resultados apresentados (Figuras 4.21 a 4.26) demonstraram que apesar de não haver um fluido em movimento a superfície apresentou certo grau de heterogeneidade, fato confirmado através das diferenças estatísticas.

4.4.3 Ensaio SAM70

Nas Figuras 4.27 a 4.30 são mostrados os resultados de rugosidade superficial, com 95% de certeza, para ensaio sem agitação mecânica e borbulhamento de gás a 70°C, assim como a dispersão dos valores medidos. Observam-se diferenças estatísticas tanto entre as zonas A, B e C quanto entre as

geratrizes, 0° e 180° , para os parâmetros Ra, Rq, Rz e Rsm. Estes resultados podem ter sido influenciados pelas correntes de convecção presentes na célula aquecida. Também se observam elevadas dispersões em Ra, Rq, Rz e Rsm, na maioria das zonas, tanto a montante quanto a jusante.

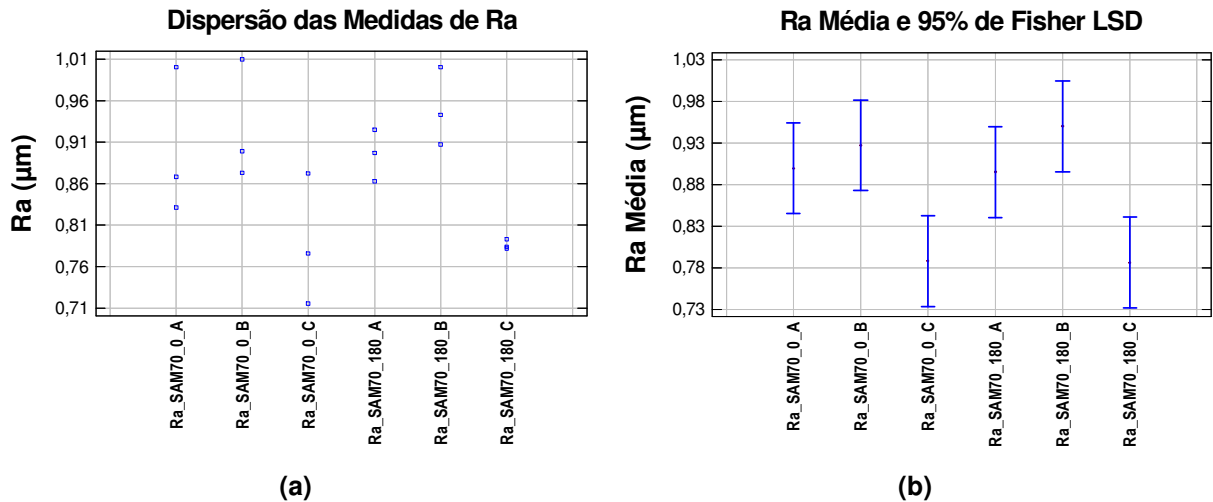


Figura 4.27 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Ra para um C.P. sob a condição SAM70.

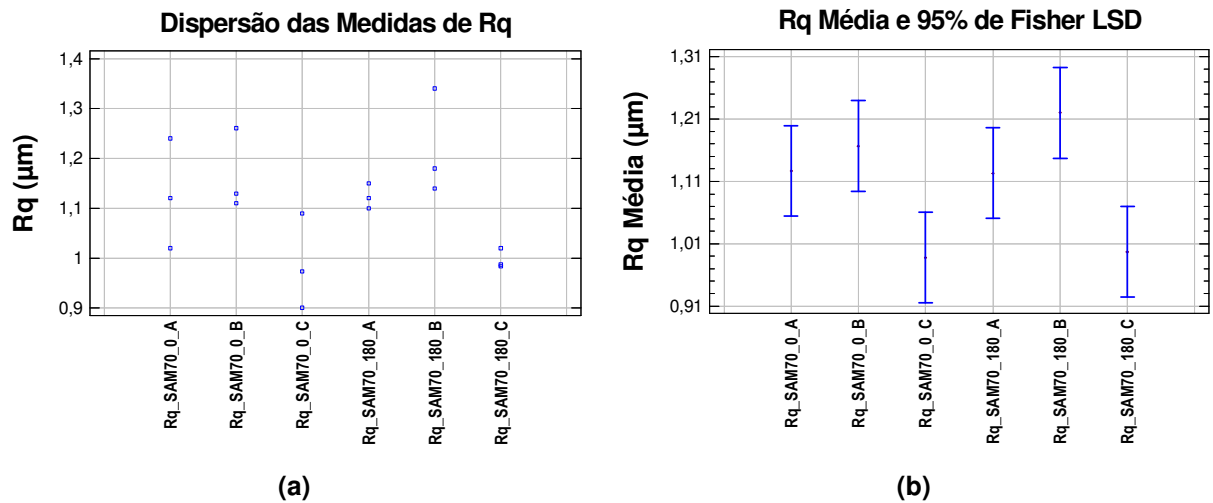


Figura 4.28 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rq para um C.P. sob a condição SAM70.

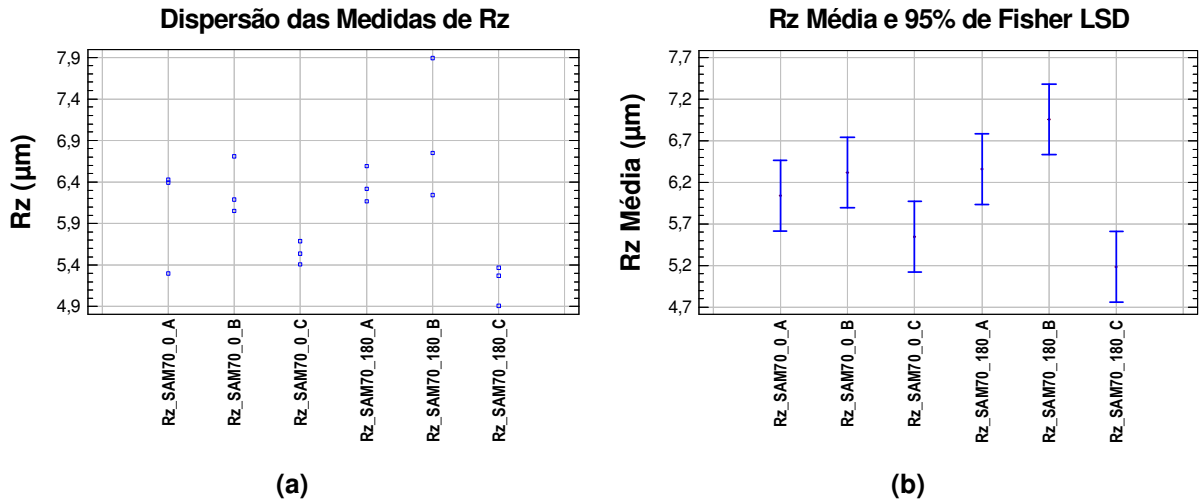


Figura 4.29 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rz para um C.P. sob a condição SAM70.

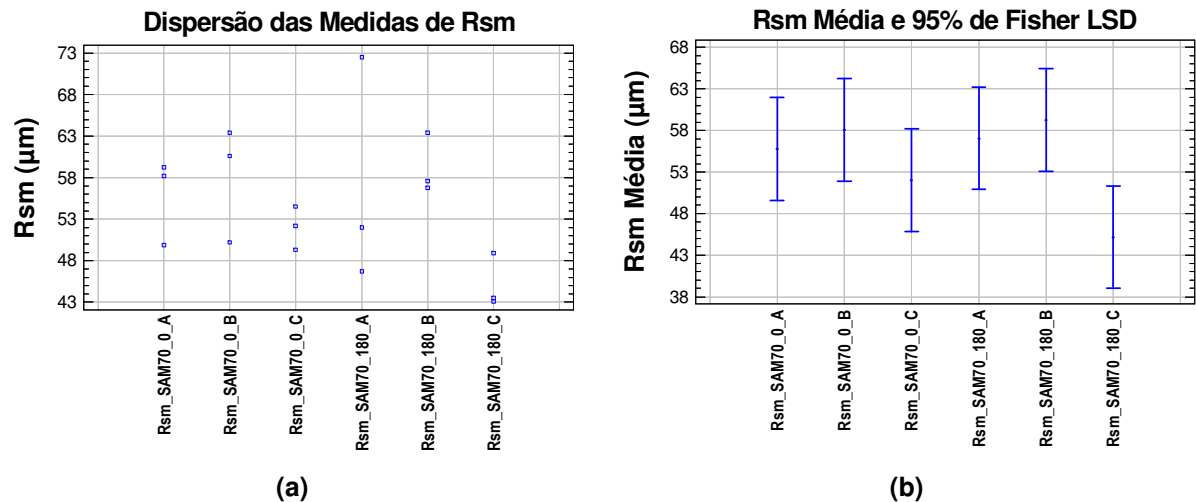


Figura 4.30 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rsm para um C.P. sob a condição SAM70.

Os parâmetros de ondulação W_a , W_q , W_z e W_{sm} , não apresentaram nenhuma diferença estatisticamente significativa, ou seja, segundo a comparação realizada pelo software *Statgraphics® Centurion XVI*, com 95% de certeza estatística, existe certo grau de homogeneidade na ondulação superficial do C.P. após ensaio na condição SAM70.

4.4.4 Ensaio DC70

Os parâmetros de rugosidade R_a , R_q e R_{sm} apresentaram diferenças estatísticas na comparação entre zonas, agora, na comparação entre geratrizes

somente Ra e Rsm tiveram diferenças (Figuras 4.31 a 4.33) para a condição de desgaste corrosivo-cavitativo a 70°C, com relação às dispersões dos valores foi notado que estas se apresentaram elevada em quase todas as zonas. O parâmetro Rz não apresentou nenhuma diferença estatisticamente significativa para a mesma condição. Estes resultados confirmam a hipótese de que os mecanismos que atuam na geratriz a montante diferem dos que atuam a jusante do C.P.

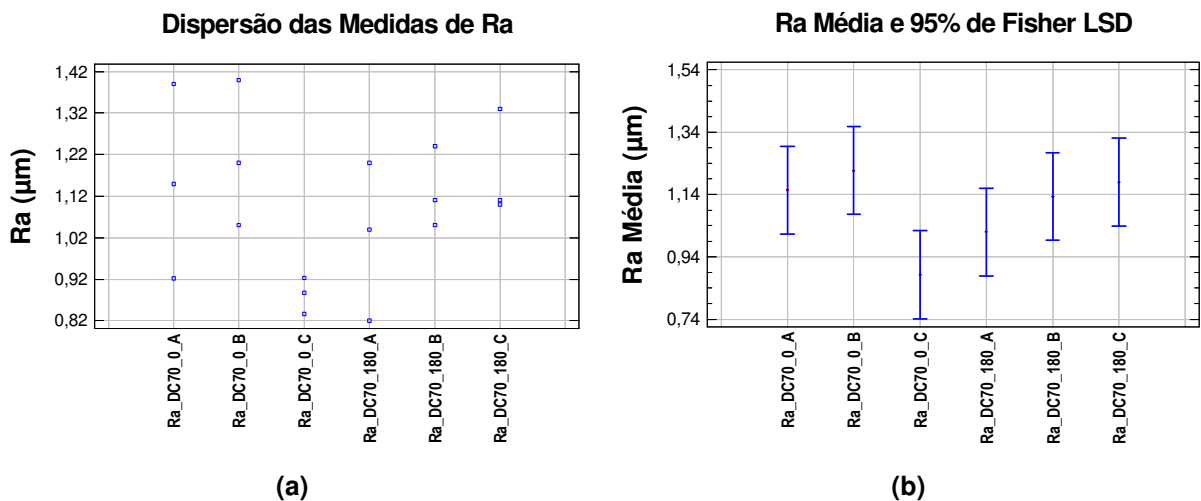


Figura 4.31 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Ra para um C.P. sob a condição DC70.

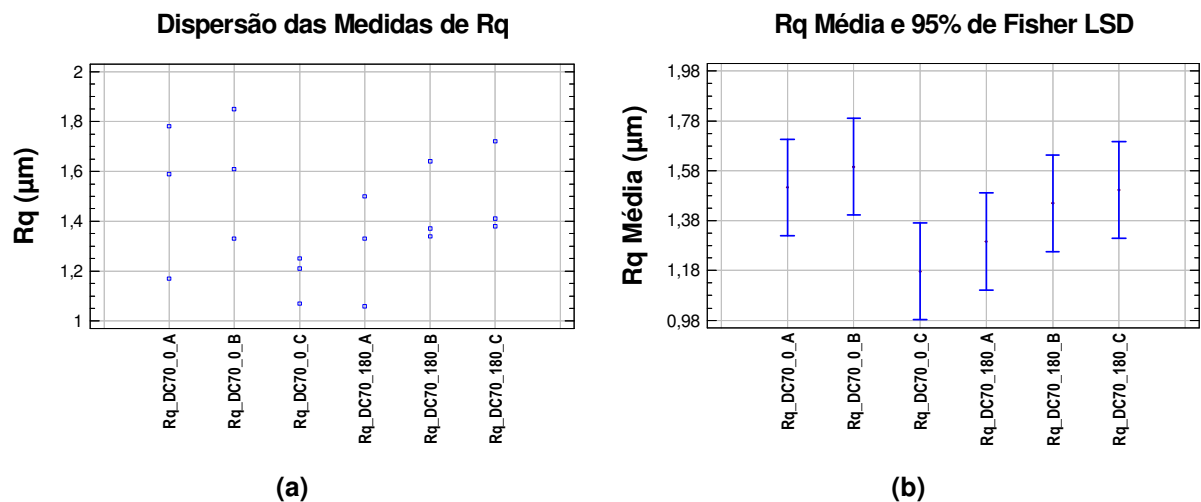


Figura 4.32 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rq para um C.P. sob a condição DC70.

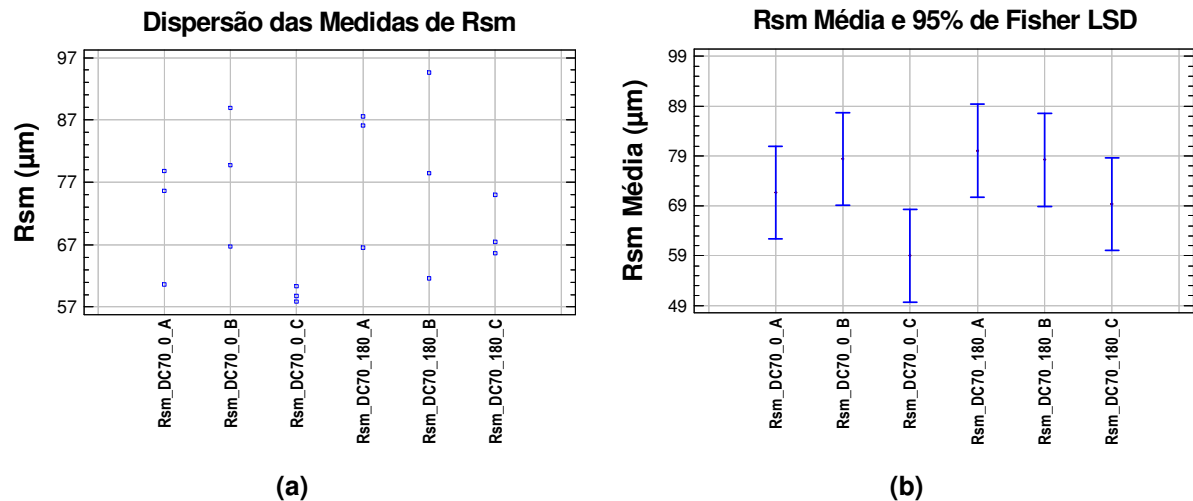


Figura 4.33 – Comparação da **(a)** dispersão e **(b)** média das medidas rugosidade superficial Rsm para um C.P. sob a condição DC70.

Os parâmetros de ondulação W_a , W_q , W_z e W_{sm} , não apresentaram nenhuma diferença estatisticamente significativa, ou seja, segundo a comparação realizada pelo *software Statgraphics® Centurion XVI*, com 95% de certeza estatística, existe certo grau de homogeneidade na ondulação superficial do C.P. após ensaio na condição DC70.

4.4.5 Ensaio DEC70

Através das Figuras 4.34 a 4.37, observa-se que os parâmetros de rugosidade R_a , R_q , R_z e R_{sm} , na condição de desgaste erosivo-corrosivo a 70°C, demonstram diferenças estatisticamente significativas entre as geratrizes, a montante e a jusante do C.P., assim como elevada dispersão em algumas zonas.

Como citado por RUZIC *et al.* (2006), a rugosidade superficial aumentada na localização da trinca em filmes passivados, melhora o nível local de turbulência promovendo o destacamento do filme e o levantamento da superfície do metal, ou seja, tal mecanismo pode ocorrer em regiões com formação de vórtices de Taylor (a jusante).

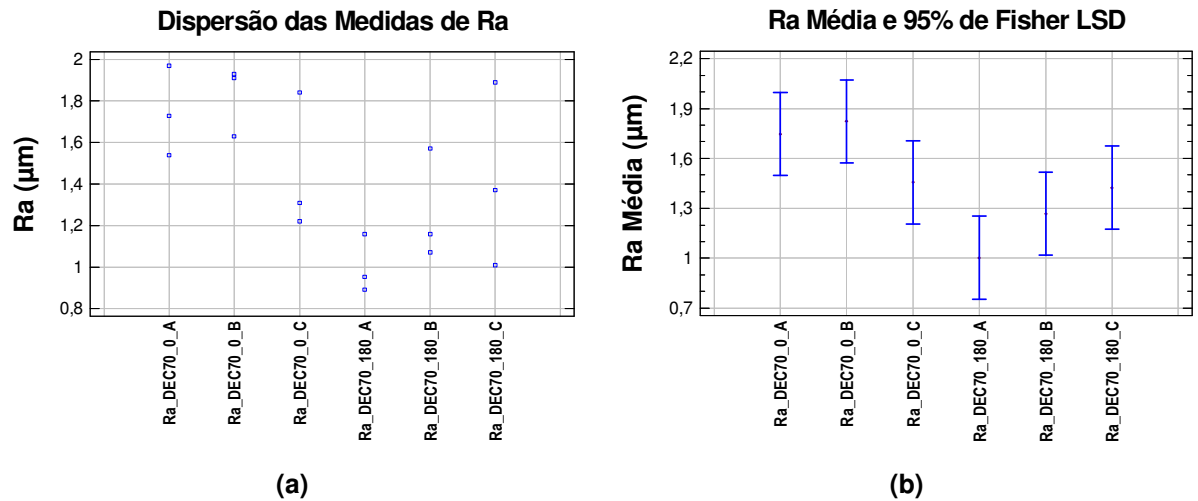


Figura 4.34 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Ra para um C.P. sob a condição DEC70.

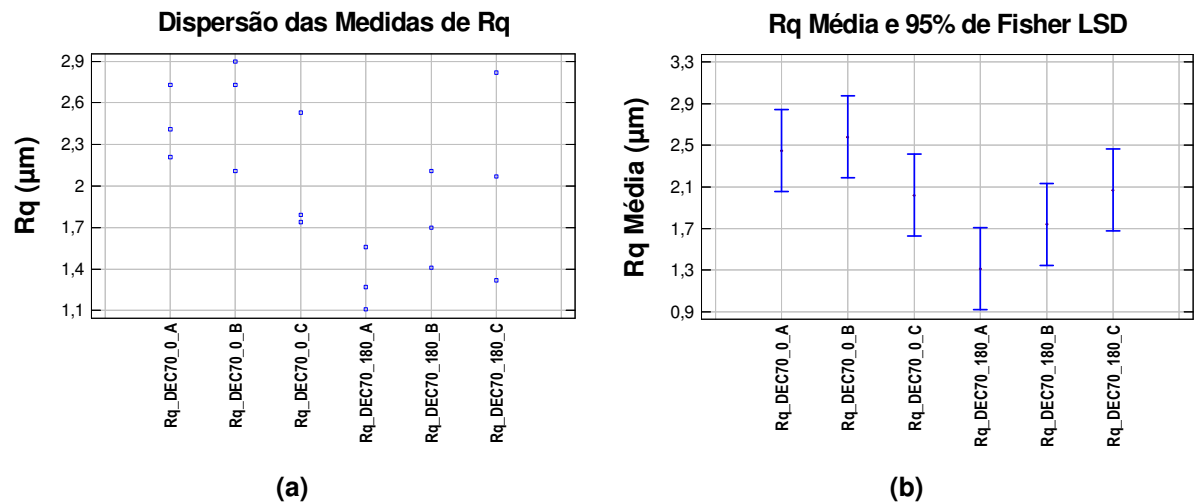


Figura 4.35 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rq para um C.P. sob a condição DEC70.

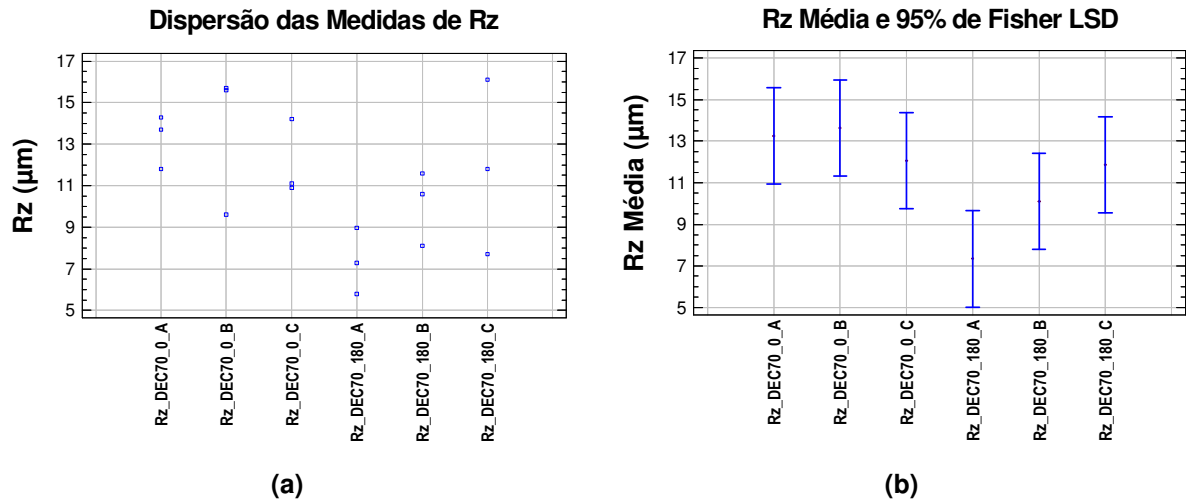


Figura 4.36 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rz para um C.P. sob a condição DEC70.

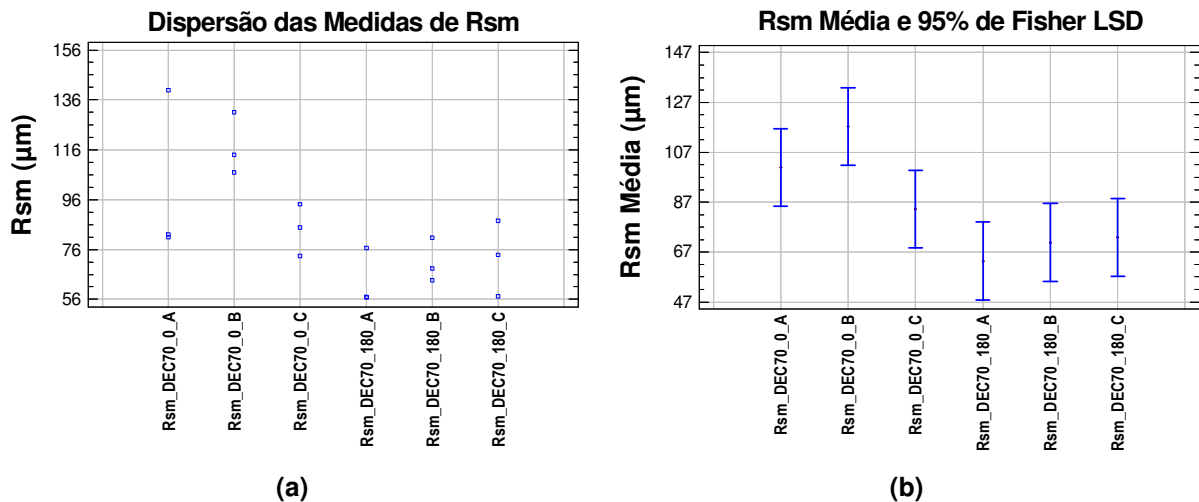


Figura 4.37 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rsm para um C.P. sob a condição DEC70.

Nas Figuras 4.38 a 4.41, estão apresentados os resultados de ondulação superficial (W_a , W_q , W_z e W_{sm}) para a condição de desgaste DEC70, assim como a dispersão dos valores medidos. São observadas diferenças estatisticamente significativas tanto entre as zonas de uma mesma geratriz quanto entre zonas geratrizes diferentes. Da mesma forma como na rugosidade, estes parâmetros também confirmam que os mecanismos de danos atuantes nas duas geratrizes diferem, ou seja, jateamento líquido a montante e formação de vórtices a jusante. As dispersões dos valores obtidos mostraram-se baixa em algumas zonas para esta condição de ensaio.

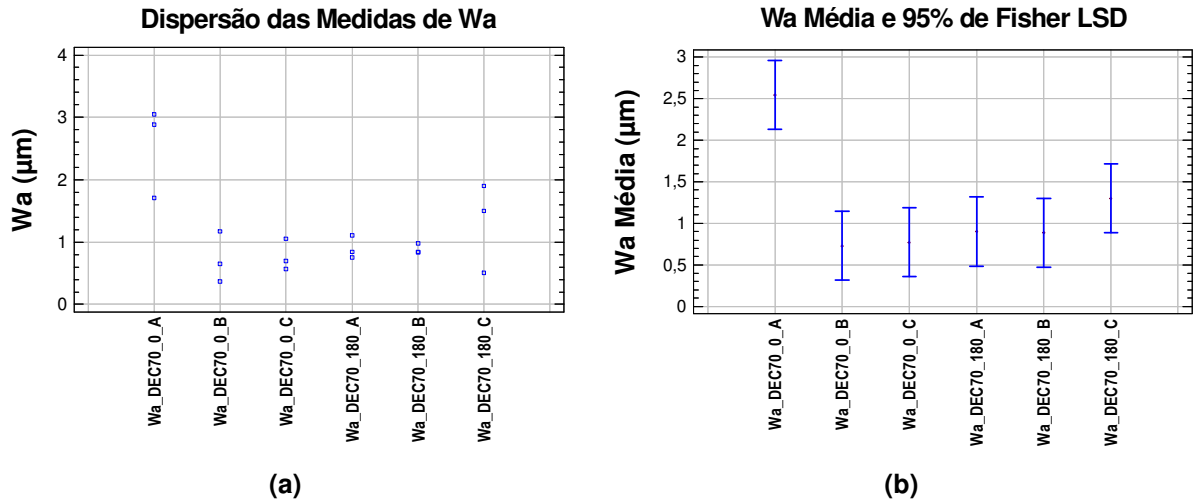


Figura 4.38 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wa para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

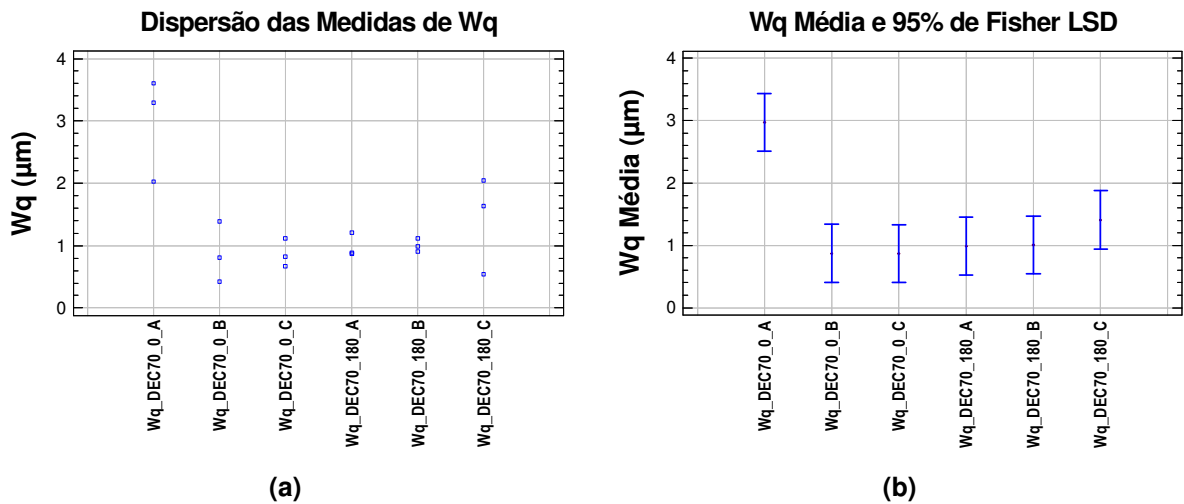


Figura 4.39 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wq para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

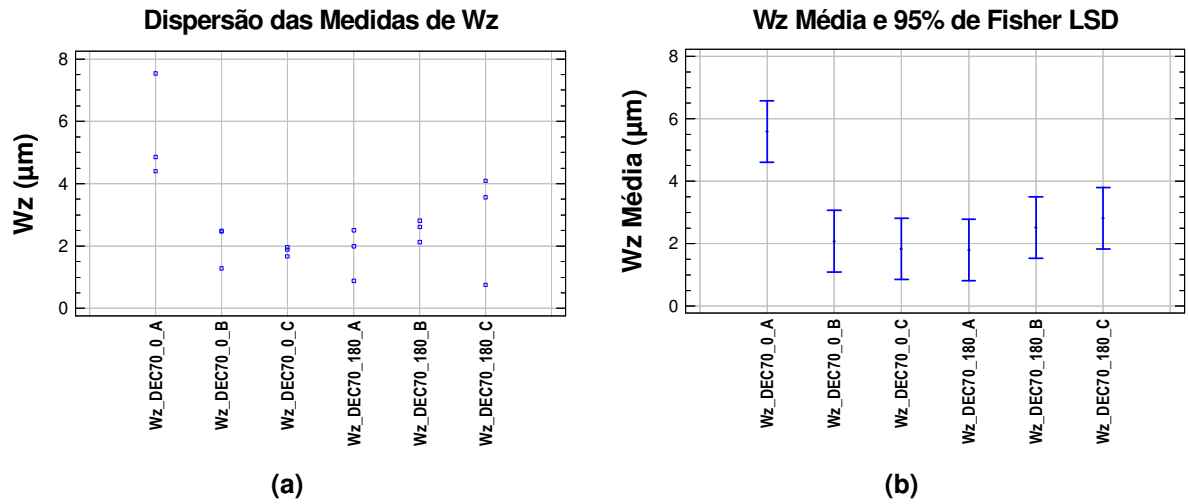


Figura 4.40 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wz para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

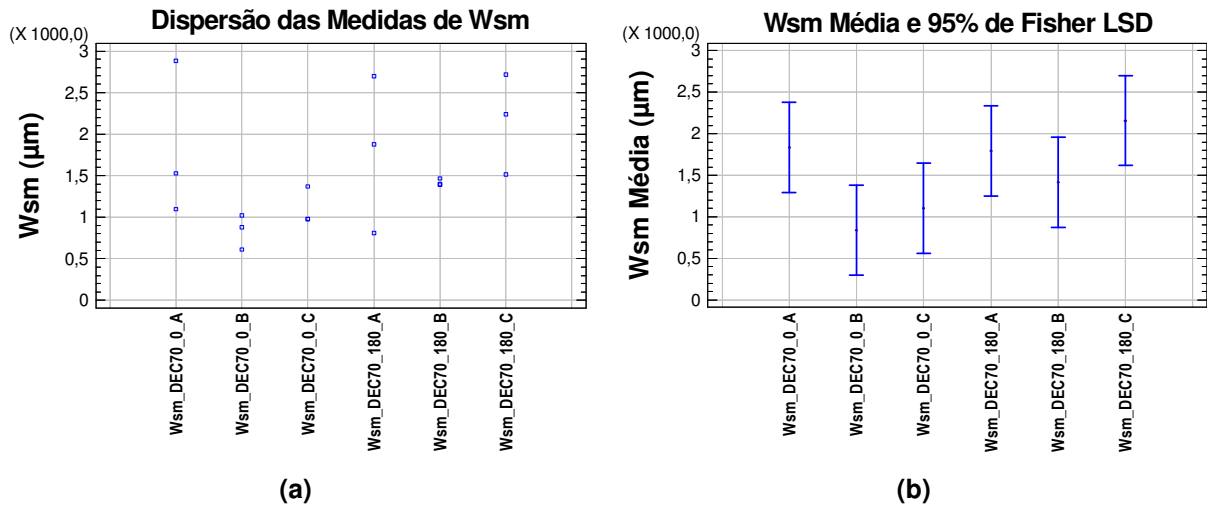


Figura 4.41 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wsm para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

4.5 Evidências dos diferentes mecanismos de desgaste atuantes nos C.P.'s

4.5.1 Ensaio SAM30

A Figura 4.42 mostra as geratrizes a montante (0°) e a jusante (180°) de um dos C.P.'s após ensaio de 24 horas sem agitação mecânica e borbulhamento de gás a 30°C . O mecanismo de desgaste corrosivo, nesta condição, pode ter sido influenciado por fatores como a físico-química das reações de oxidação do ferro, concentração das espécies químicas e temperatura.

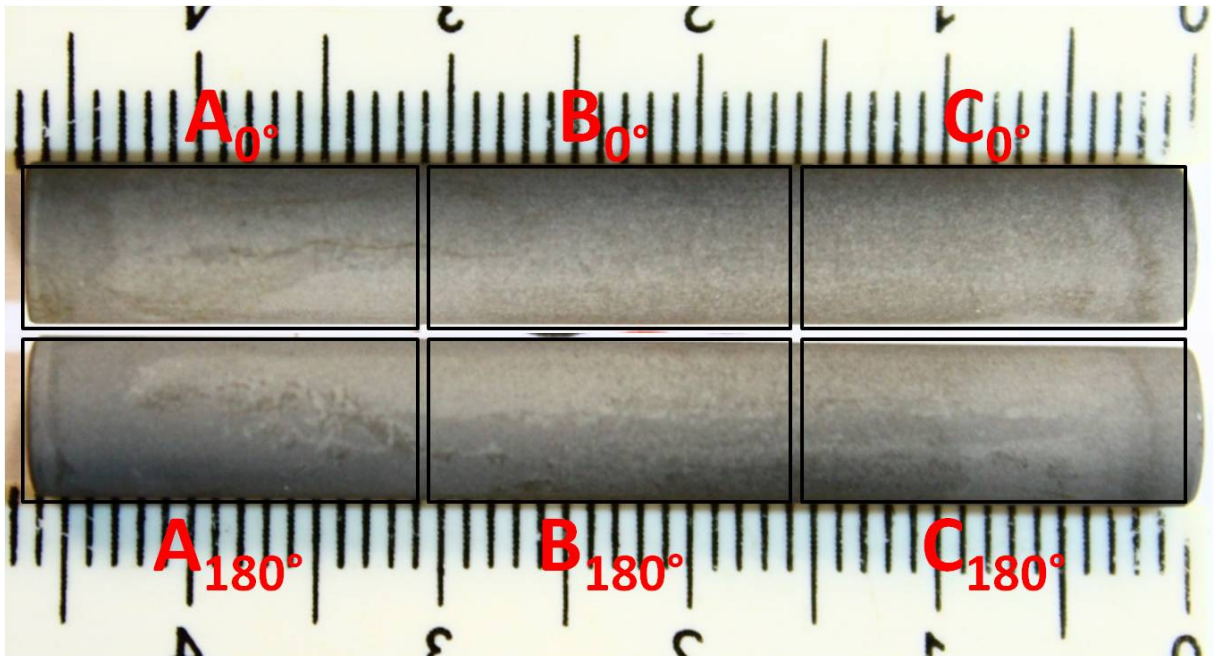


Figura 4.42 – Imagens mostrando a morfologia dos danos atuantes nas geratrizes 0° e 180° do C.P. para um ensaio de desgaste sem agitação mecânica e borbulhamento de gás a 30°C .

4.5.2 Ensaio SAM70

A Figura 4.43 mostra as geratrizes a montante (0°) e a jusante (180°) de um dos C.P.'s após ensaio de 24 horas sem agitação mecânica e borbulhamento de gás a 70°C . O mecanismo de desgaste corrosivo, nesta condição, pode ter sido influenciado por fatores como a físico-química das reações de oxidação do ferro, concentração das espécies químicas e, principalmente, às correntes de convecção decorrentes do aquecimento.

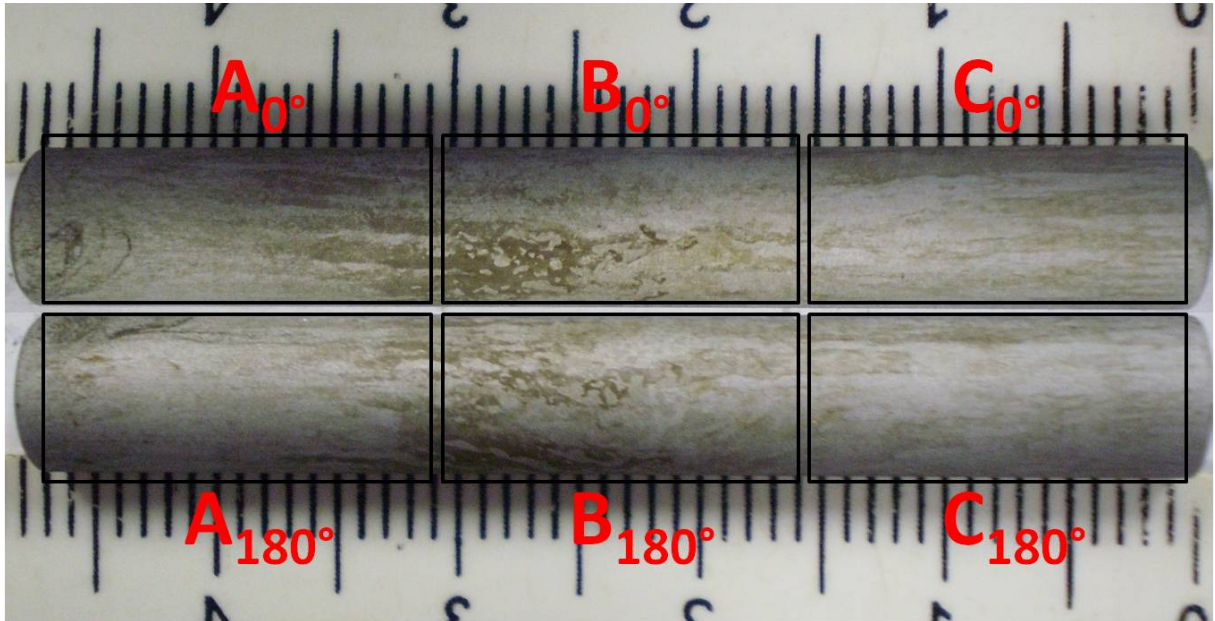


Figura 4.43 – Imagens mostrando a morfologia dos danos atuantes nas geratrizes 0° e 180° do C.P. para um ensaio de desgaste sem agitação mecânica e borbulhamento de gás a 70°C.

4.5.3 Ensaio DC70

A Figura 4.44 mostra as geratrizes a montante (0°) e a jusante (180°) de um dos C.P.'s após ensaio de 24 horas sob a condição de desgaste corrosivo-cavitativo a 70°C. Nesta condição, além dos fatores reacionais (corrosão), concentração de espécies químicas e temperatura, a hidrodinâmica também atuou fortemente nos mecanismos de desgaste corrosivo-cavitativo. Na geratriz a montante tem-se a influência do escoamento laminar de Couette, em contra partida na geratriz a jusante tem-se a influência da formação de vórtices de Taylor, associada à presença bolhas de CO₂.

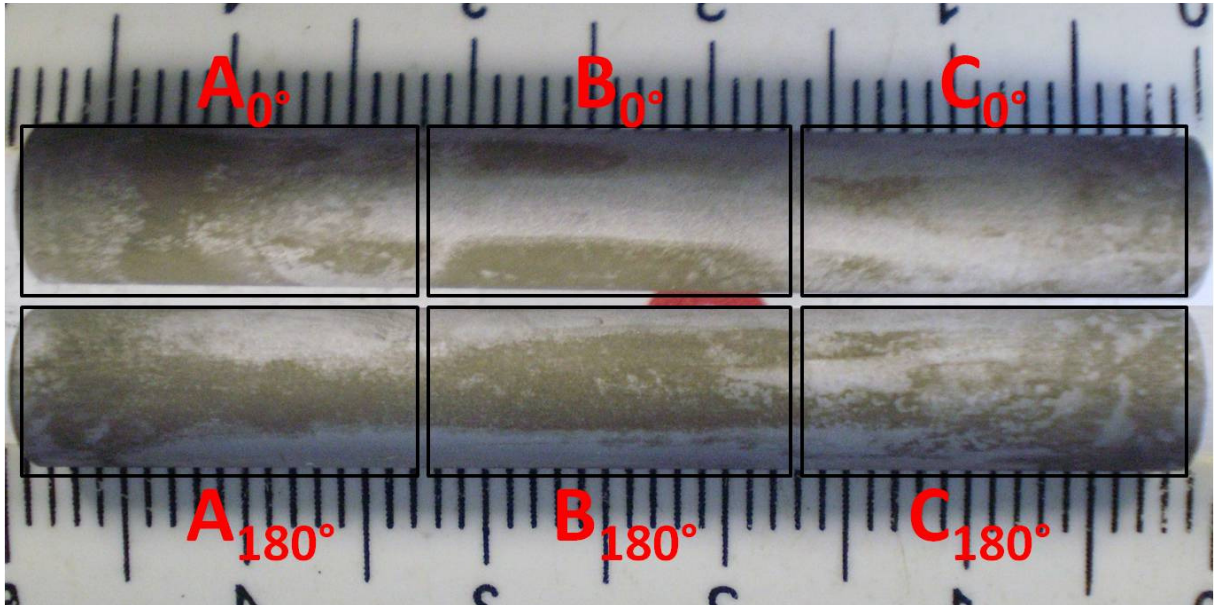


Figura 4.44 – Imagens mostrando a morfologia dos danos atuantes nas geratrizes 0° e 180° do C.P. para um ensaio de desgaste corrosivo-cavitativo a 70°C.

4.5.4 Ensaio DEC70

A Figura 4.45 mostra as geratrizes a montante (0°) e a jusante (180°) de um dos C.P.'s após ensaio de 24 horas sob a condição de desgaste erosivo-corrosivo a 70°C. Nesta condição, além dos fatores reacionais (corrosão), concentração de espécies químicas e temperatura, a hidrodinâmica associada à presença de particulado sólido (SiO_2), também atuou fortemente nos mecanismos de desgaste erosivo-corrosivo. Na geratriz a montante tem-se a influência do escoamento laminar de Couette associado à presença da sílica (*slurry erosion*), em contra partida na geratriz a jusante tem-se a influência da formação de vórtices de Taylor este também associado à presença do particulado. As bolhas de CO_2 também atuam nesta condição em menor proporção, pois sua formação é dificultada devido à presença do particulado em suspensão.

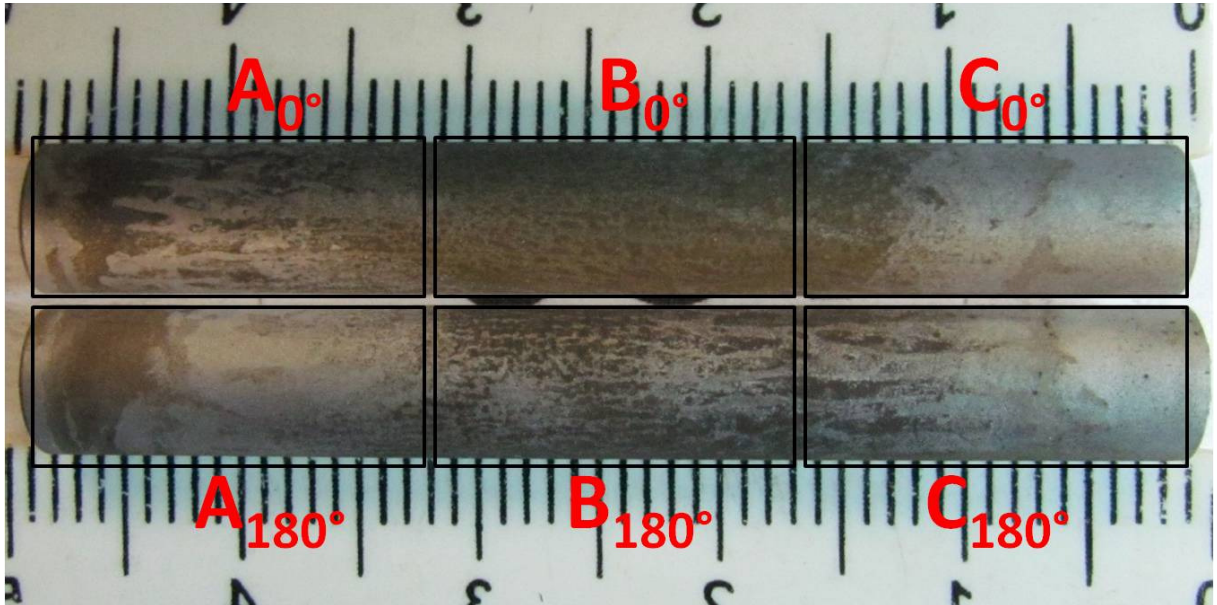


Figura 4.45 – Imagens mostrando a morfologia dos danos atuantes nas geratrizes 0° e 180° do C.P. para um ensaio de desgaste erosivo-corrosivo a 70°C.

5. CONCLUSÃO

1. Os 84 corpos de prova cilíndricos, de aço AISI 1018 não tratados termicamente, antes de ensaiados, semelhantes aos encontrados nos dutos de óleo e gás, apresentaram uma dispersão acentuada na textura superficial e nas tensões residuais subsuperficiais, evidenciadas por:

1.1. marcas de usinagem por retificação em que se identificam vestígios de mecanismos de abrasão por (a) corte e (b) formação de proa com destacamento e indentação, em alguns casos, de partículas duras;

1.2. flutuações no parâmetro da rugosidade periódica, R_{sm} e não-periódica, R_a , R_q e R_z , entre os valores máximos e mínimos de 2 a 2,3 vezes, enquanto essa faixa, para as microdurezas Vickers $HV_{0,05}$, $HV_{0,10}$, $HV_{0,20}$ foi de 58%, 41% e 35%, respectivamente;

2. Comprovou-se a eficiência do uso da célula de ensaios triboquímicos e da metodologia adotadas neste trabalho, ao se identificarem mecanismos de desgaste diferenciados em zonas de uma mesma geratriz a montante e a jusante dos corpos-de-prova ensaiados.

3. Os resultados da análise estatística da microdureza, dos parâmetros periódicos e não-periódicos da rugosidade e da ondulação superficial das zonas média e extremas de uma mesma geratriz do C.P. cilíndrico, demonstraram diferenças significativas compatíveis com a morfologia dos danos apresentados;

4. Evidenciou-se *desgaste corrosivo* nos ensaios sem agitação mecânica nem borbulhamento de gás, tanto a 30 como a 70°C, à taxa inferior a 2,1 $\mu\text{m}/\text{ano}$ e 27,6 $\mu\text{m}/\text{ano}$, respectivamente, confirmando que os mecanismos reacionais, a concentração das espécies químicas e a temperatura foram os principais fatores que atuaram no processo de desgaste corrosivo;

5. A *taxa de desgaste corrosivo* a 70°C, inferior a 4,0 $\mu\text{m}/\text{ano}$ nas duas primeiras horas de ensaio sem agitação, e na sua repetição, sugere o relato de KERMANI e MORSHED (2003), sobre a formação de uma camada protetora de FeCO_3 na superfície do aço carbono;

6. *Nos ensaios de desgaste corrosivo-cavitativo:*

6.1. O escoamento do fluido dentro da célula apresentou vestígios de escoamento laminar de Couette e presença de vórtices de Taylor, caracterizados morfológica e fisicamente, através da inspeção visual, textura e microdureza dos

corpos de prova, sugerindo transição de mecanismos de desgaste corrosivo e por cavitação;

6.2. A taxa de desgaste, para o ensaio a 30°C, diminuiu até $2,2 \times 10^6$ ciclos, chegando a valores próximos de zero no intervalo de 8 a 10 horas de ensaio, a partir deste momento existe uma tendência da taxa a permanecer constante.

6.3. Os ensaios realizados a temperatura de 70°C apresentaram taxa de desgaste corrosivo a baixo de $10 \mu\text{m/ano}$ após duas horas de ensaio ($0,5 \times 10^6$ ciclos). Após 10 horas ($2,7 \times 10^6$ ciclos), no primeiro ensaio, e 8 horas ($2,2 \times 10^6$ ciclos), no segundo ensaio, a taxa aumenta exponencialmente, provavelmente devido à quebra catastrófica do filme na superfície dos C.P.

7. A hidrodinâmica da suspensão fluídica no entorno do C.P. e os particulados neles presentes demarcaram zonas no C.P. que sugerem distintos mecanismos de desgaste, a partir dos resultados de RPL, variação mássica, textura e microdureza.

8. Nos ensaios de desgaste erosivo-corrosivo:

8.1 Os particulados de SiO_2 agiram inibindo o processo corrosivo até $0,5 \times 10^6$ ciclos, a partir da qual a taxa variou intercalando taxas de desgaste na faixa compreendida entre 1 e $10 \mu\text{m/ano}$, à temperatura de 30°C;

8.2 Para os ensaios a 70°C, o efeito sinérgico provocou taxa de desgaste de $18 \mu\text{m/ano}$ a partir de $1,5 \times 10^6$ ciclos;

8.3 A rugosidade superficial e a ondulação mostraram, em algumas situações, diferenças estatisticamente significativa, assim como, também, nos ensaios corrosivo-cavitativo.

9. A comparação estatística, utilizando-se o *software Statgraphics® Centurion XVI*, com 95% de certeza estatística, mostrou que um corpo cilíndrico submetido a condições de ensaios adversas apresentou danos superficiais e subsuperficiais diferenciados no seu entorno e que tais danos puderam ser perceptíveis através das técnicas de microdureza, rugosidade e ondulação superficial.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Caracterizar as condições superficiais dos corpos-de-prova de aço baixo carbono através de microscopia eletrônica de varredura (MEV).
- Comparar o desempenho triboquímico dos corpos de prova soldados, ou não, ensaiados através da resposta da taxa de desgaste corrosivo.
- Caracterizar as condições superficiais das amostras, através dos ensaios de difração de raios X (tensões residuais compressivas e/ou trativas, e estrutura cristalina) e fluorescência de raios X (composição química).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Levantamento da Distribuição de Pressão sobre um Cilindro em um Túnel de Vento. Disponível em <<http://www.feng.pucrs.br/lsvm/Experimental/Experiencia%20do%20Cilindro/Lab-cilindros.htm#top>>. Acessado em Mai. 2012.

ALTOÉ, P. A. **Gerenciamento da Corrosão em Dutos: Corrosão Interna em Dutos de Óleo, Gás e Derivados**, Apostila, 1998.

ANDRADE, C. A. **Identificação dos Mecanismos de Corrosão nos Oleodutos que Transportam o Petróleo Cabiúnas e Definição de Critérios para Determinar os Agentes Corrosivos e a Corrosividade Interna de Oleodutos**, Relatório Técnico Final, CENPES/DIPLLOT/SEMEC, Rio de Janeiro, 2000.

ASTM A262 – 02. **Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels**, 2002.

ASTM D1193 – 06. **Standard Specification for Reagent Water**, 2011.

ASTM E350 – 00. **Standard Test Methods for Chemical Analysis of Carbon Steel, Low-Alloy Steel, Silicon Electrical Steel, Ingot Iron, and Wrought Iron**, 2000.

ASTM G1 – 03. **Standard Practice for Preparing, Cleaning and Evaluating Corrosion Test Specimens**, 2011.

ASTM G32 – 10. **Standard test method for cavitation erosion using vibratory apparatus**, 2010.

ASTM G119 – 09. **Standard Guide for Determining Synergism Between Wear and Corrosion**, 2009.

COLOMBAROLI, P. L. S. **Sistema de Detecção de Vazamento em Dutos de Petróleo**, PRH16-ANP/MCT, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.

CUNHA, J. D. **Avaliação de heterociclo do tipo mesoiônico solubilizado em sistema microemulsionado para aplicação em dutos**, 96f. **Dissertação**, (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.

CUPPARI, M. G. D. V. **Relação entre a microestrutura e a resistência à cavitação de ligas fundidas baseadas no sistema quaternário**, 252f. **Tese**, Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

DEARNLEY, P. A.; ALDRICH-SMITH, G. **Corrosion–wear mechanisms of hard coated austenitic 316L stainless steels**, *Wear*, v. 256, p. 491–499, 2004.

FERREIRA, P. A. **Corrosão Interna em Dutos de Óleo, Gás e Derivados, Gerenciamento da Corrosão de Dutos**, CENPES/DIPILOT/SEMEC, Rio de Janeiro, 1998.

FERREIRA, P. A.; FERREIRA, C. V. M. **Mitos e Verdades Sobre a Corrosão Pelo CO₂ Em Sistemas de Produção de Óleo e Gás - Poços, Dutos e Plantas**, 7^o COTEQ, Florianópolis, 2003.

FOFANO, S.; PONTE, H. A. **Considerações sobre a Determinação de Taxas de Corrosão através de Técnicas Eletroquímicas**, 5^o COTEC, São Paulo, 2001.

GENTIL, V. **Corrosão**, 5 ed. Editora LTC, 353p. Rio de Janeiro, 2007.

GOMES, A. C. T. **Análise da Corrosão e da Erosão-corrosão do Aço Carbono em Meio com NaHCO₃ e CO₂**, 137f. **Dissertação**, (Mestrado) – Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

HUTCHINGS, I. M. **Tribology - Friction and Wear of Engineering Materials**, Cambridge: British Library Cataloguing in Publication Data, 273p. 1992.

KERMANI, M. B.; MORSHED, A. **Carbon Dioxide Corrosion in Oil and Gas Production – A Compendium**, Corrosion, v. 59, n. 8, p. 659–683, 2003.

KINSELLA, Y. J.; TAN, Y. J.; BAILEY, S. **Electrochemical Impedance Spectroscopy and Surface Characterization Techniques to Study Carbon Dioxide Corrosion Product Scales**, Corrosion, v. 54, n. 10, p. 835–842, 1998.

KWOK, C. T.; CHENG, F. T.; MAN, H. C. **Synergistic effect of cavitation erosion and corrosion of various engineering alloys in 3,5% NaCl solution**, Materials Science and Engineering A, v. 290, p. 145–154, 2000.

LINTER, B.R. e BURSTEIN, G.T. **Reactions of Pipeline Steel in Carbon Dioxide Solutions**, Corrosion Science, v. 41, p. 117–139, 1999.

MACMAHON, A.J.; MARTIN, J.W.; HARRIS, L. **Effects of Sand and Interfacial Adsorption Loss on Corrosion Inhibitor Efficiency**, Corrosion 2005 – NACE, paper n° 5274, 2005.

MAGALHÃES, A. A.; PIMENTA, G. S. **Curso de Técnicas de Monitoramento e Controle de Processos Corrosivos**, Rio de Janeiro, 2003.

MALKA, R.; NEŠIĆ, S.; GULINO, D. A. **Erosion–corrosion and synergistic effects in disturbed liquid-particle flow**, Wear, v. 262, p. 791–799, 2007.

MANHABOSCO, T. M.; MULLER, I. L.; SANTOS, C. B. **Tribocorrosion of Ti6Al4V alloy in phosphate buffered saline solution**, Química Nova, v. 32, n. 9, 2009.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; TREVISAN, R. E. **O ensaio acelerado de desgaste cavitacional induzido por vibração ultra-sônica**, Revista Ciência & Engenharia (Science & Engineering Journal), v. 10(2), p. 103–112, 2001.

MEDEIROS, J. T. N. **Fadiga de contato de discos metálicos não-conformes submetidos a ensaio a seco de rolamento cíclico**, 239f. Tese, (Doutorado) –

Doutorado em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MEGED, Y. **Modeling of the initial stage in vibratory cavitation erosion tests by use of a Weibull distribution**, *Wear*, v. 253, p. 914–923, 2002.

METAL SAMPLES COMPANY, **Catalog IX.8**, 2005.

MISHRA, B.; AL-HASSAN, S.; OLSON, D. L.; M.M. SALAMA, M. M. **Development of a Predictive Model for Activation-Controlled Corrosion of steel in Solutions Containing Carbon Dioxide**, *Corrosion*, v. 53, n. 11, p. 852–859, 1997.

MORAES, F.; SHADLEY, J. R.; CHEN, J.; RYBICKI, E. F. **Characterization of CO₂ Corrosion Products Scales Related to Environmental Conditions**, *Corrosion 2000 - NACE*, paper nº 30, 2000.

MORA-MENDOZA, J. L.; TURGOOSE, S. **Fe₃C Influence on the Corrosion Rate of Mild Steel in Aqueous CO₂ Systems under Turbulent Flow Conditions**, *Corrosion Science*, v. 44, p. 1223–1246, 2002.

NACE RP 0775 – **Preparation, Instalation, Analysis and Interpretation of corrosion coupons in Oilfield Operations**, 1999.

NEŠIĆ, S.; LUNDE, L. **Carbon Dioxide Corrosion of Carbon Steel in Two-Phase Flow**, *Corrosion*, v. 50, n. 9, p. 717–727, 1994.

NEVILLE, A.; HODGKIESS, T.; DALLAS, J. T. **A study of the erosion-corrosion behaviour of engineering steels for marine pumping applications**, *Wear*, v. 186–187, p. 497–507, 1995.

NÓBREGA, A. C. V.; SILVA, D. R.; BARBOSA, A. F. F.; PIMENTA, G. S. **Proposta de um Plano de Monitoramento e Controle de Corrosão para Dutos de Transporte**, XXII Congresso Brasileiro de Corrosão – CONBRASCORR, Salvador, 2002.

RUZIC, V.; VEIDT, M.; NEŠIĆ, S. **Protective Iron Carbonate Films – Part 1: Mechanical Removal in Single-Phase Aqueous Flow**, Corrosion, v. 62, n. 5, p. 419–432, 2006.

SILVA, F. J. **Erosão, corrosão, erosão-corrosão e cavitação do aço ABNT 8550 nitretado a plasma**, 252f. **Tese** (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

SHADLEY, J. R.; SHIRAZI, S. A.; DAYALAN, E.; ISMAIL, M.; RYBICKI, E. F. **Erosion-Corrosion of a Carbon Steel Elbow in a Carbon Dioxide Environment**, Corrosion, v. 52, n. 9, p. 714–723, 1996.

STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W. **Engineering Tribology**, Butterworth-Heinemann, 3^a ed., 801 p. 2006.

STACK, M. M. **Mapping tribo-corrosion processes in dry and in aqueous conditions: some new directions for the new millennium**, Tribology International, v. 35, p. 681–689, 2002.

STACK, M. M.; CORLETT, N.; TURGOOSE, S. **Some recent advances in the development of theoretical approaches for the construction of erosion-corrosion maps in aqueous conditions**, Wear, v. 233–235, p. 535–541, 1999.

STACK, M. M.; PUNGWIWAT, N. **Erosion-corrosion mapping of Fe in aqueous slurries: some views on a new rationale for defining the erosion-corrosion interaction**, Wear, v. 256, p. 565–576, 2004.

STACK, M. M.; RODLING, J.; MATHEW, M. T.; JAWAN, H.; HUANG, W.; PARK, G.; HODGE, C. **Micro-abrasion-corrosion of a Co-Cr/UHMWPE couple in Ringer's solution: An approach to construction of mechanism and synergism maps for application to bio-implants**, Wear, v. 269, p. 376–382, 2010.

SUN, Y.; HARUMAN, E. **Effect of electrochemical potential on tribocorrosion behavior of low temperature plasma carburized 316L stainless steel in 1 M H₂SO₄ solution**, Surface & Coatings Technology, v. 205, p. 4280–4290, 2011.

TÁVORA, M. P. **Avaliação do efeito de particulados sólidos na eficiência de um inibidor de corrosão recomendado para meios salinos com CO₂**, 128f. **Dissertação**, (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

TERZIAN, R. L. **Conceitos e Metodologias de Gestão de Projeto e sua aplicação ao caso da Integridade da Malha Dutoviária**, 138f. **Dissertação**, (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

VIEIRA, A. C.; ROCHA, L. A.; PAPAGEORGIOU, N.; MISCHLER, S. **Mechanical and electrochemical deterioration mechanisms in the tribocorrosion of Al alloys in NaCl and in NaNO₃ solutions**, Corrosion Science, v. 54, p. 26–35, 2012.

WATSON, S. W.; FRIEDERSDORF, F.J.; MADSEN, B.W.; CRAMER, S.D. **Methods of measuring wear-corrosion synergism**, Wear, v. 181–183, p. 476–484, 1995.

WOLYNEC, S. **Técnicas Eletroquímicas em Corrosão**, Editora EdUSP, 176p. São Paulo, 2003.

WOOD, R. J. K. **Tribo-corrosion of coatings: a review**, Journal of Physics D: Applied Physics, v. 40, p. 5502 – 2221, 2007.

WOOD, R. J. K. **Erosion–corrosion interactions and their effect on marine and offshore materials**, Wear, v. 261, p. 1012–1023, 2006.

YANG, Y.; CHENG, Y. F. **Parametric effects on the erosion–corrosion rate and mechanism of carbon steel pipes in oil sands slurry**, Wear, v. 276–277, p. 141–148, 2012.

ZUM GAHR, K. H. **Microstructure and wear of materials**, Elsevier, 599p. 1987.

APÊNDICE A – Construindo a Hipótese: Ensaio Piloto (*Screening Tests*)

Neste apêndice são apresentados os resultados dos ensaios piloto (*screening tests*). Ensaio este que ajudaram a formular a hipótese do presente trabalho. Os ensaios, em célula de ensaios triboquímicos, foram realizados a temperatura de 30°C (e um a 70°C) e em três meios triboquímicos: desgaste corrosivo-cavitativo (DC), erosivo (DE) e erosivo-corrosivo (DEC).

A.1 Resistência de polarização linear (RPL)

O ensaio de desgaste corrosivo-cavitativo (DC), Figura A.1, apresentou uma flutuação muito elevada durante 14 horas de ensaio, devido à ruptura catastrófica do filme na superfície do corpo de prova, mas após as 14 horas estabilizou-se até o fim do ensaio. Tal fenômeno pode ser explicado devido à hidrodinâmica dentro da célula, na qual as 6 palhetas do agitador mecânico joga o fluido (solução salina + CO₂) contra os corpos de prova, desta forma promovendo a quebra do filme. O agitador que está a 750 rpm, promove $2,7 \times 10^5$ injeções de fluido por hora, ou seja, as 13 horas de ensaio tem-se $3,5 \times 10^6$ injeções de fluido (fadiga de alto ciclo) sobre a superfície do corpo de prova. Na hidrodinâmica foi possível observar vestígios do escoamento laminar de Couette e a formação de vórtices de Taylor (hidrodinâmica de Taylor-Couette), desta forma explicando o quão é turbulento o escoamento do fluido dentro da célula e que o desgaste corrosivo é acelerado pela cavitação (formação de bolhas devido à hidrodinâmica e inserção de gás).

Agora, nos ensaios DE (solução salina + SiO₂ + N₂) e DEC (solução salina + SiO₂ + CO₂) (Figura A.1), as taxas de desgaste por RPL foram menores. Na primeira condição, pelo fato não haver CO₂ no meio, já na segunda pela presença de partículas sólidas (SiO₂), sendo um comportamento estritamente erosivo afetado somente pela hidrodinâmica dentro da célula.

Na condição DEC (Figura A.1), duas horas de ensaio são suficientes para estabilizar a superfície, através do jateamento de fluido com bolhas e particulados, desta forma diminuindo o processo corrosivo. Neste intervalo de duas horas ocorreram $5,4 \times 10^5$ injeções de fluido corrosivo, mais particulados contra a superfície do corpo de prova. O efeito sinérgico erosão-corrosão é observado nas duas primeiras horas de ensaio.

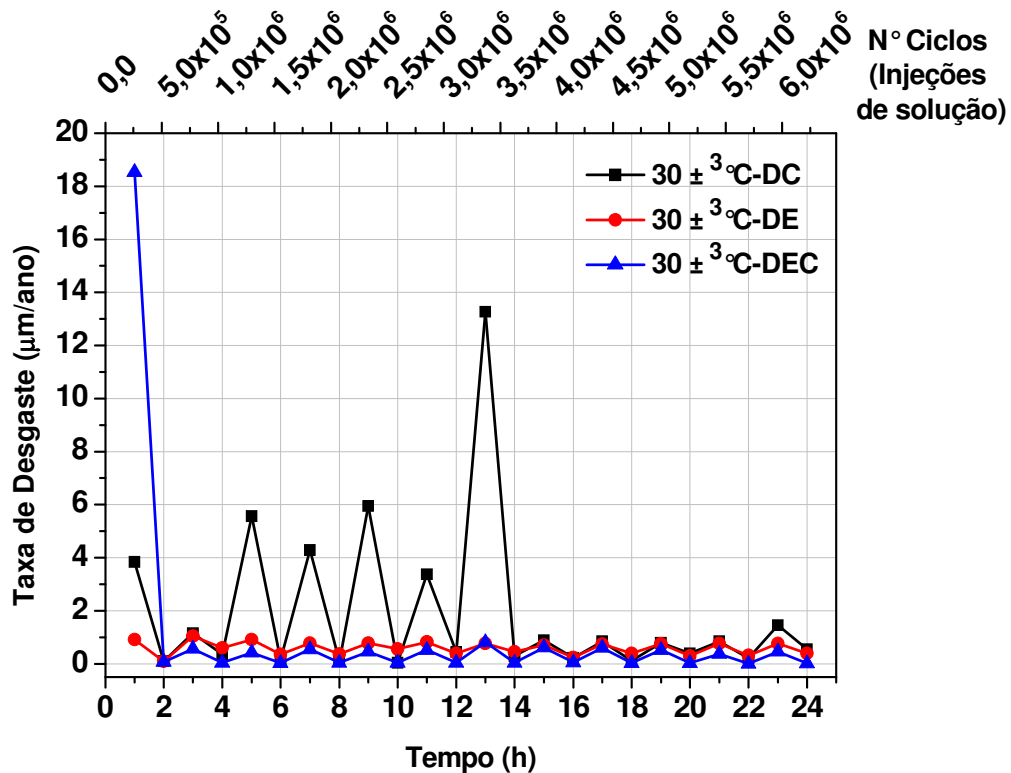


Figura A.1 – Gráficos de medidas por RPL para as condições DC, DE e DEC a $30\pm^3\text{°C}$.

Na Figura A.2 são apresentadas as primeiras repetições. No gráfico DC1 houve a antecipação do maior pico de 12-14 (Figura A.1 – Gráfico DC) para 6-8 (Figura A.2 – Gráfico DC1) horas, ou seja, a $1,8\times 10^6$ ciclos houve o rompimento catastrófico do filme sobre a superfície do C.P. Logo após o filme não estabilizou, havendo flutuações até as 16 horas e estabilizando depois até o fim do ensaio, ou seja, a hidrodinâmica não afetou mais as condições superficiais.

O ensaio DE1 (Figura A.2) comportou-se de forma semelhante ao anterior (Figura A.1 – Gráfico DE), as medidas sendo afetadas somente pela erosão das partículas e pela hidrodinâmica.

No DEC1 (Figura A.2) é observado o efeito sinérgico durante as 4 primeiras horas de ensaio $1,1\times 10^6$ ciclos e depois só nas duas últimas horas ($6,0\times 10^6$ ciclos), a hidrodinâmica afetou a superfície no final do ensaio.

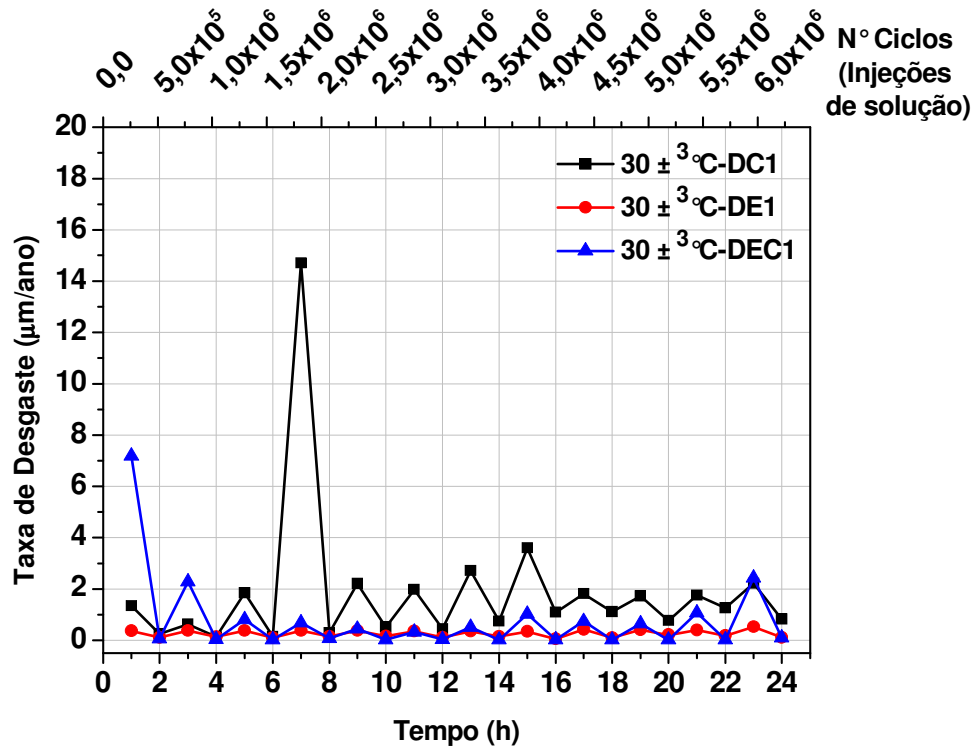


Figura A.2 – Gráficos de medidas por RPL para as condições DC1, DE1 e DEC1 a $30 \pm 3^\circ\text{C}$ (Repetição 1).

O gráfico DC2 (Figura A.3) apresentou um pico de taxa de desgaste elevado entre 4 e 6 ($1,4 \times 10^6$ ciclos) horas de ensaio, tal fenômeno foi antecipado mais ainda em comparação com os ensaios anteriores, mostrando que cada ensaio possui uma hidrodinâmica diferenciada que atua de forma heterogênea sobre a superfície dos eletrodos.

O gráfico DE2 (Figura A.3) comportou-se de forma semelhante aos ensaios anteriores, sendo afetado somente pela hidrodinâmica e propriedades reológicas do fluido dentro célula.

Na primeira hora de ensaio no ensaio de desgaste erosivo-corrosivo (Figura A.3 – Gráfico DEC2), apresentou-se um pico de taxa de desgaste com duas ordens de grandeza maior do que os dos outros ensaios, o feito sinérgico (erosão-corrosão) atuou fortemente nas duas primeiras horas de ensaio protegendo a superfície contra o meio corrosivo.

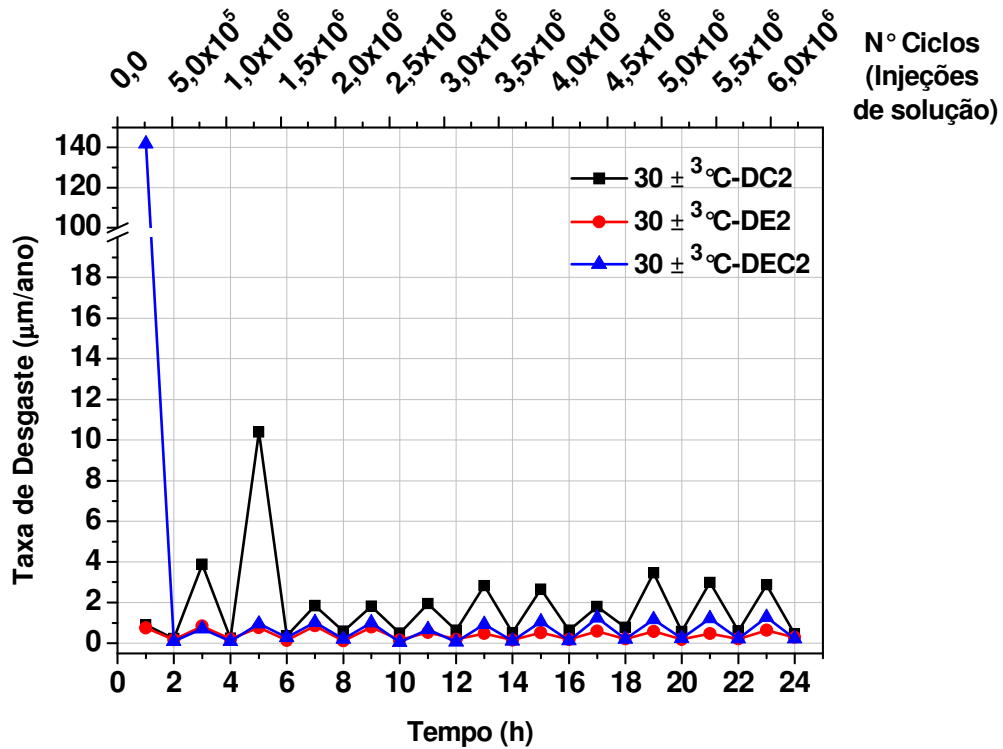


Figura A.3 – Gráficos de medidas por RPL para as condições DC2, DE2 e DEC2 a $30\pm^3\text{°C}$ (Repetição 2).

Através da Figura A.4 é observado que o gráfico de desgaste erosivo a 70°C apresentou uma maior flutuação na taxa de desgaste em relação aos outros, tal fato é confirmado devido o aumento da temperatura. Já a variação nas últimas horas, ocorre, provavelmente, pelo fato do processo ser contínuo e a temperatura ser um forte agente catalítico.

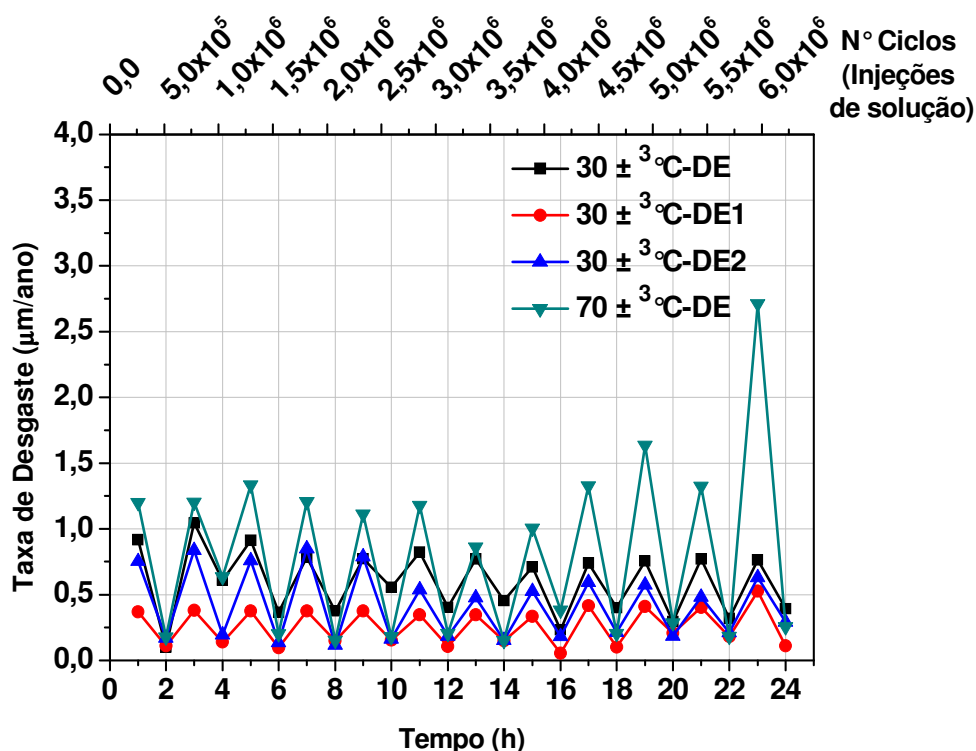


Figura A.4 – Gráficos de medidas por RPL para as condições DE, DE1 e DE2 a $30 \pm 3^\circ\text{C}$; e para DE a $70 \pm 3^\circ\text{C}$.

Por fim, foi observado que os resultados de RPL foram influenciados diretamente pela hidrodinâmica presente na célula, ou seja, em cada ensaio a hidrodinâmica comportou-se de forma diferente, até mesmo entre as repetições.

O efeito do sinergismo erosão-corrosão foi observado sempre nas duas primeiras horas dos ensaios tanto para o primeiro (Figura A.1) quanto para suas repetições (Figuras A.2 e A.3).

A.2 Taxa de desgaste por variação mássica

Na Tabela A.1 são apresentados os valores de taxa de desgaste medida por variação mássica, segundo a norma ASTM G1 – 03 (2011). Foi observado que as taxas de desgaste para as condições DC e DEC, até nas repetições, foram semelhantes, mostrando que esta medição não leva em consideração os mecanismos atuantes no corpo de prova. Já a taxa de desgaste para a condição DE a 30°C , era esperado valores baixo, pois não possui um meio corrosivo como nos

outros ensaios, é observado também um aumento na taxa de desgaste para o ensaio DE a 70 °C, valor influenciado praticamente pelo aumento na temperatura.

Tabela A.1 – Tabela das taxas de desgaste medidas por variação mássica após decapagem química ao final de cada ensaio.

TEMPERATURA	CONDIÇÃO	TAXA DE DESGASTE (mm/ano)
30± ³ °C	DC	5,2781
	DE	0,1935
	DEC	5,4294
30± ³ °C (Repetição 1)	DC1	4,5860
	DE1	0,1090
	DCE1	4,3762
30± ³ °C (Repetição 2)	DC2	5,9716
	DE2	0,3311
	DEC2	4,0465
70± ³ °C	DE	1,3161

A.3 Microdureza Vickers (HV)

Tendo em vista que os corpos de prova, no processo fabricação, foram retificados, o que levou ao aumento na tensão residual compressiva em suas superfícies, desta forma aumentando também a dureza superficial dos corpos de prova. Com base no que foi colocado são discutidos os resultados de microdureza Vickers.

Na Figura A.5 são apresentadas as medições de microdureza, em apenas uma das geratrizes dos corpos de prova, para os primeiros ensaios, nas condições DC, DE, DEC e do não ensaiado (NE). Foi observado que nas duas primeiras condições (DC e DE) há uma tendência na diminuição dos valores de microdureza com o aumento da carga, já na condição DEC acontece o inverso. Tal fato aconteceu, pois existem mecanismos de desgaste atuantes na condição DEC agindo conjuntamente, por exemplo, o CO₂ + SiO₂, que não existem nas outras condições, desta forma promovendo a diminuição, nas tensões residuais compressivas na superfície, como visto nos valores de microdureza desta; em contrapartida, aumentou-se as tensões na subsuperfície. Agora, nas outras duas condições (DC e DE) houve aumento das tensões na superfície, observado pelo aumento nos valores de microdureza.

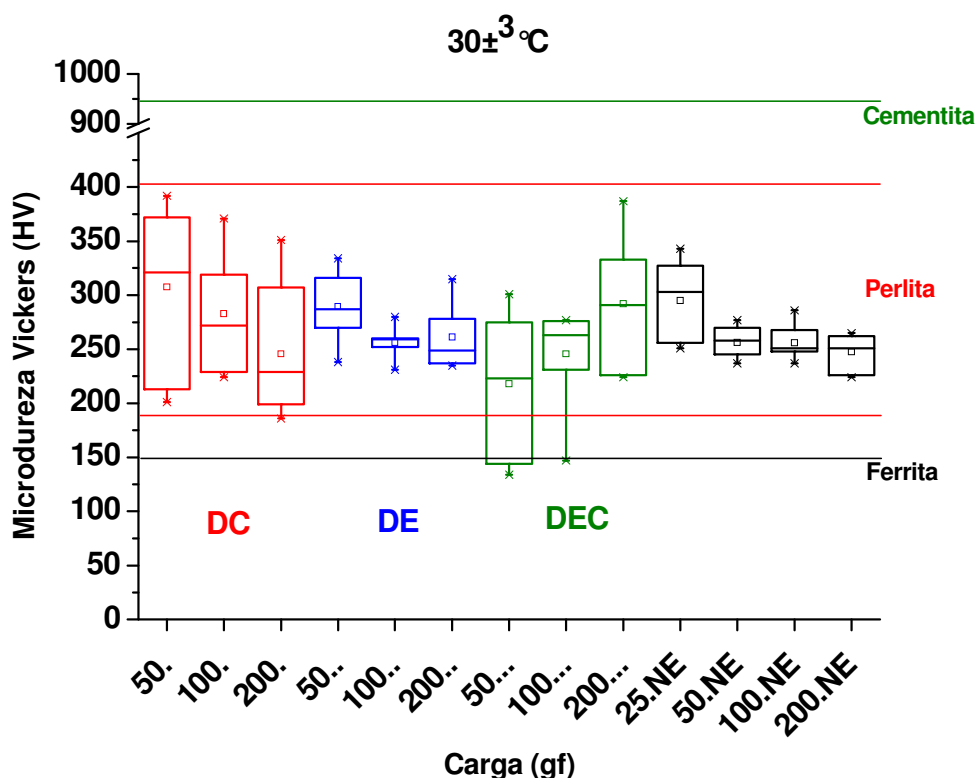


Figura A.5 – Microdureza Vickers para os primeiros ensaios nas condições DC, DE e DEC; medições realizadas em apenas uma geratriz dos C.P.'s.

Nas Figuras A.6, A.7 e A.8 as medidas de microdureza foram feitas em mais de uma geratriz do corpo de prova, desta forma as essas medidas são mais representativas, tendo em vista que os corpos de prova estão inseridos em um meio hidrodinamicamente ativo e não há uma homogeneidade no impacto do fluido sobre a superfície do corpo de prova.

Através da Figura A.6 (DC2) é observada uma diminuição nos valores de microdureza da geratriz a 0° para geratriz a 180°. Isto é explicado, devido os alguns dos mecanismos de desgaste atuantes a 0° serem diferentes dos que atuam a 180°. Na geratriz a 0° tem-se os seguintes mecanismos: erosão por jato líquido, bolhas de CO₂ provocando cavitação e corrosão; a 180°, os seguintes: além das bolhas de CO₂, têm-se também vórtices que formam bolhas que provocam cavitação, jato líquido e corrosão. Desta maneira o desgaste a 180° será mais acentuado, promovendo a diminuição nas tensões residuais da superfície, fato explicado pela diminuição na microdureza.

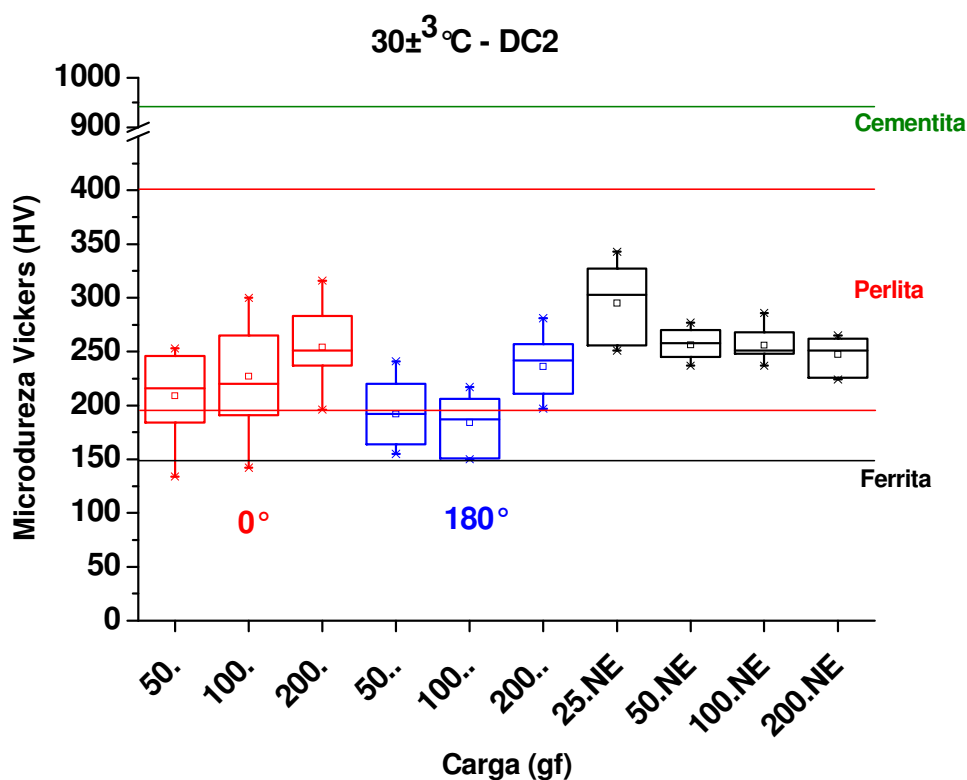


Figura A.6 – Microdureza Vickers para o ensaio na condição DC2; medições realizadas em duas geratrizes do C.P. a 0° e a 180° .

Os mecanismos de danos atuantes na condição DE2 a 0° (Figura A.7) são: erosão por jato líquido com particulado e cavitação por bolhas de N_2 ; já a 180° além dos mencionados anteriormente tem-se também cavitação por bolhas devido à formação de vórtices. Neste contexto é explicado que na geratriz a 0° , o desgaste é menos acentuado que na 180° , e as tensões residuais a 180° diminuíram na superfície e aumentaram na subsuperfície, como é observado no aumento da microdureza, agora a 0° ocorre o oposto, aumento nas tensões residuais na superfície, ou seja, microdureza elevada na superfície. Os mecanismos de desgastes atuantes nas geratrizes 90° e 270° também são diferentes; para 90° a microdureza diminui com o aumento da carga e para 270° a microdureza aumenta com o aumento da carga, ou seja, os mecanismos atuantes são diferentes.

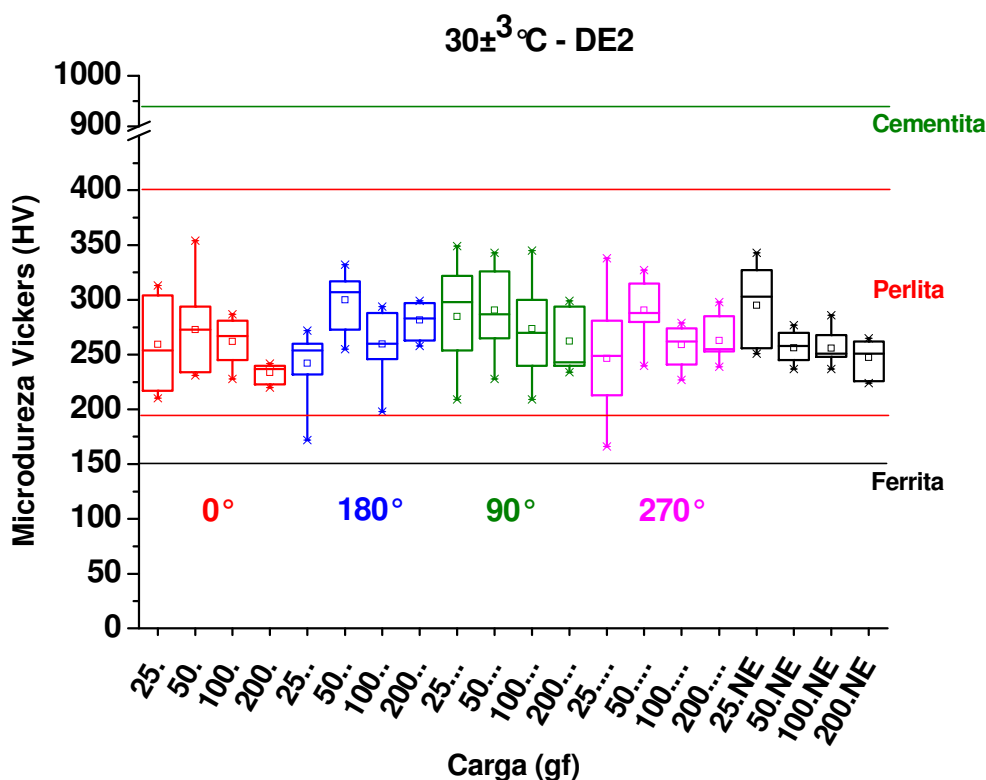


Figura A.7 – Microdureza Vickers para o ensaio na condição DE2; medições realizadas nas quatro geratrizes do C.P. a 0° , 180° , 90° e 270° .

Para o ensaio DEC2 (Figura A.8), no qual se tem o efeito sinérgico erosão-corrosão, são observados os seguintes mecanismos de danos: na geratriz a 0° , tem-se a erosão por jato líquido com particulados, a cavitação devido as bolhas de CO_2 e corrosão; a 180° além dos mencionados anteriormente tem também a cavitação das bolhas formadas pelos vórtices. Com base nestes mecanismos e tendo em vista que a geratriz a 0° sofre menos danos que a 180° , é observado um aumento na microdureza para a carga de 100 gf de 0° para 180° e também um aumento nos valores de HV para a de 200 gf, influenciados pelos mecanismos atuantes.

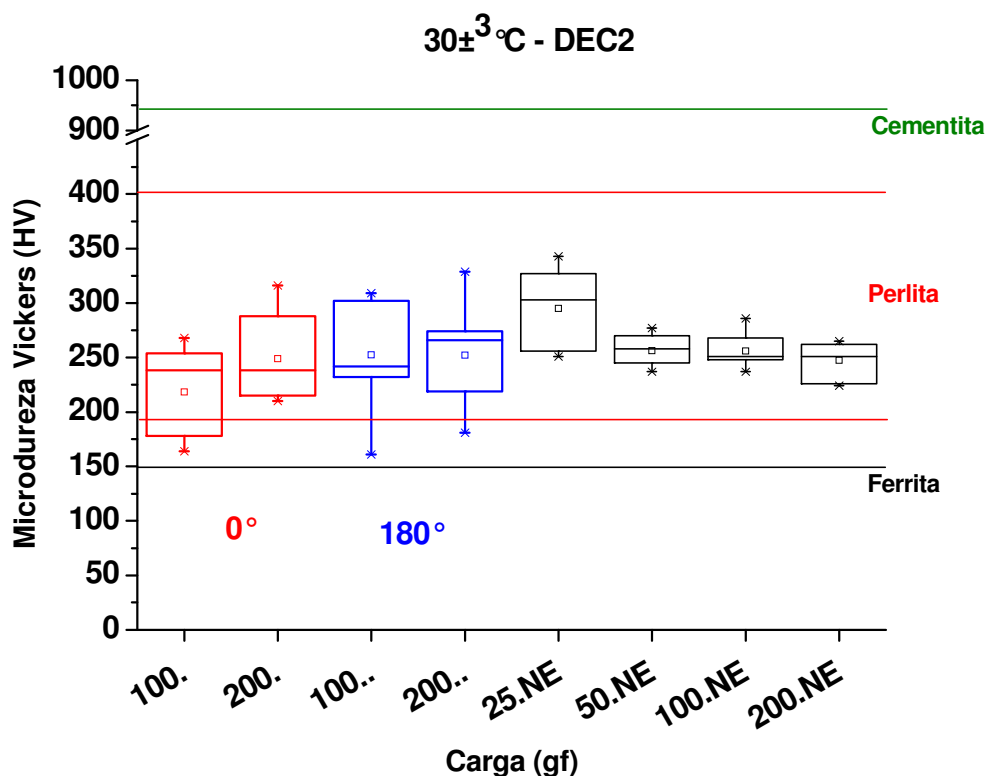


Figura A.8 – Microdureza Vickers para o ensaio na condição DEC2; medições realizadas em duas geratrizes dos C.P. a 0° e a 180° .

A.4 Rugosidade e ondulação

Com base nos resultados de rugosidade R_a , R_z e W_a , pode-se observar que os valores encontrados para o C.P. não ensaiado está de acordo com os valores de amostras que passaram pelo processo de retificação. Ao analisar todas as condições de ensaio comprova-se que o DE, DE1 e DE (70°C) foram os que apresentaram menor rugosidade e ondulação, assim como nos resultados de RPL e variação mássica (ver seção A.1 e A.2), aproximando-se do valor encontrado pelo C.P. não ensaiado.

Tabela A.2 – Medidas de rugosidade média (Ra), rugosidade de profundidade média (Rz) e ondulação média (Wa); realizadas em apenas uma geratriz do C.P (µm).

30 ± 3°C	DC	DC1	DE	DE1	DE (70 ± 3°C)	DEC	DEC1	Não Ensaída
Ra	0,980	0,917	0,331	0,250	0,439	0,935	0,793	0,242
Rz	6,327	6,940	2,407	1,690	3,060	5,963	5,643	1,820
Wa	0,687	1,202	0,520	0,225	0,677	0,670	0,261	0,401

Ao realizar medições de rugosidade e ondulação nas quatro geratrizes percebe-se que no geral para todas as condições, comparando-se 0° e 180°, os valores para a geratriz 180°, como esperado, apresentaram-se mais acentuados do que para 0°, justificado pelos mecanismos de desgaste atuantes nesta geratriz (ver seção A.3).

Sabendo-se que na geratriz a 270° existe uma maior influência do borbulhamento de gases (CO₂ – DC2, DEC2 e N₂ – DE2) entende-se que este é o motivo para os valores de ondulação (Wa) ter sido mais elevados nesta geratriz.

Tabela A.3 – Medidas de rugosidade média (Ra), rugosidade de profundidade média (Rz) e ondulação média (Wa); realizadas em quatro geratrizes do C.P. (µm).

30 ± 3°C	0°			90°			180°			270°		
	Ra	Rz	Wa	Ra	Rz	Wa	Ra	Rz	Wa	Ra	Rz	Wa
DC2	1,263	8,690	1,240	1,423	9,463	0,972	1,457	9,473	1,123	1,230	8,670	0,986
DE2	0,439	3,507	0,631	0,459	3,347	0,487	0,572	4,637	1,032	0,621	4,397	0,757
DEC2	1,234	8,000	1,812	1,233	8,350	1,847	1,397	9,080	1,463	1,267	8,047	1,903

A.5 Evidências dos diferentes mecanismos de desgaste atuantes nos C.P.'s

Os ensaios que alguns autores consideram como corrosão pura, foi possível identificar mecanismos de dano diferenciado, conforme mostrado, de acordo com o escoamento do fluido, nas morfologias dos danos nas zonas A, B e C.

A.5.1 Ensaio corrosivo-cavitativo

Os mecanismos de desgaste atuantes na geratriz do C.P. (Figura A.9) a 0° foram: erosão (jato líquido), cavitação (bolhas de CO_2) e corrosão. Já, na geratriz a 180° : erosão (jato líquido), cavitação (bolhas de CO_2 e vórtices) e corrosão.

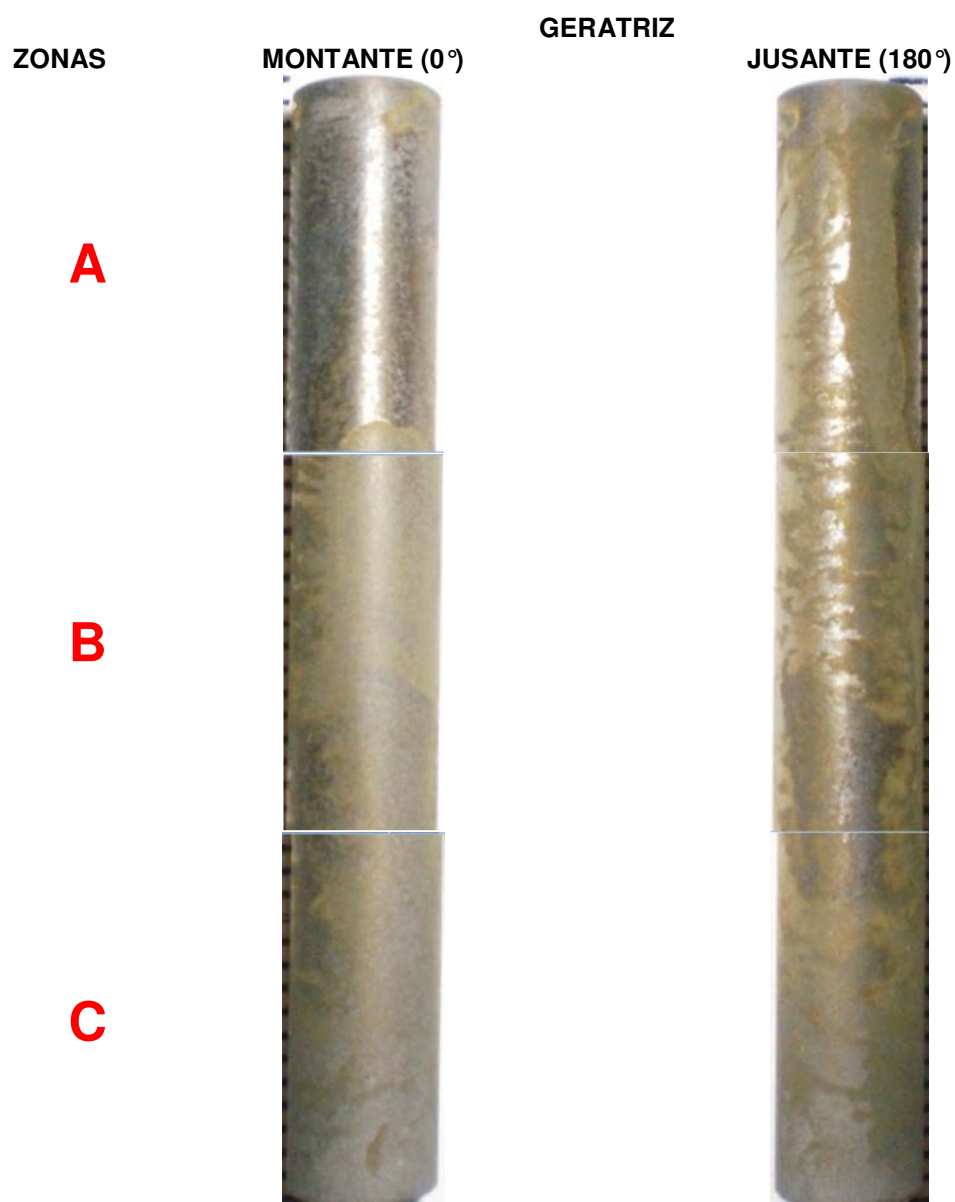


Figura A.9 – Imagens mostrando a morfologia dos danos atuantes nas geratrizes 0° e 180° do C.P. para um ensaio de desgaste corrosivo-cavitativo.

A.5.2 Ensaio erosivo

Os mecanismos de desgaste atuantes na geratriz do C.P. (Figura A.10) a 0° foram: erosão (particulado e jato líquido), cavitação (bolhas de N_2). E, na geratriz a 180° : erosão (particulado e jato líquido), cavitação (bolhas de N_2 e vórtices).

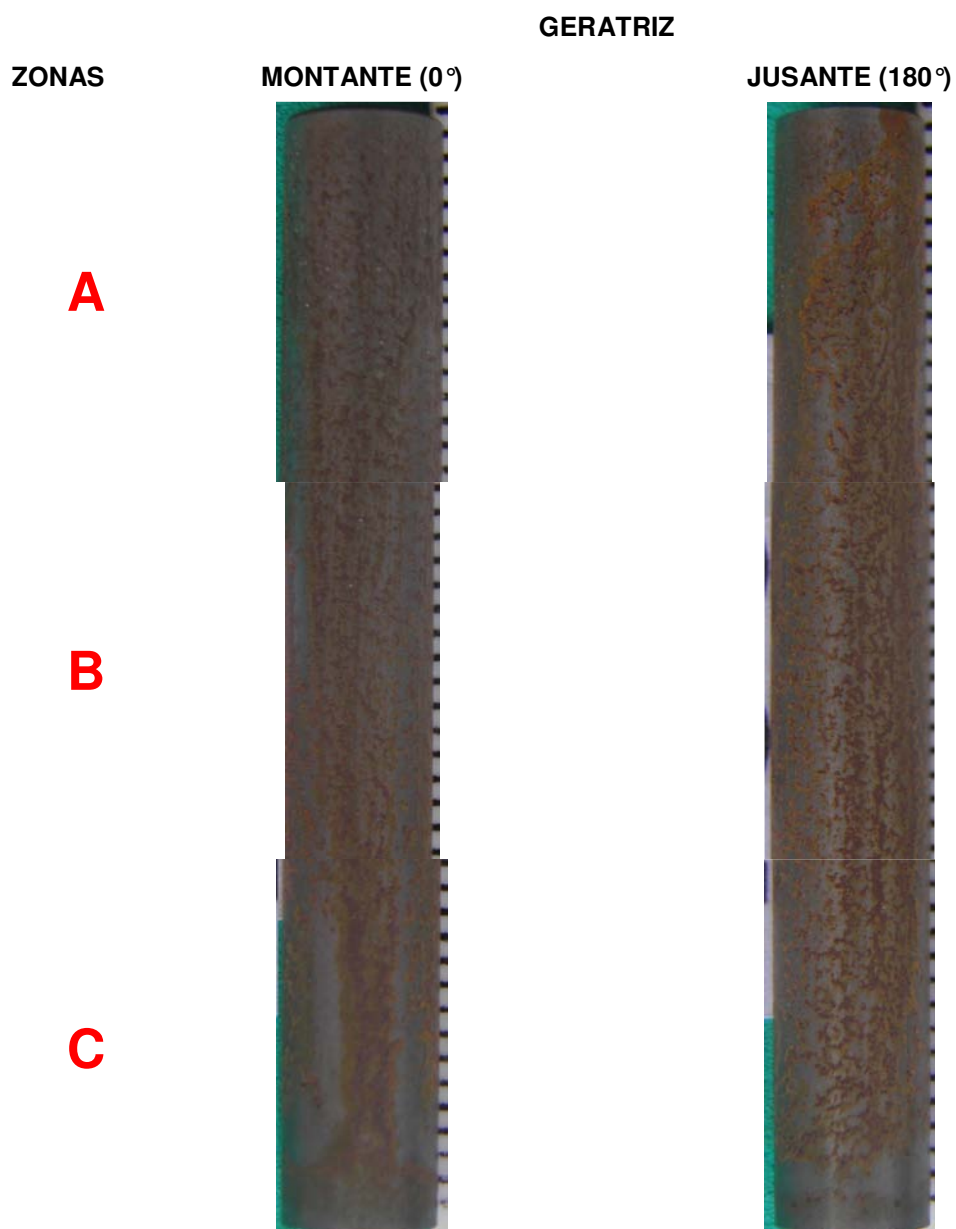


Figura A.10 – Imagens mostrando a morfologia dos danos atuantes nas geratrizes 0° e 180° do C.P. para um ensaio de desgaste erosivo.

A.5.3 Ensaio erosivo-corrosivo

Os mecanismos de desgaste atuantes na geratriz do C.P. (Figura A.11) a 0° foram: erosão (particulado e jato líquido), cavitação (bolhas de CO_2) e corrosão. Agora, na geratriz a 180° : erosão (particulado e jato líquido), cavitação (bolhas de CO_2 e vórtices) e corrosão.

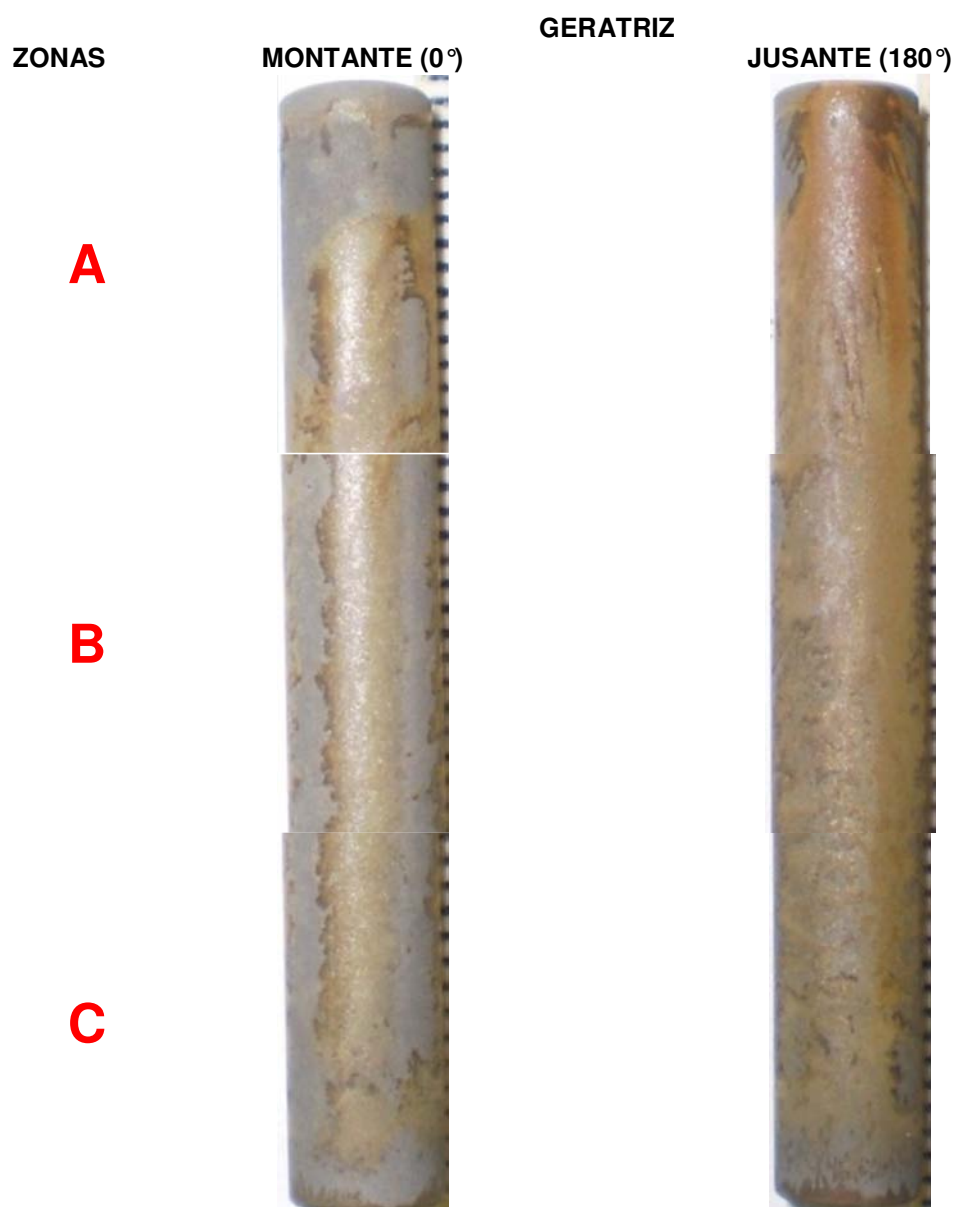


Figura A.11 – Imagens mostrando a morfologia dos danos atuantes nas geratrizes 0° e 180° do C.P. para um ensaio de desgaste erosivo-corrosivo.

APÊNDICE B – Comparação dos Dados de Microdureza Vickers (*Statgraphics*® *Centurion XVI*)

B.1 C.P. Não Ensaiado

Quadro B.1 – Resumo estatístico das medidas de Microdureza Vickers (HV) com cargas de 50g, 100g e 200g aplicadas às geratrizes 0° e 180° nas zonas A, B e C do C.P. não ensaiado.

	N	HV Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	HV Mín.	HV Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
NE_0_50g_A	7	240,7	24,9	10,3517%	189,0	263,0	74,0	-1,956	2,005
NE_0_50g_B	7	249,3	19,8	7,96156%	221,0	274,0	53,0	-0,101	-0,610
NE_0_50g_C	7	245,3	33,0	13,4593%	194,0	292,0	98,0	-0,210	-0,217
NE_180_50g_A	7	271,0	20,0	7,3985%	243,0	293,0	50,0	-0,780	-0,617
NE_180_50g_B	7	257,0	26,1	10,1416%	219,0	302,0	83,0	0,510	0,520
NE_180_50g_C	7	239,7	16,0	6,67337%	217,0	254,0	37,0	-0,765	-0,743
NE_0_100g_A	7	257,1	14,6	5,69528%	233,0	278,0	45,0	-0,155	0,254
NE_0_100g_B	7	259,6	18,1	6,95892%	233,0	280,0	47,0	-0,729	-0,534
NE_0_100g_C	7	275,4	24,3	8,83353%	247,0	307,0	60,0	0,113	-1,073
NE_180_100g_A	7	270,7	29,9	11,036%	217,0	305,0	88,0	-0,795	0,513
NE_180_100g_B	7	268,7	14,4	5,34865%	254,0	289,0	35,0	0,657	-0,689
NE_180_100g_C	7	246,0	15,7	6,3844%	222,0	268,0	46,0	-0,463	-0,193
NE_0_200g_A	7	247,0	13,5	5,45683%	234,0	266,0	32,0	0,550	-1,148
NE_0_200g_B	7	253,7	19,3	7,58737%	233,0	289,0	56,0	1,005	0,522
NE_0_200g_C	7	259,9	17,5	6,74794%	239,0	288,0	49,0	0,394	-0,311
NE_180_200g_A	7	253,6	16,7	6,60237%	235,0	281,0	46,0	0,445	-0,331
NE_180_200g_B	7	244,7	17,3	7,04914%	216,0	273,0	57,0	-0,045	0,866
NE_180_200g_C	7	254,0	10,1	3,97618%	241,0	267,0	26,0	-0,282	-0,895
Total	126	255,2	21,7	8,48655%	189,0	307,0	118,0	-0,171	1,120

Quadro B.2 – Resultado da ANOVA das medidas de Microdureza Vickers para um C.P. não ensaiado.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	13867,1	17	815,714	1,97	0,0194
Intra grupos	44760,3	108	414,447		
Total (Corr.)	58627,4	125			

Quadro B.3 – Grupos homogêneos das medidas de microdureza Vickers para um C.P. não ensaiado.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
NE_180_50g_C	7	239,714	X
NE_0_50g_A	7	240,714	X
NE_180_200g_B	7	244,714	X
NE_0_50g_C	7	245,286	X
NE_180_100g_C	7	246,0	X
NE_0_200g_A	7	247,0	X
NE_0_50g_B	7	249,286	XX
NE_180_200g_A	7	253,571	XXX
NE_0_200g_B	7	253,714	XXX
NE_180_200g_C	7	254,0	XXXX
NE_180_50g_B	7	257,0	XXXX
NE_0_100g_A	7	257,143	XXXX
NE_0_100g_B	7	259,571	XXXX
NE_0_200g_C	7	259,857	XXXX

NE_180_100g_B	7	268,714	XXX
NE_180_100g_A	7	270,714	XXX
NE_180_50g_A	7	271,0	XX
NE_0_100g_C	7	275,429	X

Quadro B.4 – Comparação das séries de medidas de microdureza Vickers, nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
NE_0_50g_A - NE_0_50g_B		-8,57143	21,5696
NE_0_50g_A - NE_0_50g_C		-4,57143	21,5696
NE_0_50g_A - NE_180_50g_A	*	-30,2857	21,5696
NE_0_50g_A - NE_180_50g_B		-16,2857	21,5696
NE_0_50g_A - NE_180_50g_C		1,0	21,5696
NE_0_50g_A - NE_0_100g_A		-16,4286	21,5696
NE_0_50g_A - NE_0_100g_B		-18,8571	21,5696
NE_0_50g_A - NE_0_100g_C	*	-34,7143	21,5696
NE_0_50g_A - NE_180_100g_A	*	-30,0	21,5696
NE_0_50g_A - NE_180_100g_B	*	-28,0	21,5696
NE_0_50g_A - NE_180_100g_C		-5,28571	21,5696
NE_0_50g_A - NE_0_200g_A		-6,28571	21,5696
NE_0_50g_A - NE_0_200g_B		-13,0	21,5696
NE_0_50g_A - NE_0_200g_C		-19,1429	21,5696
NE_0_50g_A - NE_180_200g_A		-12,8571	21,5696
NE_0_50g_A - NE_180_200g_B		-4,0	21,5696
NE_0_50g_A - NE_180_200g_C		-13,2857	21,5696
NE_0_50g_B - NE_0_50g_C		4,0	21,5696
NE_0_50g_B - NE_180_50g_A	*	-21,7143	21,5696
NE_0_50g_B - NE_180_50g_B		-7,71429	21,5696
NE_0_50g_B - NE_180_50g_C		9,57143	21,5696
NE_0_50g_B - NE_0_100g_A		-7,85714	21,5696
NE_0_50g_B - NE_0_100g_B		-10,2857	21,5696
NE_0_50g_B - NE_0_100g_C	*	-26,1429	21,5696
NE_0_50g_B - NE_180_100g_A		-21,4286	21,5696
NE_0_50g_B - NE_180_100g_B		-19,4286	21,5696
NE_0_50g_B - NE_180_100g_C		3,28571	21,5696
NE_0_50g_B - NE_0_200g_A		2,28571	21,5696
NE_0_50g_B - NE_0_200g_B		-4,42857	21,5696
NE_0_50g_B - NE_0_200g_C		-10,5714	21,5696
NE_0_50g_B - NE_180_200g_A		-4,28571	21,5696
NE_0_50g_B - NE_180_200g_B		4,57143	21,5696
NE_0_50g_B - NE_180_200g_C		-4,71429	21,5696
NE_0_50g_C - NE_180_50g_A	*	-25,7143	21,5696
NE_0_50g_C - NE_180_50g_B		-11,7143	21,5696
NE_0_50g_C - NE_180_50g_C		5,57143	21,5696
NE_0_50g_C - NE_0_100g_A		-11,8571	21,5696
NE_0_50g_C - NE_0_100g_B		-14,2857	21,5696
NE_0_50g_C - NE_0_100g_C	*	-30,1429	21,5696
NE_0_50g_C - NE_180_100g_A	*	-25,4286	21,5696
NE_0_50g_C - NE_180_100g_B	*	-23,4286	21,5696
NE_0_50g_C - NE_180_100g_C		-0,714286	21,5696
NE_0_50g_C - NE_0_200g_A		-1,71429	21,5696
NE_0_50g_C - NE_0_200g_B		-8,42857	21,5696
NE_0_50g_C - NE_0_200g_C		-14,5714	21,5696
NE_0_50g_C - NE_180_200g_A		-8,28571	21,5696
NE_0_50g_C - NE_180_200g_B		0,571429	21,5696
NE_0_50g_C - NE_180_200g_C		-8,71429	21,5696

NE_180_50g_A - NE_180_50g_B		14,0	21,5696
NE_180_50g_A - NE_180_50g_C	*	31,2857	21,5696
NE_180_50g_A - NE_0_100g_A		13,8571	21,5696
NE_180_50g_A - NE_0_100g_B		11,4286	21,5696
NE_180_50g_A - NE_0_100g_C		-4,42857	21,5696
NE_180_50g_A - NE_180_100g_A		0,285714	21,5696
NE_180_50g_A - NE_180_100g_B		2,28571	21,5696
NE_180_50g_A - NE_180_100g_C	*	25,0	21,5696
NE_180_50g_A - NE_0_200g_A	*	24,0	21,5696
NE_180_50g_A - NE_0_200g_B		17,2857	21,5696
NE_180_50g_A - NE_0_200g_C		11,1429	21,5696
NE_180_50g_A - NE_180_200g_A		17,4286	21,5696
NE_180_50g_A - NE_180_200g_B	*	26,2857	21,5696
NE_180_50g_A - NE_180_200g_C		17,0	21,5696
NE_180_50g_B - NE_180_50g_C		17,2857	21,5696
NE_180_50g_B - NE_0_100g_A		-0,142857	21,5696
NE_180_50g_B - NE_0_100g_B		-2,57143	21,5696
NE_180_50g_B - NE_0_100g_C		-18,4286	21,5696
NE_180_50g_B - NE_180_100g_A		-13,7143	21,5696
NE_180_50g_B - NE_180_100g_B		-11,7143	21,5696
NE_180_50g_B - NE_180_100g_C		11,0	21,5696
NE_180_50g_B - NE_0_200g_A		10,0	21,5696
NE_180_50g_B - NE_0_200g_B		3,28571	21,5696
NE_180_50g_B - NE_0_200g_C		-2,85714	21,5696
NE_180_50g_B - NE_180_200g_A		3,42857	21,5696
NE_180_50g_B - NE_180_200g_B		12,2857	21,5696
NE_180_50g_B - NE_180_200g_C		3,0	21,5696
NE_180_50g_C - NE_0_100g_A		-17,4286	21,5696
NE_180_50g_C - NE_0_100g_B		-19,8571	21,5696
NE_180_50g_C - NE_0_100g_C	*	-35,7143	21,5696
NE_180_50g_C - NE_180_100g_A	*	-31,0	21,5696
NE_180_50g_C - NE_180_100g_B	*	-29,0	21,5696
NE_180_50g_C - NE_180_100g_C		-6,28571	21,5696
NE_180_50g_C - NE_0_200g_A		-7,28571	21,5696
NE_180_50g_C - NE_0_200g_B		-14,0	21,5696
NE_180_50g_C - NE_0_200g_C		-20,1429	21,5696
NE_180_50g_C - NE_180_200g_A		-13,8571	21,5696
NE_180_50g_C - NE_180_200g_B		-5,0	21,5696
NE_180_50g_C - NE_180_200g_C		-14,2857	21,5696
NE_0_100g_A - NE_0_100g_B		-2,42857	21,5696
NE_0_100g_A - NE_0_100g_C		-18,2857	21,5696
NE_0_100g_A - NE_180_100g_A		-13,5714	21,5696
NE_0_100g_A - NE_180_100g_B		-11,5714	21,5696
NE_0_100g_A - NE_180_100g_C		11,1429	21,5696
NE_0_100g_A - NE_0_200g_A		10,1429	21,5696
NE_0_100g_A - NE_0_200g_B		3,42857	21,5696
NE_0_100g_A - NE_0_200g_C		-2,71429	21,5696
NE_0_100g_A - NE_180_200g_A		3,57143	21,5696
NE_0_100g_A - NE_180_200g_B		12,4286	21,5696
NE_0_100g_A - NE_180_200g_C		3,14286	21,5696
NE_0_100g_B - NE_0_100g_C		-15,8571	21,5696
NE_0_100g_B - NE_180_100g_A		-11,1429	21,5696
NE_0_100g_B - NE_180_100g_B		-9,14286	21,5696
NE_0_100g_B - NE_180_100g_C		13,5714	21,5696
NE_0_100g_B - NE_0_200g_A		12,5714	21,5696
NE_0_100g_B - NE_0_200g_B		5,85714	21,5696
NE_0_100g_B - NE_0_200g_C		-0,285714	21,5696

NE_0_100g_B - NE_180_200g_A		6,0	21,5696
NE_0_100g_B - NE_180_200g_B		14,8571	21,5696
NE_0_100g_B - NE_180_200g_C		5,57143	21,5696
NE_0_100g_C - NE_180_100g_A		4,71429	21,5696
NE_0_100g_C - NE_180_100g_B		6,71429	21,5696
NE_0_100g_C - NE_180_100g_C	*	29,4286	21,5696
NE_0_100g_C - NE_0_200g_A	*	28,4286	21,5696
NE_0_100g_C - NE_0_200g_B	*	21,7143	21,5696
NE_0_100g_C - NE_0_200g_C		15,5714	21,5696
NE_0_100g_C - NE_180_200g_A	*	21,8571	21,5696
NE_0_100g_C - NE_180_200g_B	*	30,7143	21,5696
NE_0_100g_C - NE_180_200g_C		21,4286	21,5696
NE_180_100g_A - NE_180_100g_B		2,0	21,5696
NE_180_100g_A - NE_180_100g_C	*	24,7143	21,5696
NE_180_100g_A - NE_0_200g_A	*	23,7143	21,5696
NE_180_100g_A - NE_0_200g_B		17,0	21,5696
NE_180_100g_A - NE_0_200g_C		10,8571	21,5696
NE_180_100g_A - NE_180_200g_A		17,1429	21,5696
NE_180_100g_A - NE_180_200g_B	*	26,0	21,5696
NE_180_100g_A - NE_180_200g_C		16,7143	21,5696
NE_180_100g_B - NE_180_100g_C	*	22,7143	21,5696
NE_180_100g_B - NE_0_200g_A	*	21,7143	21,5696
NE_180_100g_B - NE_0_200g_B		15,0	21,5696
NE_180_100g_B - NE_0_200g_C		8,85714	21,5696
NE_180_100g_B - NE_180_200g_A		15,1429	21,5696
NE_180_100g_B - NE_180_200g_B	*	24,0	21,5696
NE_180_100g_B - NE_180_200g_C		14,7143	21,5696
NE_180_100g_C - NE_0_200g_A		-1,0	21,5696
NE_180_100g_C - NE_0_200g_B		-7,71429	21,5696
NE_180_100g_C - NE_0_200g_C		-13,8571	21,5696
NE_180_100g_C - NE_180_200g_A		-7,57143	21,5696
NE_180_100g_C - NE_180_200g_B		1,28571	21,5696
NE_180_100g_C - NE_180_200g_C		-8,0	21,5696
NE_0_200g_A - NE_0_200g_B		-6,71429	21,5696
NE_0_200g_A - NE_0_200g_C		-12,8571	21,5696
NE_0_200g_A - NE_180_200g_A		-6,57143	21,5696
NE_0_200g_A - NE_180_200g_B		2,28571	21,5696
NE_0_200g_A - NE_180_200g_C		-7,0	21,5696
NE_0_200g_B - NE_0_200g_C		-6,14286	21,5696
NE_0_200g_B - NE_180_200g_A		0,142857	21,5696
NE_0_200g_B - NE_180_200g_B		9,0	21,5696
NE_0_200g_B - NE_180_200g_C		-0,285714	21,5696
NE_0_200g_C - NE_180_200g_A		6,28571	21,5696
NE_0_200g_C - NE_180_200g_B		15,1429	21,5696
NE_0_200g_C - NE_180_200g_C		5,85714	21,5696
NE_180_200g_A - NE_180_200g_B		8,85714	21,5696
NE_180_200g_A - NE_180_200g_C		-0,428571	21,5696
NE_180_200g_B - NE_180_200g_C		-9,28571	21,5696

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

B.2 SAM30

Quadro B.5 – Resumo estatístico das medidas de Microdureza Vickers (HV) com cargas de 50g, 100g e 200g aplicadas às geratrizes 0° e 180° nas zonas A, B e C do C.P. na condição de desgaste SAM30.

	N	HV Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	HV Mín.	HV Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
SAM30_0_50g_A	7	375,1	68,4	18,227%	312,0	518,0	206,0	2,008	2,118
SAM30_0_50g_B	7	279,9	56,6	20,240%	228,0	401,0	173,0	2,184	2,591
SAM30_0_50g_C	7	316,4	65,6	20,738%	213,0	437,0	224,0	0,570	1,514
SAM30_180_50g_A	7	257,1	107,8	41,930%	153,0	467,0	314,0	1,482	1,058
SAM30_180_50g_B	7	206,0	33,4	16,190%	158,0	258,0	100,0	0,181	-0,116
SAM30_180_50g_C	7	220,9	34,1	15,429%	174,0	281,0	107,0	0,633	0,508
SAM30_0_100g_A	7	294,1	61,1	20,756%	220,0	384,0	164,0	0,106	-0,732
SAM30_0_100g_B	7	289,4	30,7	10,619%	241,0	314,0	73,0	-0,963	-0,603
SAM30_0_100g_C	7	290,4	67,1	23,113%	200,0	383,0	183,0	0,015	-0,798
SAM30_180_100g_A	7	237,4	70,2	29,576%	153,0	342,0	189,0	0,614	-0,506
SAM30_180_100g_B	7	211,4	22,7	10,716%	181,0	242,0	61,0	0,173	-0,928
SAM30_180_100g_C	7	260,3	123,0	47,245%	104,0	433,0	329,0	0,335	-0,681
SAM30_0_200g_A	7	533,9	86,6	16,224%	383,0	646,0	263,0	-0,762	0,219
SAM30_0_200g_B	7	320,0	23,7	7,3995%	286,0	350,0	64,0	0,010	-0,772
SAM30_0_200g_C	7	298,9	24,4	8,1698%	254,0	335,0	81,0	-0,706	1,188
SAM30_180_200g_A	7	242,4	51,5	21,236%	176,0	307,0	131,0	-0,042	-0,885
SAM30_180_200g_B	7	243,1	40,0	16,466%	200,0	290,0	90,0	-0,080	-1,315
SAM30_180_200g_C	7	324,1	104,8	32,320%	193,0	463,0	270,0	0,252	-0,615
Total	126	288,9	96,2	33,287%	104,0	646,0	542,0	5,605	4,665

Quadro B.6 – Resultado da ANOVA das medidas de Microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	677977	17	39881,0	9,00	0,0000
Intra grupos	478399	108	4429,62		
Total (Corr.)	1,15638E6	125			

Quadro B.7 – Grupos homogêneos das medidas de microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
SAM30_180_50g_B	7	206,0	X
SAM30_180_100g_B	7	211,429	XX
SAM30_180_50g_C	7	220,857	XXX
SAM30_180_100g_A	7	237,429	XXXX
SAM30_180_200g_A	7	242,429	XXXX
SAM30_180_200g_B	7	243,143	XXXX
SAM30_180_50g_A	7	257,143	XXXXX
SAM30_180_100g_C	7	260,286	XXXXX
SAM30_0_50g_B	7	279,857	XXXX
SAM30_0_100g_B	7	289,429	XXX
SAM30_0_100g_C	7	290,429	XXX
SAM30_0_100g_A	7	294,143	XX
SAM30_0_200g_C	7	298,857	XX
SAM30_0_50g_C	7	316,429	XX
SAM30_0_200g_B	7	320,0	XX
SAM30_180_200g_C	7	324,143	XX
SAM30_0_50g_A	7	375,143	X

SAM30_0_200g_A	7	533,857	X
----------------	---	---------	---

Quadro B.8 – Comparação das séries de medidas de microdureza Vickers, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM30.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
SAM30_0_50g_A - SAM30_0_50g_B	*	95,2857	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_0_50g_C		58,7143	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_180_50g_A	*	118,0	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_180_50g_B	*	169,143	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_180_50g_C	*	154,286	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_0_100g_A	*	81,0	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_0_100g_B	*	85,7143	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_0_100g_C	*	84,7143	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_180_100g_A	*	137,714	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_180_100g_B	*	163,714	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_180_100g_C	*	114,857	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_0_200g_A	*	-158,714	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_0_200g_B		55,1429	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_0_200g_C	*	76,2857	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_180_200g_A	*	132,714	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_180_200g_B	*	132,0	70,5167
SAM30_0_50g_A - SAM30_180_200g_C		51,0	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_0_50g_C		-36,5714	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_180_50g_A		22,7143	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_180_50g_B	*	73,8571	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_180_50g_C		59,0	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_0_100g_A		-14,2857	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_0_100g_B		-9,57143	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_0_100g_C		-10,5714	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_180_100g_A		42,4286	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_180_100g_B		68,4286	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_180_100g_C		19,5714	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_0_200g_A	*	-254,0	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_0_200g_B		-40,1429	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_0_200g_C		-19,0	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_180_200g_A		37,4286	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_180_200g_B		36,7143	70,5167
SAM30_0_50g_B - SAM30_180_200g_C		-44,2857	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_180_50g_A		59,2857	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_180_50g_B	*	110,429	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_180_50g_C	*	95,5714	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_0_100g_A		22,2857	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_0_100g_B		27,0	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_0_100g_C		26,0	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_180_100g_A	*	79,0	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_180_100g_B	*	105,0	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_180_100g_C		56,1429	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_0_200g_A	*	-217,429	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_0_200g_B		-3,57143	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_0_200g_C		17,5714	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_180_200g_A	*	74,0	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_180_200g_B	*	73,2857	70,5167
SAM30_0_50g_C - SAM30_180_200g_C		-7,71429	70,5167
SAM30_180_50g_A - SAM30_180_50g_B		51,1429	70,5167
SAM30_180_50g_A - SAM30_180_50g_C		36,2857	70,5167
SAM30_180_50g_A - SAM30_0_100g_A		-37,0	70,5167

SAM30_180_50g_A - SAM30_0_100g_B		-32,2857	70,5167
SAM30_180_50g_A - SAM30_0_100g_C		-33,2857	70,5167
SAM30_180_50g_A - SAM30_180_100g_A		19,7143	70,5167
SAM30_180_50g_A - SAM30_180_100g_B		45,7143	70,5167
SAM30_180_50g_A - SAM30_180_100g_C		-3,14286	70,5167
<u>SAM30_180_50g_A - SAM30_0_200g_A</u>	*	<u>-276,714</u>	<u>70,5167</u>
SAM30_180_50g_A - SAM30_0_200g_B		-62,8571	70,5167
SAM30_180_50g_A - SAM30_0_200g_C		-41,7143	70,5167
SAM30_180_50g_A - SAM30_180_200g_A		14,7143	70,5167
SAM30_180_50g_A - SAM30_180_200g_B		14,0	70,5167
SAM30_180_50g_A - SAM30_180_200g_C		-67,0	70,5167
SAM30_180_50g_B - SAM30_180_50g_C		-14,8571	70,5167
<u>SAM30_180_50g_B - SAM30_0_100g_A</u>	*	<u>-88,1429</u>	<u>70,5167</u>
<u>SAM30_180_50g_B - SAM30_0_100g_B</u>	*	<u>-83,4286</u>	<u>70,5167</u>
<u>SAM30_180_50g_B - SAM30_0_100g_C</u>	*	<u>-84,4286</u>	<u>70,5167</u>
SAM30_180_50g_B - SAM30_180_100g_A		-31,4286	70,5167
SAM30_180_50g_B - SAM30_180_100g_B		-5,42857	70,5167
SAM30_180_50g_B - SAM30_180_100g_C		-54,2857	70,5167
<u>SAM30_180_50g_B - SAM30_0_200g_A</u>	*	<u>-327,857</u>	<u>70,5167</u>
<u>SAM30_180_50g_B - SAM30_0_200g_B</u>	*	<u>-114,0</u>	<u>70,5167</u>
<u>SAM30_180_50g_B - SAM30_0_200g_C</u>	*	<u>-92,8571</u>	<u>70,5167</u>
SAM30_180_50g_B - SAM30_180_200g_A		-36,4286	70,5167
SAM30_180_50g_B - SAM30_180_200g_B		-37,1429	70,5167
<u>SAM30_180_50g_B - SAM30_180_200g_C</u>	*	<u>-118,143</u>	<u>70,5167</u>
<u>SAM30_180_50g_C - SAM30_0_100g_A</u>	*	<u>-73,2857</u>	<u>70,5167</u>
SAM30_180_50g_C - SAM30_0_100g_B		-68,5714	70,5167
SAM30_180_50g_C - SAM30_0_100g_C		-69,5714	70,5167
SAM30_180_50g_C - SAM30_180_100g_A		-16,5714	70,5167
SAM30_180_50g_C - SAM30_180_100g_B		9,42857	70,5167
SAM30_180_50g_C - SAM30_180_100g_C		-39,4286	70,5167
<u>SAM30_180_50g_C - SAM30_0_200g_A</u>	*	<u>-313,0</u>	<u>70,5167</u>
<u>SAM30_180_50g_C - SAM30_0_200g_B</u>	*	<u>-99,1429</u>	<u>70,5167</u>
<u>SAM30_180_50g_C - SAM30_0_200g_C</u>	*	<u>-78,0</u>	<u>70,5167</u>
SAM30_180_50g_C - SAM30_180_200g_A		-21,5714	70,5167
SAM30_180_50g_C - SAM30_180_200g_B		-22,2857	70,5167
<u>SAM30_180_50g_C - SAM30_180_200g_C</u>	*	<u>-103,286</u>	<u>70,5167</u>
SAM30_0_100g_A - SAM30_0_100g_B		4,71429	70,5167
SAM30_0_100g_A - SAM30_0_100g_C		3,71429	70,5167
SAM30_0_100g_A - SAM30_180_100g_A		56,7143	70,5167
<u>SAM30_0_100g_A - SAM30_180_100g_B</u>	*	<u>82,7143</u>	<u>70,5167</u>
SAM30_0_100g_A - SAM30_180_100g_C		33,8571	70,5167
<u>SAM30_0_100g_A - SAM30_0_200g_A</u>	*	<u>-239,714</u>	<u>70,5167</u>
SAM30_0_100g_A - SAM30_0_200g_B		-25,8571	70,5167
SAM30_0_100g_A - SAM30_0_200g_C		-4,71429	70,5167
SAM30_0_100g_A - SAM30_180_200g_A		51,7143	70,5167
SAM30_0_100g_A - SAM30_180_200g_B		51,0	70,5167
SAM30_0_100g_A - SAM30_180_200g_C		-30,0	70,5167
SAM30_0_100g_B - SAM30_0_100g_C		-1,0	70,5167
SAM30_0_100g_B - SAM30_180_100g_A		52,0	70,5167
<u>SAM30_0_100g_B - SAM30_180_100g_B</u>	*	<u>78,0</u>	<u>70,5167</u>
SAM30_0_100g_B - SAM30_180_100g_C		29,1429	70,5167
<u>SAM30_0_100g_B - SAM30_0_200g_A</u>	*	<u>-244,429</u>	<u>70,5167</u>
SAM30_0_100g_B - SAM30_0_200g_B		-30,5714	70,5167
SAM30_0_100g_B - SAM30_0_200g_C		-9,42857	70,5167
SAM30_0_100g_B - SAM30_180_200g_A		47,0	70,5167
SAM30_0_100g_B - SAM30_180_200g_B		46,2857	70,5167
SAM30_0_100g_B - SAM30_180_200g_C		-34,7143	70,5167

SAM30_0_100g_C - SAM30_180_100g_A		53,0	70,5167
<u>SAM30_0_100g_C - SAM30_180_100g_B</u>	*	79,0	70,5167
SAM30_0_100g_C - SAM30_180_100g_C		30,1429	70,5167
<u>SAM30_0_100g_C - SAM30_0_200g_A</u>	*	-243,429	70,5167
SAM30_0_100g_C - SAM30_0_200g_B		-29,5714	70,5167
SAM30_0_100g_C - SAM30_0_200g_C		-8,42857	70,5167
SAM30_0_100g_C - SAM30_180_200g_A		48,0	70,5167
SAM30_0_100g_C - SAM30_180_200g_B		47,2857	70,5167
SAM30_0_100g_C - SAM30_180_200g_C		-33,7143	70,5167
SAM30_180_100g_A - SAM30_180_100g_B		26,0	70,5167
SAM30_180_100g_A - SAM30_180_100g_C		-22,8571	70,5167
<u>SAM30_180_100g_A - SAM30_0_200g_A</u>	*	-296,429	70,5167
<u>SAM30_180_100g_A - SAM30_0_200g_B</u>	*	-82,5714	70,5167
SAM30_180_100g_A - SAM30_0_200g_C		-61,4286	70,5167
SAM30_180_100g_A - SAM30_180_200g_A		-5,0	70,5167
SAM30_180_100g_A - SAM30_180_200g_B		-5,71429	70,5167
<u>SAM30_180_100g_A - SAM30_180_200g_C</u>	*	-86,7143	70,5167
SAM30_180_100g_B - SAM30_180_100g_C		-48,8571	70,5167
<u>SAM30_180_100g_B - SAM30_0_200g_A</u>	*	-322,429	70,5167
<u>SAM30_180_100g_B - SAM30_0_200g_B</u>	*	-108,571	70,5167
<u>SAM30_180_100g_B - SAM30_0_200g_C</u>	*	-87,4286	70,5167
SAM30_180_100g_B - SAM30_180_200g_A		-31,0	70,5167
SAM30_180_100g_B - SAM30_180_200g_B		-31,7143	70,5167
<u>SAM30_180_100g_B - SAM30_180_200g_C</u>	*	-112,714	70,5167
<u>SAM30_180_100g_C - SAM30_0_200g_A</u>	*	-273,571	70,5167
SAM30_180_100g_C - SAM30_0_200g_B		-59,7143	70,5167
SAM30_180_100g_C - SAM30_0_200g_C		-38,5714	70,5167
SAM30_180_100g_C - SAM30_180_200g_A		17,8571	70,5167
SAM30_180_100g_C - SAM30_180_200g_B		17,1429	70,5167
SAM30_180_100g_C - SAM30_180_200g_C		-63,8571	70,5167
<u>SAM30_0_200g_A - SAM30_0_200g_B</u>	*	213,857	70,5167
<u>SAM30_0_200g_A - SAM30_0_200g_C</u>	*	235,0	70,5167
<u>SAM30_0_200g_A - SAM30_180_200g_A</u>	*	291,429	70,5167
<u>SAM30_0_200g_A - SAM30_180_200g_B</u>	*	290,714	70,5167
<u>SAM30_0_200g_A - SAM30_180_200g_C</u>	*	209,714	70,5167
SAM30_0_200g_B - SAM30_0_200g_C		21,1429	70,5167
<u>SAM30_0_200g_B - SAM30_180_200g_A</u>	*	77,5714	70,5167
<u>SAM30_0_200g_B - SAM30_180_200g_B</u>	*	76,8571	70,5167
SAM30_0_200g_B - SAM30_180_200g_C		-4,14286	70,5167
SAM30_0_200g_C - SAM30_180_200g_A		56,4286	70,5167
SAM30_0_200g_C - SAM30_180_200g_B		55,7143	70,5167
SAM30_0_200g_C - SAM30_180_200g_C		-25,2857	70,5167
SAM30_180_200g_A - SAM30_180_200g_B		-0,714286	70,5167
<u>SAM30_180_200g_A - SAM30_180_200g_C</u>	*	-81,7143	70,5167
<u>SAM30_180_200g_B - SAM30_180_200g_C</u>	*	-81,0	70,5167

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

B.3 SAM70

Quadro B.9 – Resumo estatístico das medidas de Microdureza Vickers (HV) com cargas de 50g, 100g e 200g aplicadas às geratrizes 0° e 180° nas zonas A, B e C do C.P. na condição de desgaste SAM70.

	N	HV Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	HV Mín.	HV Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
SAM70_0_50g_A	7	278,6	56,3	20,1951%	197,0	339,0	142,0	-0,562	-0,665
SAM70_0_50g_B	7	279,6	32,7	11,7092%	247,0	334,0	87,0	0,885	-0,419
SAM70_0_50g_C	7	293,4	50,7	17,2643%	219,0	355,0	136,0	-0,443	-0,855
SAM70_180_50g_A	7	201,0	71,7	35,6894%	104,0	298,0	194,0	-0,348	-0,581
SAM70_180_50g_B	7	263,6	89,2	33,835%	150,0	395,0	245,0	0,008	-0,427
SAM70_180_50g_C	7	208,0	61,6	29,6054%	140,0	307,0	167,0	0,502	-0,504
SAM70_0_100g_A	7	320,7	48,9	15,2335%	223,0	371,0	148,0	-1,657	1,461
SAM70_0_100g_B	7	295,6	39,6	13,4125%	240,0	357,0	117,0	0,251	-0,224
SAM70_0_100g_C	7	319,9	118,1	36,908%	186,0	494,0	308,0	0,884	-0,503
SAM70_180_100g_A	7	279,0	36,0	12,8949%	232,0	330,0	98,0	-0,326	-0,384
SAM70_180_100g_B	7	294,1	29,0	9,8639%	242,0	324,0	82,0	-1,331	0,259
SAM70_180_100g_C	7	273,1	48,9	17,8975%	206,0	352,0	146,0	0,326	-0,133
SAM70_0_200g_A	7	357,7	64,8	18,1075%	283,0	463,0	180,0	0,678	-0,453
SAM70_0_200g_B	7	297,9	70,7	23,7298%	220,0	393,0	173,0	0,545	-0,884
SAM70_0_200g_C	7	369,0	110,8	30,0243%	246,0	602,0	356,0	1,965	2,411
SAM70_180_200g_A	7	324,9	97,7	30,0819%	225,0	512,0	287,0	1,319	0,920
SAM70_180_200g_B	7	278,3	39,0	14,0093%	210,0	329,0	119,0	-0,790	0,270
SAM70_180_200g_C	7	263,4	60,0	22,7754%	210,0	375,0	165,0	1,328	0,450
Total	126	288,8	75,3	26,0832%	104,0	602,0	498,0	3,419	5,918

Quadro B.10 – Resultado da ANOVA das medidas de Microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	215610	17	12682,9	2,78	0,0007
Intra grupos	493499	108	4569,43		
Total (Corr.)	709109	125			

Quadro B.11 – Grupos homogêneos das medidas de microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
SAM70_180_50g_A	7	201,0	X
SAM70_180_50g_C	7	208,0	XX
SAM70_180_200g_C	7	263,429	XXX
SAM70_180_50g_B	7	263,571	XXX
SAM70_180_100g_C	7	273,143	XX
SAM70_180_200g_B	7	278,286	XX
SAM70_0_50g_A	7	278,571	XX
SAM70_180_100g_A	7	279,0	XX
SAM70_0_50g_B	7	279,571	XX
SAM70_0_50g_C	7	293,429	XX
SAM70_180_100g_B	7	294,143	XX
SAM70_0_100g_B	7	295,571	XX
SAM70_0_200g_B	7	297,857	XXX
SAM70_0_100g_C	7	319,857	XXX
SAM70_0_100g_A	7	320,714	XXX
SAM70_180_200g_A	7	324,857	XXX
SAM70_0_200g_A	7	357,714	XX

SAM70_0_200g_C	7	369,0	X
----------------	---	-------	---

Quadro B.12 – Comparação das séries de medidas de microdureza Vickers, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
SAM70_0_50g_A - SAM70_0_50g_B		-1,0	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_0_50g_C		-14,8571	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_180_50g_A	*	77,5714	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_180_50g_B		15,0	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_180_50g_C		70,5714	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_0_100g_A		-42,1429	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_0_100g_B		-17,0	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_0_100g_C		-41,2857	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_180_100g_A		-0,428571	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_180_100g_B		-15,5714	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_180_100g_C		5,42857	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_0_200g_A	*	-79,1429	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_0_200g_B		-19,2857	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_0_200g_C	*	-90,4286	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_180_200g_A		-46,2857	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_180_200g_B		0,285714	71,6209
SAM70_0_50g_A - SAM70_180_200g_C		15,1429	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_0_50g_C		-13,8571	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_180_50g_A	*	78,5714	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_180_50g_B		16,0	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_180_50g_C		71,5714	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_0_100g_A		-41,1429	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_0_100g_B		-16,0	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_0_100g_C		-40,2857	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_180_100g_A		0,571429	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_180_100g_B		-14,5714	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_180_100g_C		6,42857	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_0_200g_A	*	-78,1429	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_0_200g_B		-18,2857	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_0_200g_C	*	-89,4286	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_180_200g_A		-45,2857	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_180_200g_B		1,28571	71,6209
SAM70_0_50g_B - SAM70_180_200g_C		16,1429	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_180_50g_A	*	92,4286	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_180_50g_B		29,8571	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_180_50g_C	*	85,4286	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_0_100g_A		-27,2857	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_0_100g_B		-2,14286	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_0_100g_C		-26,4286	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_180_100g_A		14,4286	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_180_100g_B		-0,714286	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_180_100g_C		20,2857	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_0_200g_A		-64,2857	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_0_200g_B		-4,42857	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_0_200g_C	*	-75,5714	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_180_200g_A		-31,4286	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_180_200g_B		15,1429	71,6209
SAM70_0_50g_C - SAM70_180_200g_C		30,0	71,6209
SAM70_180_50g_A - SAM70_180_50g_B		-62,5714	71,6209
SAM70_180_50g_A - SAM70_180_50g_C		-7,0	71,6209
SAM70_180_50g_A - SAM70_0_100g_A	*	-119,714	71,6209

SAM70_180_50g_A - SAM70_0_100g_B	*	-94,5714	71,6209
SAM70_180_50g_A - SAM70_0_100g_C	*	-118,857	71,6209
SAM70_180_50g_A - SAM70_180_100g_A	*	-78,0	71,6209
SAM70_180_50g_A - SAM70_180_100g_B	*	-93,1429	71,6209
SAM70_180_50g_A - SAM70_180_100g_C	*	-72,1429	71,6209
SAM70_180_50g_A - SAM70_0_200g_A	*	-156,714	71,6209
SAM70_180_50g_A - SAM70_0_200g_B	*	-96,8571	71,6209
SAM70_180_50g_A - SAM70_0_200g_C	*	-168,0	71,6209
SAM70_180_50g_A - SAM70_180_200g_A	*	-123,857	71,6209
SAM70_180_50g_A - SAM70_180_200g_B	*	-77,2857	71,6209
SAM70_180_50g_A - SAM70_180_200g_C		-62,4286	71,6209
SAM70_180_50g_B - SAM70_180_50g_C		55,5714	71,6209
SAM70_180_50g_B - SAM70_0_100g_A		-57,1429	71,6209
SAM70_180_50g_B - SAM70_0_100g_B		-32,0	71,6209
SAM70_180_50g_B - SAM70_0_100g_C		-56,2857	71,6209
SAM70_180_50g_B - SAM70_180_100g_A		-15,4286	71,6209
SAM70_180_50g_B - SAM70_180_100g_B		-30,5714	71,6209
SAM70_180_50g_B - SAM70_180_100g_C		-9,57143	71,6209
SAM70_180_50g_B - SAM70_0_200g_A	*	-94,1429	71,6209
SAM70_180_50g_B - SAM70_0_200g_B		-34,2857	71,6209
SAM70_180_50g_B - SAM70_0_200g_C	*	-105,429	71,6209
SAM70_180_50g_B - SAM70_180_200g_A		-61,2857	71,6209
SAM70_180_50g_B - SAM70_180_200g_B		-14,7143	71,6209
SAM70_180_50g_B - SAM70_180_200g_C		0,142857	71,6209
SAM70_180_50g_C - SAM70_0_100g_A	*	-112,714	71,6209
SAM70_180_50g_C - SAM70_0_100g_B	*	-87,5714	71,6209
SAM70_180_50g_C - SAM70_0_100g_C	*	-111,857	71,6209
SAM70_180_50g_C - SAM70_180_100g_A		-71,0	71,6209
SAM70_180_50g_C - SAM70_180_100g_B	*	-86,1429	71,6209
SAM70_180_50g_C - SAM70_180_100g_C		-65,1429	71,6209
SAM70_180_50g_C - SAM70_0_200g_A	*	-149,714	71,6209
SAM70_180_50g_C - SAM70_0_200g_B	*	-89,8571	71,6209
SAM70_180_50g_C - SAM70_0_200g_C	*	-161,0	71,6209
SAM70_180_50g_C - SAM70_180_200g_A	*	-116,857	71,6209
SAM70_180_50g_C - SAM70_180_200g_B		-70,2857	71,6209
SAM70_180_50g_C - SAM70_180_200g_C		-55,4286	71,6209
SAM70_0_100g_A - SAM70_0_100g_B		25,1429	71,6209
SAM70_0_100g_A - SAM70_0_100g_C		0,857143	71,6209
SAM70_0_100g_A - SAM70_180_100g_A		41,7143	71,6209
SAM70_0_100g_A - SAM70_180_100g_B		26,5714	71,6209
SAM70_0_100g_A - SAM70_180_100g_C		47,5714	71,6209
SAM70_0_100g_A - SAM70_0_200g_A		-37,0	71,6209
SAM70_0_100g_A - SAM70_0_200g_B		22,8571	71,6209
SAM70_0_100g_A - SAM70_0_200g_C		-48,2857	71,6209
SAM70_0_100g_A - SAM70_180_200g_A		-4,14286	71,6209
SAM70_0_100g_A - SAM70_180_200g_B		42,4286	71,6209
SAM70_0_100g_A - SAM70_180_200g_C		57,2857	71,6209
SAM70_0_100g_B - SAM70_0_100g_C		-24,2857	71,6209
SAM70_0_100g_B - SAM70_180_100g_A		16,5714	71,6209
SAM70_0_100g_B - SAM70_180_100g_B		1,42857	71,6209
SAM70_0_100g_B - SAM70_180_100g_C		22,4286	71,6209
SAM70_0_100g_B - SAM70_0_200g_A		-62,1429	71,6209
SAM70_0_100g_B - SAM70_0_200g_B		-2,28571	71,6209
SAM70_0_100g_B - SAM70_0_200g_C	*	-73,4286	71,6209
SAM70_0_100g_B - SAM70_180_200g_A		-29,2857	71,6209
SAM70_0_100g_B - SAM70_180_200g_B		17,2857	71,6209
SAM70_0_100g_B - SAM70_180_200g_C		32,1429	71,6209

SAM70_0_100g_C - SAM70_180_100g_A		40,8571	71,6209
SAM70_0_100g_C - SAM70_180_100g_B		25,7143	71,6209
SAM70_0_100g_C - SAM70_180_100g_C		46,7143	71,6209
SAM70_0_100g_C - SAM70_0_200g_A		-37,8571	71,6209
SAM70_0_100g_C - SAM70_0_200g_B		22,0	71,6209
SAM70_0_100g_C - SAM70_0_200g_C		-49,1429	71,6209
SAM70_0_100g_C - SAM70_180_200g_A		-5,0	71,6209
SAM70_0_100g_C - SAM70_180_200g_B		41,5714	71,6209
SAM70_0_100g_C - SAM70_180_200g_C		56,4286	71,6209
SAM70_180_100g_A - SAM70_180_100g_B		-15,1429	71,6209
SAM70_180_100g_A - SAM70_180_100g_C		5,85714	71,6209
SAM70_180_100g_A - SAM70_0_200g_A	*	-78,7143	71,6209
SAM70_180_100g_A - SAM70_0_200g_B		-18,8571	71,6209
SAM70_180_100g_A - SAM70_0_200g_C	*	-90,0	71,6209
SAM70_180_100g_A - SAM70_180_200g_A		-45,8571	71,6209
SAM70_180_100g_A - SAM70_180_200g_B		0,714286	71,6209
SAM70_180_100g_A - SAM70_180_200g_C		15,5714	71,6209
SAM70_180_100g_B - SAM70_180_100g_C		21,0	71,6209
SAM70_180_100g_B - SAM70_0_200g_A		-63,5714	71,6209
SAM70_180_100g_B - SAM70_0_200g_B		-3,71429	71,6209
SAM70_180_100g_B - SAM70_0_200g_C	*	-74,8571	71,6209
SAM70_180_100g_B - SAM70_180_200g_A		-30,7143	71,6209
SAM70_180_100g_B - SAM70_180_200g_B		15,8571	71,6209
SAM70_180_100g_B - SAM70_180_200g_C		30,7143	71,6209
SAM70_180_100g_C - SAM70_0_200g_A	*	-84,5714	71,6209
SAM70_180_100g_C - SAM70_0_200g_B		-24,7143	71,6209
SAM70_180_100g_C - SAM70_0_200g_C	*	-95,8571	71,6209
SAM70_180_100g_C - SAM70_180_200g_A		-51,7143	71,6209
SAM70_180_100g_C - SAM70_180_200g_B		-5,14286	71,6209
SAM70_180_100g_C - SAM70_180_200g_C		9,71429	71,6209
SAM70_0_200g_A - SAM70_0_200g_B		59,8571	71,6209
SAM70_0_200g_A - SAM70_0_200g_C		-11,2857	71,6209
SAM70_0_200g_A - SAM70_180_200g_A		32,8571	71,6209
SAM70_0_200g_A - SAM70_180_200g_B	*	79,4286	71,6209
SAM70_0_200g_A - SAM70_180_200g_C	*	94,2857	71,6209
SAM70_0_200g_B - SAM70_0_200g_C		-71,1429	71,6209
SAM70_0_200g_B - SAM70_180_200g_A		-27,0	71,6209
SAM70_0_200g_B - SAM70_180_200g_B		19,5714	71,6209
SAM70_0_200g_B - SAM70_180_200g_C		34,4286	71,6209
SAM70_0_200g_C - SAM70_180_200g_A		44,1429	71,6209
SAM70_0_200g_C - SAM70_180_200g_B	*	90,7143	71,6209
SAM70_0_200g_C - SAM70_180_200g_C	*	105,571	71,6209
SAM70_180_200g_A - SAM70_180_200g_B		46,5714	71,6209
SAM70_180_200g_A - SAM70_180_200g_C		61,4286	71,6209
SAM70_180_200g_B - SAM70_180_200g_C		14,8571	71,6209

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

B.4 DC70

Quadro B.13 – Resumo estatístico das medidas de Microdureza Vickers (HV) com cargas de 50g, 100g e 200g aplicadas às geratrizes 0° e 180° nas zonas A, B e C do C.P. na condição de desgaste DC70.

	N	HV Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	HV Mín.	HV Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
DC70_0_50g_A	7	319,7	47,9	14,9914%	249,0	383,0	134,0	0,159	-0,372
DC70_0_50g_B	7	298,6	42,2	14,1172%	242,0	379,0	137,0	1,123	1,271
DC70_0_50g_C	7	311,1	37,9	12,1882%	235,0	337,0	102,0	-1,909	1,361
DC70_180_50g_A	7	321,7	75,9	23,5789%	217,0	398,0	181,0	-0,784	-0,683
DC70_180_50g_B	7	338,9	58,9	17,3784%	244,0	397,0	153,0	-0,827	-0,439
DC70_180_50g_C	7	292,3	55,0	18,8076%	216,0	381,0	165,0	0,097	0,079
DC70_0_100g_A	7	233,7	90,2	38,5804%	160,0	406,0	246,0	1,472	0,773
DC70_0_100g_B	7	187,3	42,4	22,6254%	146,0	245,0	99,0	0,629	-0,996
DC70_0_100g_C	7	213,7	47,4	22,1815%	133,0	262,0	129,0	-0,950	-0,166
DC70_180_100g_A	7	287,0	42,5	14,795%	225,0	358,0	133,0	0,383	0,334
DC70_180_100g_B	7	249,1	23,7	9,52773%	222,0	282,0	60,0	0,083	-0,918
DC70_180_100g_C	7	354,9	78,4	22,1004%	227,0	432,0	205,0	-0,856	-0,406
DC70_0_200g_A	7	205,1	44,3	21,5744%	139,0	258,0	119,0	-0,379	-0,757
DC70_0_200g_B	7	207,7	49,8	23,9536%	164,0	302,0	138,0	1,380	0,655
DC70_0_200g_C	7	221,6	33,3	15,034%	185,0	256,0	71,0	-0,321	-1,443
DC70_180_200g_A	7	276,6	29,0	10,4707%	227,0	310,0	83,0	-0,770	-0,079
DC70_180_200g_B	7	265,1	23,2	8,75734%	236,0	295,0	59,0	-0,041	-1,119
DC70_180_200g_C	7	252,9	45,7	18,0676%	195,0	330,0	135,0	0,513	0,002
Total	126	268,7	68,4	25,4593%	133,0	432,0	299,0	1,199	-0,954

Quadro B.14 – Resultado da ANOVA das medidas de Microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste DC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	300346	17	17667,4	6,70	0,0000
Intra grupos	284729	108	2636,38		
Total (Corr.)	585075	125			

Quadro B.15 – Grupos homogêneos das medidas de microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste DC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
DC70_0_100g_B	7	187,286	X
DC70_0_200g_A	7	205,143	XX
DC70_0_200g_B	7	207,714	XX
DC70_0_100g_C	7	213,714	XXX
DC70_0_200g_C	7	221,571	XXX
DC70_0_100g_A	7	233,714	XXXX
DC70_180_100g_B	7	249,143	XXXX
DC70_180_200g_C	7	252,857	XXXX
DC70_180_200g_B	7	265,143	XXXX
DC70_180_200g_A	7	276,571	XXXX
DC70_180_100g_A	7	287,0	XXXXX
DC70_180_50g_C	7	292,286	XXXX
DC70_0_50g_B	7	298,571	XXXX
DC70_0_50g_C	7	311,143	XXXX
DC70_0_50g_A	7	319,714	XXX
DC70_180_50g_A	7	321,714	XXX
DC70_180_50g_B	7	338,857	XX

DC70_180_100g_C 7	354,857	X
-------------------	---------	---

Quadro B.16 – Comparação das séries de medidas de microdureza Vickers, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
DC70_0_50g_A - DC70_0_50g_B		21,1429	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_0_50g_C		8,57143	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_180_50g_A		-2,0	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_180_50g_B		-19,1429	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_180_50g_C		27,4286	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_0_100g_A	*	86,0	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_0_100g_B	*	132,429	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_0_100g_C	*	106,0	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_180_100g_A		32,7143	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_180_100g_B	*	70,5714	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_180_100g_C		-35,1429	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_0_200g_A	*	114,571	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_0_200g_B	*	112,0	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_0_200g_C	*	98,1429	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_180_200g_A		43,1429	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_180_200g_B	*	54,5714	54,4017
DC70_0_50g_A - DC70_180_200g_C	*	66,8571	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_0_50g_C		-12,5714	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_180_50g_A		-23,1429	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_180_50g_B		-40,2857	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_180_50g_C		6,28571	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_0_100g_A	*	64,8571	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_0_100g_B	*	111,286	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_0_100g_C	*	84,8571	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_180_100g_A		11,5714	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_180_100g_B		49,4286	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_180_100g_C	*	-56,2857	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_0_200g_A	*	93,4286	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_0_200g_B	*	90,8571	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_0_200g_C	*	77,0	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_180_200g_A		22,0	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_180_200g_B		33,4286	54,4017
DC70_0_50g_B - DC70_180_200g_C		45,7143	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_180_50g_A		-10,5714	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_180_50g_B		-27,7143	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_180_50g_C		18,8571	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_0_100g_A	*	77,4286	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_0_100g_B	*	123,857	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_0_100g_C	*	97,4286	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_180_100g_A		24,1429	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_180_100g_B	*	62,0	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_180_100g_C		-43,7143	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_0_200g_A	*	106,0	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_0_200g_B	*	103,429	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_0_200g_C	*	89,5714	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_180_200g_A		34,5714	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_180_200g_B		46,0	54,4017
DC70_0_50g_C - DC70_180_200g_C	*	58,2857	54,4017
DC70_180_50g_A - DC70_180_50g_B		-17,1429	54,4017
DC70_180_50g_A - DC70_180_50g_C		29,4286	54,4017
DC70_180_50g_A - DC70_0_100g_A	*	88,0	54,4017

DC70_180_50g_A - DC70_0_100g_B	*	134,429	54,4017
DC70_180_50g_A - DC70_0_100g_C	*	108,0	54,4017
DC70_180_50g_A - DC70_180_100g_A		34,7143	54,4017
DC70_180_50g_A - DC70_180_100g_B	*	72,5714	54,4017
DC70_180_50g_A - DC70_180_100g_C		-33,1429	54,4017
DC70_180_50g_A - DC70_0_200g_A	*	116,571	54,4017
DC70_180_50g_A - DC70_0_200g_B	*	114,0	54,4017
DC70_180_50g_A - DC70_0_200g_C	*	100,143	54,4017
DC70_180_50g_A - DC70_180_200g_A		45,1429	54,4017
DC70_180_50g_A - DC70_180_200g_B	*	56,5714	54,4017
DC70_180_50g_A - DC70_180_200g_C	*	68,8571	54,4017
DC70_180_50g_B - DC70_180_50g_C		46,5714	54,4017
DC70_180_50g_B - DC70_0_100g_A	*	105,143	54,4017
DC70_180_50g_B - DC70_0_100g_B	*	151,571	54,4017
DC70_180_50g_B - DC70_0_100g_C	*	125,143	54,4017
DC70_180_50g_B - DC70_180_100g_A		51,8571	54,4017
DC70_180_50g_B - DC70_180_100g_B	*	89,7143	54,4017
DC70_180_50g_B - DC70_180_100g_C		-16,0	54,4017
DC70_180_50g_B - DC70_0_200g_A	*	133,714	54,4017
DC70_180_50g_B - DC70_0_200g_B	*	131,143	54,4017
DC70_180_50g_B - DC70_0_200g_C	*	117,286	54,4017
DC70_180_50g_B - DC70_180_200g_A	*	62,2857	54,4017
DC70_180_50g_B - DC70_180_200g_B	*	73,7143	54,4017
DC70_180_50g_B - DC70_180_200g_C	*	86,0	54,4017
DC70_180_50g_C - DC70_0_100g_A	*	58,5714	54,4017
DC70_180_50g_C - DC70_0_100g_B	*	105,0	54,4017
DC70_180_50g_C - DC70_0_100g_C	*	78,5714	54,4017
DC70_180_50g_C - DC70_180_100g_A		5,28571	54,4017
DC70_180_50g_C - DC70_180_100g_B		43,1429	54,4017
DC70_180_50g_C - DC70_180_100g_C	*	-62,5714	54,4017
DC70_180_50g_C - DC70_0_200g_A	*	87,1429	54,4017
DC70_180_50g_C - DC70_0_200g_B	*	84,5714	54,4017
DC70_180_50g_C - DC70_0_200g_C	*	70,7143	54,4017
DC70_180_50g_C - DC70_180_200g_A		15,7143	54,4017
DC70_180_50g_C - DC70_180_200g_B		27,1429	54,4017
DC70_180_50g_C - DC70_180_200g_C		39,4286	54,4017
DC70_0_100g_A - DC70_0_100g_B		46,4286	54,4017
DC70_0_100g_A - DC70_0_100g_C		20,0	54,4017
DC70_0_100g_A - DC70_180_100g_A		-53,2857	54,4017
DC70_0_100g_A - DC70_180_100g_B		-15,4286	54,4017
DC70_0_100g_A - DC70_180_100g_C	*	-121,143	54,4017
DC70_0_100g_A - DC70_0_200g_A		28,5714	54,4017
DC70_0_100g_A - DC70_0_200g_B		26,0	54,4017
DC70_0_100g_A - DC70_0_200g_C		12,1429	54,4017
DC70_0_100g_A - DC70_180_200g_A		-42,8571	54,4017
DC70_0_100g_A - DC70_180_200g_B		-31,4286	54,4017
DC70_0_100g_A - DC70_180_200g_C		-19,1429	54,4017
DC70_0_100g_B - DC70_0_100g_C		-26,4286	54,4017
DC70_0_100g_B - DC70_180_100g_A	*	-99,7143	54,4017
DC70_0_100g_B - DC70_180_100g_B	*	-61,8571	54,4017
DC70_0_100g_B - DC70_180_100g_C	*	-167,571	54,4017
DC70_0_100g_B - DC70_0_200g_A		-17,8571	54,4017
DC70_0_100g_B - DC70_0_200g_B		-20,4286	54,4017
DC70_0_100g_B - DC70_0_200g_C		-34,2857	54,4017
DC70_0_100g_B - DC70_180_200g_A	*	-89,2857	54,4017
DC70_0_100g_B - DC70_180_200g_B	*	-77,8571	54,4017
DC70_0_100g_B - DC70_180_200g_C	*	-65,5714	54,4017

DC70_0_100g_C - DC70_180_100g_A	*	-73,2857	54,4017
DC70_0_100g_C - DC70_180_100g_B		-35,4286	54,4017
DC70_0_100g_C - DC70_180_100g_C	*	-141,143	54,4017
DC70_0_100g_C - DC70_0_200g_A		8,57143	54,4017
DC70_0_100g_C - DC70_0_200g_B		6,0	54,4017
DC70_0_100g_C - DC70_0_200g_C		-7,85714	54,4017
DC70_0_100g_C - DC70_180_200g_A	*	-62,8571	54,4017
DC70_0_100g_C - DC70_180_200g_B		-51,4286	54,4017
DC70_0_100g_C - DC70_180_200g_C		-39,1429	54,4017
DC70_180_100g_A - DC70_180_100g_B		37,8571	54,4017
DC70_180_100g_A - DC70_180_100g_C	*	-67,8571	54,4017
DC70_180_100g_A - DC70_0_200g_A	*	81,8571	54,4017
DC70_180_100g_A - DC70_0_200g_B	*	79,2857	54,4017
DC70_180_100g_A - DC70_0_200g_C	*	65,4286	54,4017
DC70_180_100g_A - DC70_180_200g_A		10,4286	54,4017
DC70_180_100g_A - DC70_180_200g_B		21,8571	54,4017
DC70_180_100g_A - DC70_180_200g_C		34,1429	54,4017
DC70_180_100g_B - DC70_180_100g_C	*	-105,714	54,4017
DC70_180_100g_B - DC70_0_200g_A		44,0	54,4017
DC70_180_100g_B - DC70_0_200g_B		41,4286	54,4017
DC70_180_100g_B - DC70_0_200g_C		27,5714	54,4017
DC70_180_100g_B - DC70_180_200g_A		-27,4286	54,4017
DC70_180_100g_B - DC70_180_200g_B		-16,0	54,4017
DC70_180_100g_B - DC70_180_200g_C		-3,71429	54,4017
DC70_180_100g_C - DC70_0_200g_A	*	149,714	54,4017
DC70_180_100g_C - DC70_0_200g_B	*	147,143	54,4017
DC70_180_100g_C - DC70_0_200g_C	*	133,286	54,4017
DC70_180_100g_C - DC70_180_200g_A	*	78,2857	54,4017
DC70_180_100g_C - DC70_180_200g_B	*	89,7143	54,4017
DC70_180_100g_C - DC70_180_200g_C	*	102,0	54,4017
DC70_0_200g_A - DC70_0_200g_B		-2,57143	54,4017
DC70_0_200g_A - DC70_0_200g_C		-16,4286	54,4017
DC70_0_200g_A - DC70_180_200g_A	*	-71,4286	54,4017
DC70_0_200g_A - DC70_180_200g_B	*	-60,0	54,4017
DC70_0_200g_A - DC70_180_200g_C		-47,7143	54,4017
DC70_0_200g_B - DC70_0_200g_C		-13,8571	54,4017
DC70_0_200g_B - DC70_180_200g_A	*	-68,8571	54,4017
DC70_0_200g_B - DC70_180_200g_B	*	-57,4286	54,4017
DC70_0_200g_B - DC70_180_200g_C		-45,1429	54,4017
DC70_0_200g_C - DC70_180_200g_A	*	-55,0	54,4017
DC70_0_200g_C - DC70_180_200g_B		-43,5714	54,4017
DC70_0_200g_C - DC70_180_200g_C		-31,2857	54,4017
DC70_180_200g_A - DC70_180_200g_B		11,4286	54,4017
DC70_180_200g_A - DC70_180_200g_C		23,7143	54,4017
DC70_180_200g_B - DC70_180_200g_C		12,2857	54,4017

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

B.5 DEC70

Quadro B.17 – Resumo estatístico das medidas de Microdureza Vickers (HV) com cargas de 50g, 100g e 200g aplicadas às geratrizes 0° e 180° nas zonas A, B e C do C.P. na condição de desgaste DEC70.

	N	HV Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	HV Mín.	HV Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
DEC70_0_50g_A	7	242,6	124,3	51,2406%	105,0	423,0	318,0	0,473	-1,008
DEC70_0_50g_B	7	237,6	59,5	25,0464%	134,0	330,0	196,0	-0,329	0,913
DEC70_0_50g_C	7	265,6	54,6	20,5645%	211,0	361,0	150,0	0,992	-0,065
DEC70_180_50g_A	7	251,7	37,7	14,963%	172,0	287,0	115,0	-2,072	2,416
DEC70_180_50g_C	7	313,4	91,2	29,1014%	213,0	480,0	267,0	1,124	0,481
DEC70_0_100g_A	7	259,0	22,6	8,74214%	247,0	310,0	63,0	2,776	3,620
DEC70_0_100g_B	7	295,4	54,6	18,4675%	255,0	414,0	159,0	2,383	2,840
DEC70_0_100g_C	7	268,3	25,5	9,49252%	233,0	297,0	64,0	-0,266	-1,015
DEC70_180_100g_A	7	308,3	56,7	18,393%	225,0	399,0	174,0	0,330	0,077
DEC70_180_100g_C	7	317,9	48,9	15,3916%	253,0	389,0	136,0	0,107	-0,717
DEC70_0_200g_A	7	321,1	23,1	7,19665%	292,0	358,0	66,0	0,380	-0,397
DEC70_0_200g_B	7	261,9	13,1	4,98617%	246,0	282,0	36,0	0,393	-0,598
DEC70_0_200g_C	7	253,1	10,5	4,15211%	232,0	264,0	32,0	-1,624	1,627
DEC70_180_200g_A	7	361,4	99,0	27,3908%	258,0	516,0	258,0	0,617	-0,607
DEC70_180_200g_C	7	280,7	48,1	17,1434%	203,0	356,0	153,0	-0,080	0,371
Total	105	282,5	65,8	23,2798%	105,0	516,0	411,0	2,938	4,350

Quadro B.18 – Resultado da ANOVA das medidas de Microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	123581	14	8827,19	2,43	0,0060
Intra grupos	326333	90	3625,93		
Total (Corr.)	449914	104			

Quadro B.19 – Grupos homogêneos das medidas de microdureza Vickers para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
DEC70_0_50g_B	7	237,571	X
DEC70_0_50g_A	7	242,571	X
DEC70_180_50g_A	7	251,714	XX
DEC70_0_200g_C	7	253,143	XX
DEC70_0_100g_A	7	259,0	XXX
DEC70_0_200g_B	7	261,857	XXX
DEC70_0_50g_C	7	265,571	XXX
DEC70_0_100g_C	7	268,286	XXX
DEC70_180_200g_C	7	280,714	XXX
DEC70_0_100g_B	7	295,429	XXX
DEC70_180_100g_A	7	308,286	XXX
DEC70_180_50g_C	7	313,429	XXX
DEC70_180_100g_C	7	317,857	XX
DEC70_0_200g_A	7	321,143	XX
DEC70_180_200g_A	7	361,429	X

Quadro B.20 – Comparação das séries de medidas de microdureza Vickers, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DEC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
DEC70_0_50g_A - DEC70_0_50g_B		5,0	63,9445
DEC70_0_50g_A - DEC70_0_50g_C		-23,0	63,9445
DEC70_0_50g_A - DEC70_180_50g_A		-9,14286	63,9445
DEC70_0_50g_A - DEC70_180_50g_C	*	-70,8571	63,9445
DEC70_0_50g_A - DEC70_0_100g_A		-16,4286	63,9445
DEC70_0_50g_A - DEC70_0_100g_B		-52,8571	63,9445
DEC70_0_50g_A - DEC70_0_100g_C		-25,7143	63,9445
DEC70_0_50g_A - DEC70_180_100g_A	*	-65,7143	63,9445
DEC70_0_50g_A - DEC70_180_100g_C	*	-75,2857	63,9445
DEC70_0_50g_A - DEC70_0_200g_A	*	-78,5714	63,9445
DEC70_0_50g_A - DEC70_0_200g_B		-19,2857	63,9445
DEC70_0_50g_A - DEC70_0_200g_C		-10,5714	63,9445
DEC70_0_50g_A - DEC70_180_200g_A	*	-118,857	63,9445
DEC70_0_50g_A - DEC70_180_200g_C		-38,1429	63,9445
DEC70_0_50g_B - DEC70_0_50g_C		-28,0	63,9445
DEC70_0_50g_B - DEC70_180_50g_A		-14,1429	63,9445
DEC70_0_50g_B - DEC70_180_50g_C	*	-75,8571	63,9445
DEC70_0_50g_B - DEC70_0_100g_A		-21,4286	63,9445
DEC70_0_50g_B - DEC70_0_100g_B		-57,8571	63,9445
DEC70_0_50g_B - DEC70_0_100g_C		-30,7143	63,9445
DEC70_0_50g_B - DEC70_180_100g_A	*	-70,7143	63,9445
DEC70_0_50g_B - DEC70_180_100g_C	*	-80,2857	63,9445
DEC70_0_50g_B - DEC70_0_200g_A	*	-83,5714	63,9445
DEC70_0_50g_B - DEC70_0_200g_B		-24,2857	63,9445
DEC70_0_50g_B - DEC70_0_200g_C		-15,5714	63,9445
DEC70_0_50g_B - DEC70_180_200g_A	*	-123,857	63,9445
DEC70_0_50g_B - DEC70_180_200g_C		-43,1429	63,9445
DEC70_0_50g_C - DEC70_180_50g_A		13,8571	63,9445
DEC70_0_50g_C - DEC70_180_50g_C		-47,8571	63,9445
DEC70_0_50g_C - DEC70_0_100g_A		6,57143	63,9445
DEC70_0_50g_C - DEC70_0_100g_B		-29,8571	63,9445
DEC70_0_50g_C - DEC70_0_100g_C		-2,71429	63,9445
DEC70_0_50g_C - DEC70_180_100g_A		-42,7143	63,9445
DEC70_0_50g_C - DEC70_180_100g_C		-52,2857	63,9445
DEC70_0_50g_C - DEC70_0_200g_A		-55,5714	63,9445
DEC70_0_50g_C - DEC70_0_200g_B		3,71429	63,9445
DEC70_0_50g_C - DEC70_0_200g_C		12,4286	63,9445
DEC70_0_50g_C - DEC70_180_200g_A	*	-95,8571	63,9445
DEC70_0_50g_C - DEC70_180_200g_C		-15,1429	63,9445
DEC70_180_50g_A - DEC70_180_50g_C		-61,7143	63,9445
DEC70_180_50g_A - DEC70_0_100g_A		-7,28571	63,9445
DEC70_180_50g_A - DEC70_0_100g_B		-43,7143	63,9445
DEC70_180_50g_A - DEC70_0_100g_C		-16,5714	63,9445
DEC70_180_50g_A - DEC70_180_100g_A		-56,5714	63,9445
DEC70_180_50g_A - DEC70_180_100g_C	*	-66,1429	63,9445
DEC70_180_50g_A - DEC70_0_200g_A	*	-69,4286	63,9445
DEC70_180_50g_A - DEC70_0_200g_B		-10,1429	63,9445
DEC70_180_50g_A - DEC70_0_200g_C		-1,42857	63,9445
DEC70_180_50g_A - DEC70_180_200g_A	*	-109,714	63,9445
DEC70_180_50g_A - DEC70_180_200g_C		-29,0	63,9445
DEC70_180_50g_C - DEC70_0_100g_A		54,4286	63,9445
DEC70_180_50g_C - DEC70_0_100g_B		18,0	63,9445
DEC70_180_50g_C - DEC70_0_100g_C		45,1429	63,9445
DEC70_180_50g_C - DEC70_180_100g_A		5,14286	63,9445

DEC70_180_50g_C - DEC70_180_100g_C		-4,42857	63,9445
DEC70_180_50g_C - DEC70_0_200g_A		-7,71429	63,9445
DEC70_180_50g_C - DEC70_0_200g_B		51,5714	63,9445
DEC70_180_50g_C - DEC70_0_200g_C		60,2857	63,9445
DEC70_180_50g_C - DEC70_180_200g_A		-48,0	63,9445
DEC70_180_50g_C - DEC70_180_200g_C		32,7143	63,9445
DEC70_0_100g_A - DEC70_0_100g_B		-36,4286	63,9445
DEC70_0_100g_A - DEC70_0_100g_C		-9,28571	63,9445
DEC70_0_100g_A - DEC70_180_100g_A		-49,2857	63,9445
DEC70_0_100g_A - DEC70_180_100g_C		-58,8571	63,9445
DEC70_0_100g_A - DEC70_0_200g_A		-62,1429	63,9445
DEC70_0_100g_A - DEC70_0_200g_B		-2,85714	63,9445
DEC70_0_100g_A - DEC70_0_200g_C		5,85714	63,9445
DEC70_0_100g_A - DEC70_180_200g_A	*	-102,429	63,9445
DEC70_0_100g_A - DEC70_180_200g_C		-21,7143	63,9445
DEC70_0_100g_B - DEC70_0_100g_C		27,1429	63,9445
DEC70_0_100g_B - DEC70_180_100g_A		-12,8571	63,9445
DEC70_0_100g_B - DEC70_180_100g_C		-22,4286	63,9445
DEC70_0_100g_B - DEC70_0_200g_A		-25,7143	63,9445
DEC70_0_100g_B - DEC70_0_200g_B		33,5714	63,9445
DEC70_0_100g_B - DEC70_0_200g_C		42,2857	63,9445
DEC70_0_100g_B - DEC70_180_200g_A	*	-66,0	63,9445
DEC70_0_100g_B - DEC70_180_200g_C		14,7143	63,9445
DEC70_0_100g_C - DEC70_180_100g_A		-40,0	63,9445
DEC70_0_100g_C - DEC70_180_100g_C		-49,5714	63,9445
DEC70_0_100g_C - DEC70_0_200g_A		-52,8571	63,9445
DEC70_0_100g_C - DEC70_0_200g_B		6,42857	63,9445
DEC70_0_100g_C - DEC70_0_200g_C		15,1429	63,9445
DEC70_0_100g_C - DEC70_180_200g_A	*	-93,1429	63,9445
DEC70_0_100g_C - DEC70_180_200g_C		-12,4286	63,9445
DEC70_180_100g_A - DEC70_180_100g_C		-9,57143	63,9445
DEC70_180_100g_A - DEC70_0_200g_A		-12,8571	63,9445
DEC70_180_100g_A - DEC70_0_200g_B		46,4286	63,9445
DEC70_180_100g_A - DEC70_0_200g_C		55,1429	63,9445
DEC70_180_100g_A - DEC70_180_200g_A		-53,1429	63,9445
DEC70_180_100g_A - DEC70_180_200g_C		27,5714	63,9445
DEC70_180_100g_C - DEC70_0_200g_A		-3,28571	63,9445
DEC70_180_100g_C - DEC70_0_200g_B		56,0	63,9445
DEC70_180_100g_C - DEC70_0_200g_C	*	64,7143	63,9445
DEC70_180_100g_C - DEC70_180_200g_A		-43,5714	63,9445
DEC70_180_100g_C - DEC70_180_200g_C		37,1429	63,9445
DEC70_0_200g_A - DEC70_0_200g_B		59,2857	63,9445
DEC70_0_200g_A - DEC70_0_200g_C	*	68,0	63,9445
DEC70_0_200g_A - DEC70_180_200g_A		-40,2857	63,9445
DEC70_0_200g_A - DEC70_180_200g_C		40,4286	63,9445
DEC70_0_200g_B - DEC70_0_200g_C		8,71429	63,9445
DEC70_0_200g_B - DEC70_180_200g_A	*	-99,5714	63,9445
DEC70_0_200g_B - DEC70_180_200g_C		-18,8571	63,9445
DEC70_0_200g_C - DEC70_180_200g_A	*	-108,286	63,9445
DEC70_0_200g_C - DEC70_180_200g_C		-27,5714	63,9445
DEC70_180_200g_A - DEC70_180_200g_C	*	80,7143	63,9445

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

**APÊNDICE C – Comparação dos Dados de Rugosidade Superficial
(Statgraphics® Centurion XVI)**

C.1 C.P. Não Ensaiado – Ra

Quadro C.1 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Ra) para um C.P. não ensaiado.

	N	Ra Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Ra Mín.	Ra Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Ra_NE_0_A	3	0,248	0,021	8,49195%	0,226	0,268	0,042	-0,20092	
Ra_NE_0_B	3	0,213	0,017	7,90415%	0,194	0,225	0,031	-1,14767	
Ra_NE_0_C	3	0,288	0,051	17,6196%	0,233	0,333	0,100	-0,60271	
Ra_NE_180_A	3	0,291	0,037	12,6413%	0,249	0,316	0,067	-1,17516	
Ra_NE_180_B	3	0,275	0,016	5,76041%	0,261	0,292	0,031	0,69781	
Ra_NE_180_C	3	0,319	0,059	18,4953%	0,260	0,378	0,118	0,00000	
Total	18	0,272	0,047	17,2268%	0,194	0,378	0,184	0,83331	-0,037956

Quadro C.2 – Resultado da ANOVA das medidas de Ra para um C.P. não ensaiado.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre Grupos	0,0206373	5	0,00412747	2,95	0,0578
Intra Grupos	0,0167787	12	0,00139822		
Total (Corr.)	0,037416	17			

Quadro C.3 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Ra para um C.P. não ensaiado.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Ra_NE_0_B	3	0,213333	X
Ra_NE_0_A	3	0,247667	XX
Ra_NE_180_B	3	0,274667	XXX
Ra_NE_0_C	3	0,288000	XX
Ra_NE_180_A	3	0,291333	XX
Ra_NE_180_C	3	0,319000	X

Quadro C.4 – Comparação das séries de rugosidade superficial Ra, nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Ra_NE_0_A - Ra_NE_0_B		0,0343333	0,0665217
Ra_NE_0_A - Ra_NE_0_C		-0,0403333	0,0665217
Ra_NE_0_A - Ra_NE_180_A		-0,0436667	0,0665217
Ra_NE_0_A - Ra_NE_180_B		-0,027	0,0665217
Ra_NE_0_A - Ra_NE_180_C	*	-0,0713333	0,0665217
Ra_NE_0_B - Ra_NE_0_C	*	-0,0746667	0,0665217
Ra_NE_0_B - Ra_NE_180_A	*	-0,078	0,0665217
Ra_NE_0_B - Ra_NE_180_B		-0,0613333	0,0665217
Ra_NE_0_B - Ra_NE_180_C	*	-0,105667	0,0665217
Ra_NE_0_C - Ra_NE_180_A		-0,00333333	0,0665217
Ra_NE_0_C - Ra_NE_180_B		0,0133333	0,0665217
Ra_NE_0_C - Ra_NE_180_C		-0,031	0,0665217
Ra_NE_180_A - Ra_NE_180_B		0,0166667	0,0665217
Ra_NE_180_A - Ra_NE_180_C		-0,0276667	0,0665217
Ra_NE_180_B - Ra_NE_180_C		-0,0443333	0,0665217

*** indica uma diferença estatisticamente significativa.**

C2. C.P. Não Ensaiado – Rq

Quadro C.5 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rq) para um C.P. não ensaiado.

	N	Rq Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Rq Mín.	Rq Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Rq_NE_0_A	3	0,329	0,031	9,55394%	0,293	0,351	0,058	-1,13610	
Rq_NE_0_B	3	0,282	0,024	8,38411%	0,255	0,299	0,044	-1,10508	
Rq_NE_0_C	3	0,375	0,067	17,7458%	0,311	0,444	0,133	0,20614	
Rq_NE_180_A	3	0,373	0,041	11,0974%	0,325	0,399	0,074	-1,20464	
Rq_NE_180_B	3	0,356	0,021	5,89888%	0,332	0,371	0,039	-1,11323	
Rq_NE_180_C	3	0,412	0,075	18,1423%	0,334	0,483	0,149	-0,29538	
Total	18	0,355	0,058	16,3886%	0,255	0,483	0,228	0,87947	0,073326

Quadro C.6 – Resultado da ANOVA das medidas de Rq para um C.P. não ensaiado.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	0,0299372	5	0,00598743	2,62	0,0798
Intra grupos	0,0274433	12	0,00228694		
Total (Corr.)	0,0573805	17			

Quadro C.7 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rq para um C.P. não ensaiado.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Rq_NE_0_B	3	0,282	X
Rq_NE_0_A	3	0,329	XX
Rq_NE_180_B	3	0,356	XX
Rq_NE_180_A	3	0,373	X
Rq_NE_0_C	3	0,375	X
Rq_NE_180_C	3	0,412	X

Quadro C.8 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rq, nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rq_NE_0_A - Rq_NE_0_B		0,047	0,0850752
Rq_NE_0_A - Rq_NE_0_C		-0,0463333	0,0850752
Rq_NE_0_A - Rq_NE_180_A		-0,0436667	0,0850752
Rq_NE_0_A - Rq_NE_180_B		-0,027	0,0850752
Rq_NE_0_A - Rq_NE_180_C		-0,083	0,0850752
Rq_NE_0_B - Rq_NE_0_C	*	-0,0933333	0,0850752
Rq_NE_0_B - Rq_NE_180_A	*	-0,0906667	0,0850752
Rq_NE_0_B - Rq_NE_180_B		-0,074	0,0850752
Rq_NE_0_B - Rq_NE_180_C	*	-0,13	0,0850752
Rq_NE_0_C - Rq_NE_180_A		0,00266667	0,0850752
Rq_NE_0_C - Rq_NE_180_B		0,0193333	0,0850752
Rq_NE_0_C - Rq_NE_180_C		-0,0366667	0,0850752
Rq_NE_180_A - Rq_NE_180_B		0,0166667	0,0850752
Rq_NE_180_A - Rq_NE_180_C		-0,0393333	0,0850752
Rq_NE_180_B - Rq_NE_180_C		-0,056	0,0850752

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C3. C.P. Não Ensaiado – Rz

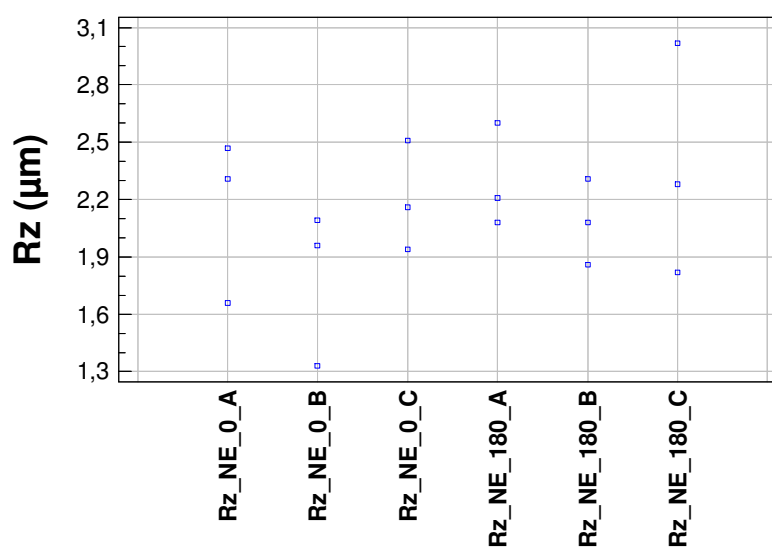
Quadro C.9 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rz) para um C.P. não ensaiado.

	N	Rz Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Rz Mín.	Rz Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Rz_NE_0_A	3	2,147	0,429	19,9841%	1,66	2,47	0,81	-1,03588	
Rz_NE_0_B	3	1,793	0,407	22,6667%	1,33	2,09	0,76	-1,08533	
Rz_NE_0_C	3	2,203	0,288	13,0466%	1,94	2,51	0,57	0,46877	
Rz_NE_180_A	3	2,297	0,271	11,783%	2,08	2,6	0,52	0,91453	
Rz_NE_180_B	3	2,083	0,225	10,8009%	1,86	2,31	0,45	0,04713	
Rz_NE_180_C	3	2,373	0,605	25,5093%	1,82	3,02	1,20	0,47889	
Total	18	2,149	0,381	17,706%	1,33	3,02	1,69	0,20252	0,937404

Quadro C.10 – Resultado da ANOVA das medidas de Rq para um C.P. não ensaiado.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	0,617694	5	0,123539	0,80	0,5683
Intra grupos	1,8446	12	0,153717		
Total (Corr.)	2,46229	17			

Dispersão das Medidas de Rz



(a)

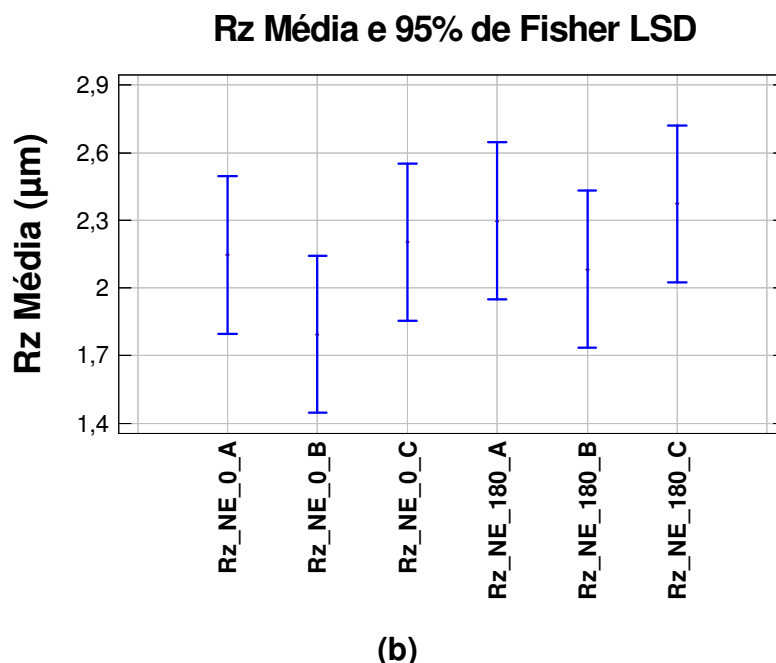


Figura C.1 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rz para um C.P. não ensaiado.

Quadro C.11 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rq para um C.P. não ensaiado.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Rz_NE_0_B	3	1,79333	X
Rz_NE_180_B	3	2,08333	X
Rz_NE_0_A	3	2,14667	X
Rz_NE_0_C	3	2,20333	X
Rz_NE_180_A	3	2,29667	X
Rz_NE_180_C	3	2,37333	X

Quadro C.12 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rq, nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rz_NE_0_A - Rz_NE_0_B		0,353333	0,697486
Rz_NE_0_A - Rz_NE_0_C		-0,0566667	0,697486
Rz_NE_0_A - Rz_NE_180_A		-0,15	0,697486
Rz_NE_0_A - Rz_NE_180_B		0,0633333	0,697486
Rz_NE_0_A - Rz_NE_180_C		-0,226667	0,697486
Rz_NE_0_B - Rz_NE_0_C		-0,41	0,697486
Rz_NE_0_B - Rz_NE_180_A		-0,503333	0,697486
Rz_NE_0_B - Rz_NE_180_B		-0,29	0,697486
Rz_NE_0_B - Rz_NE_180_C		-0,58	0,697486
Rz_NE_0_C - Rz_NE_180_A		-0,0933333	0,697486
Rz_NE_0_C - Rz_NE_180_B		0,12	0,697486
Rz_NE_0_C - Rz_NE_180_C		-0,17	0,697486
Rz_NE_180_A - Rz_NE_180_B		0,213333	0,697486
Rz_NE_180_A - Rz_NE_180_C		-0,0766667	0,697486
Rz_NE_180_B - Rz_NE_180_C		-0,29	0,697486

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C4. C.P. Não Ensaiado – Rsm

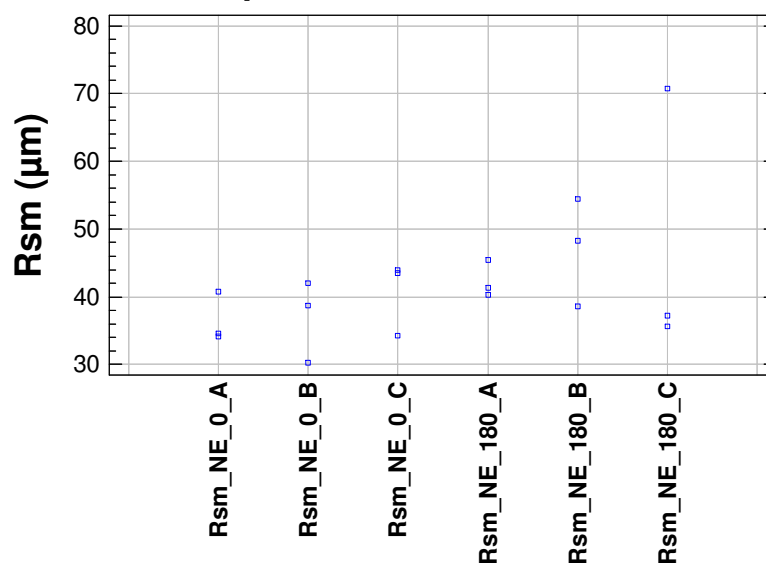
Quadro C.13 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rsm) para um C.P. não ensaiado.

	N	RSm Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	RSm Mín.	RSm Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
RSm_NE_0_A	3	36,5	3,732	10,2255%	34,1	40,8	6,7	1,20006	
RSm_NE_0_B	3	37,0	6,032	16,3038%	30,3	42,0	11,7	-0,82550	
RSm_NE_0_C	3	40,6	5,431	13,3873%	34,3	43,9	9,6	-1,21727	
RSm_NE_180_A	3	42,3	2,703	6,38378%	40,3	45,4	5,1	1,03880	
RSm_NE_180_B	3	47,1	7,968	16,9173%	38,6	54,4	15,8	-0,46834	
RSm_NE_180_C	3	47,8	19,819	41,434%	35,6	70,7	35,1	1,21577	
Total	18	41,9	9,200	21,9635%	30,3	70,7	40,4	3,37267	4,42526

Quadro C.14 – Resultado da ANOVA das medidas de Rz para um C.P. não ensaiado.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	352,138	5	70,4276	0,78	0,5843
Intra grupos	1086,82	12	90,5683		
Total (Corr.)	1438,96	17			

Dispersão das Medidas de Rsm



(a)

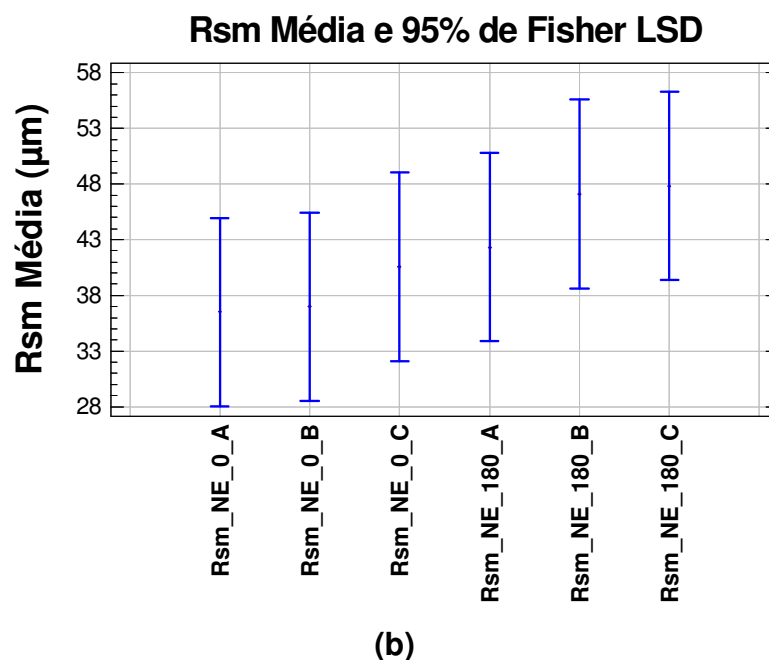


Figura C.2 – Comparação da **(a)** dispersão e **(b)** média das medidas rugosidade superficial Rsm para um C.P. não ensaiado.

Quadro C.15 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rsm para um C.P. não ensaiado.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
RSm_NE_0_A	3	36,5	X
RSm_NE_0_B	3	37,0	X
RSm_NE_0_C	3	40,5667	X
RSm_NE_180_A	3	42,3333	X
RSm_NE_180_B	3	47,1	X
RSm_NE_180_C	3	47,8333	X

Quadro C.16 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rsm, nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rsm_NE_0_A - Rsm_NE_0_B		-0,5	16,9303
Rsm_NE_0_A - Rsm_NE_0_C		-4,06667	16,9303
Rsm_NE_0_A - Rsm_NE_180_A		-5,83333	16,9303
Rsm_NE_0_A - Rsm_NE_180_B		-10,6	16,9303
Rsm_NE_0_A - Rsm_NE_180_C		-11,3333	16,9303
Rsm_NE_0_B - Rsm_NE_0_C		-3,56667	16,9303
Rsm_NE_0_B - Rsm_NE_180_A		-5,33333	16,9303
Rsm_NE_0_B - Rsm_NE_180_B		-10,1	16,9303
Rsm_NE_0_B - Rsm_NE_180_C		-10,8333	16,9303
Rsm_NE_0_C - Rsm_NE_180_A		-1,76667	16,9303
Rsm_NE_0_C - Rsm_NE_180_B		-6,53333	16,9303
Rsm_NE_0_C - Rsm_NE_180_C		-7,26667	16,9303
Rsm_NE_180_A - Rsm_NE_180_B		-4,76667	16,9303
Rsm_NE_180_A - Rsm_NE_180_C		-5,5	16,9303
Rsm_NE_180_B - Rsm_NE_180_C		-0,733333	16,9303

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C5. SAM30 – Ra

Quadro C.17 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Ra) para um C.P. na condição de ensaio SAM30.

	N	Ra Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Ra Mín.	Ra Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Ra SAM30_0_A	3	0,994	0,198	19,9634%	0,850	1,220	0,370	1,09575	
Ra SAM30_0_B	3	0,855	0,014	1,65818%	0,839	0,866	0,027	-0,98262	
Ra SAM30_0_C	3	0,835	0,064	7,69645%	0,762	0,882	0,120	-1,09276	
Ra SAM30_180_A	3	1,067	0,074	6,91042%	1,010	1,150	0,140	1,00049	
Ra SAM30_180_B	3	0,991	0,089	8,97062%	0,918	1,090	0,172	0,85102	
Ra SAM30_180_C	3	0,854	0,039	4,59687%	0,809	0,878	0,069	-1,22117	
Total	18	0,933	0,123	13,1905%	0,762	1,220	0,458	1,83723	0,400074

Quadro C.18 – Resultado da ANOVA das medidas de Ra para um C.P. que foi submetido a condição SAM30.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	0,140165	5	0,0280331	2,87	0,0623
Intra grupos	0,117127	12	0,0097606		
Total (Corr.)	0,257292	17			

Quadro C.19 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Ra para um C.P. na condição de ensaio SAM30.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Ra SAM30_0_C	3	0,835333	X
Ra SAM30_180_C	3	0,854333	X
Ra SAM30_0_B	3	0,855000	X
Ra SAM30_180_B	3	0,991000	XX
Ra SAM30_0_A	3	0,993667	XX
Ra SAM30_180_A	3	1,066670	X

Quadro C.20 – Comparação das séries de rugosidade superficial Ra, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM30.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Ra SAM30_0_A - Ra SAM30_0_B		0,138667	0,175757
Ra SAM30_0_A - Ra SAM30_0_C		0,158333	0,175757
Ra SAM30_0_A - Ra SAM30_180_A		-0,073	0,175757
Ra SAM30_0_A - Ra SAM30_180_B		0,00266667	0,175757
Ra SAM30_0_A - Ra SAM30_180_C		0,139333	0,175757
Ra SAM30_0_B - Ra SAM30_0_C		0,0196667	0,175757
Ra SAM30_0_B - Ra SAM30_180_A	*	-0,211667	0,175757
Ra SAM30_0_B - Ra SAM30_180_B		-0,136	0,175757
Ra SAM30_0_B - Ra SAM30_180_C		0,000666667	0,175757
Ra SAM30_0_C - Ra SAM30_180_A	*	-0,231333	0,175757
Ra SAM30_0_C - Ra SAM30_180_B		-0,155667	0,175757
Ra SAM30_0_C - Ra SAM30_180_C		-0,019	0,175757
Ra SAM30_180_A - Ra SAM30_180_B		0,0756667	0,175757
Ra SAM30_180_A - Ra SAM30_180_C	*	0,212333	0,175757
Ra SAM30_180_B - Ra SAM30_180_C		0,136667	0,175757

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C6. SAM30 – Rq

Quadro C.21 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rq) para um C.P. na condição de ensaio SAM30.

	N	Rq Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Rq Mín.	Rq Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Rq SAM30_0_A	3	1,230	0,227	18,468%	1,07	1,49	0,42	1,12932	
Rq SAM30_0_B	3	1,097	0,025	2,29478%	1,07	1,12	0,05	-0,41407	
Rq SAM30_0_C	3	1,071	0,067	6,25133%	0,99	1,11	0,12	-1,22474	
Rq SAM30_180_A	3	1,367	0,103	7,50966%	1,28	1,48	0,20	0,77095	
Rq SAM30_180_B	3	1,257	0,122	9,7243%	1,15	1,39	0,24	0,66130	
Rq SAM30_180_C	3	1,097	0,025	2,29478%	1,07	1,12	0,05	-0,41407	
Total	18	1,186	0,148	12,4638%	0,99	1,49	0,50	1,82546	-0,0233

Quadro C.22 – Resultado da ANOVA das medidas de Rq para um C.P. que foi submetido a condição SAM30.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	0,206037	5	0,0412073	2,99	0,0560
Intra grupos	0,165637	12	0,0138031		
Total (Corr.)	0,371674	17			

Quadro C.23 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rq para um C.P. na condição de ensaio SAM30.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Rq SAM30_0_C	3	1,07133	X
Rq SAM30_180_C	3	1,09667	X
Rq SAM30_0_B	3	1,09667	X
Rq SAM30_0_A	3	1,23000	XX
Rq SAM30_180_B	3	1,25667	XX
Rq SAM30_180_A	3	1,36667	X

Quadro C.24 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rq, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM30.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rq SAM30_0_A - Rq SAM30_0_B		0,133333	0,209008
Rq SAM30_0_A - Rq SAM30_0_C		0,158667	0,209008
Rq SAM30_0_A - Rq SAM30_180_A		-0,136667	0,209008
Rq SAM30_0_A - Rq SAM30_180_B		-0,0266667	0,209008
Rq SAM30_0_A - Rq SAM30_180_C		0,133333	0,209008
Rq SAM30_0_B - Rq SAM30_0_C		0,0253333	0,209008
Rq SAM30_0_B - Rq SAM30_180_A	*	-0,27	0,209008
Rq SAM30_0_B - Rq SAM30_180_B		-0,16	0,209008
Rq SAM30_0_B - Rq SAM30_180_C		0,0	0,209008
Rq SAM30_0_C - Rq SAM30_180_A	*	-0,295333	0,209008
Rq SAM30_0_C - Rq SAM30_180_B		-0,185333	0,209008
Rq SAM30_0_C - Rq SAM30_180_C		-0,0253333	0,209008
Rq SAM30_180_A - Rq SAM30_180_B		0,11	0,209008
Rq SAM30_180_A - Rq SAM30_180_C	*	0,27	0,209008
Rq SAM30_180_B - Rq SAM30_180_C		0,16	0,209008

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C7. SAM30 – Rz

Quadro C.25 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rz) para um C.P. na condição de ensaio SAM30.

	N	Rz Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Rz Mín.	Rz Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Rz SAM30_0_A	3	6,680	0,705	10,5462%	6,09	7,46	1,37	0,79576	
Rz SAM30_0_B	3	6,687	0,204	3,05148%	6,51	6,91	0,40	0,68969	
Rz SAM30_0_C	3	6,410	0,459	7,16441%	6,13	6,94	0,81	1,21887	
Rz SAM30_180_A	3	7,503	0,705	9,3959%	6,69	7,94	1,25	-1,21477	
Rz SAM30_180_B	3	7,013	0,727	10,367%	6,32	7,77	1,45	0,27507	
Rz SAM30_180_C	3	6,617	0,265	4,00528%	6,43	6,92	0,49	1,12932	
Total	18	6,818	0,591	8,67151%	6,09	7,94	1,85	1,36142	-0,3638

Quadro C.26 – Resultado da ANOVA das medidas de Rz para um C.P. que foi submetido a condição SAM30.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	2,25338	5	0,450677	1,47	0,2713
Intra grupos	3,68947	12	0,307456		
Total (Corr.)	5,94285	17			

Quadro C.27 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rz para um C.P. na condição de ensaio SAM30.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Rz SAM30_0_C	3	6,41000	X
Rz SAM30_180_C	3	6,61667	XX
Rz SAM30_0_A	3	6,68000	XX
Rz SAM30_0_B	3	6,68667	XX
Rz SAM30_180_B	3	7,01333	XX
Rz SAM30_180_A	3	7,50333	X

Quadro C.28 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rz, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM30.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rz SAM30_0_A - Rz SAM30_0_B		-0,0066667	0,98643
Rz SAM30_0_A - Rz SAM30_0_C		0,27	0,98643
Rz SAM30_0_A - Rz SAM30_180_A		-0,823333	0,98643
Rz SAM30_0_A - Rz SAM30_180_B		-0,333333	0,98643
Rz SAM30_0_A - Rz SAM30_180_C		0,0633333	0,98643
Rz SAM30_0_B - Rz SAM30_0_C		0,276667	0,98643
Rz SAM30_0_B - Rz SAM30_180_A		-0,816667	0,98643
Rz SAM30_0_B - Rz SAM30_180_B		-0,326667	0,98643
Rz SAM30_0_B - Rz SAM30_180_C		0,07	0,98643
Rz SAM30_0_C - Rz SAM30_180_A	*	-1,09333	0,98643
Rz SAM30_0_C - Rz SAM30_180_B		-0,603333	0,98643
Rz SAM30_0_C - Rz SAM30_180_C		-0,206667	0,98643
Rz SAM30_180_A - Rz SAM30_180_B		0,49	0,98643
Rz SAM30_180_A - Rz SAM30_180_C		0,886667	0,98643
Rz SAM30_180_B - Rz SAM30_180_C		0,396667	0,98643

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C8. SAM30 – Rsm

Quadro C.29 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rsm) para um C.P. na condição de ensaio SAM30.

	N	Rsm Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Rsm Mín.	Rsm Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Rsm_SAM180_A	3	42,0	4,530	10,7855%	37,8	46,8	9,0	0,41407	
Rsm_SAM180_B	3	50,1	5,920	11,808%	43,3	53,7	10,4	-1,22121	
Rsm_SAM180_C	3	37,9	0,907	2,39624%	37,2	38,9	1,7	1,07586	
Rsm_SAM30_0_A	3	47,8	0,351	0,735217%	47,4	48,1	0,7	-0,29930	
Rsm_SAM30_0_B	3	47,0	3,081	6,55443%	44,7	50,5	5,8	1,05142	
Rsm_SAM30_0_C	3	39,3	4,480	11,3994%	36,0	44,4	8,4	1,07209	
Total	18	44,0	5,666	12,873%	36,0	53,7	17,7	0,26875	-0,9354

Quadro C.30 – Resultado da ANOVA das medidas de Rsm para um C.P. que foi submetido a condição SAM30.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	373,538	5	74,7076	5,21	0,0090
Intra grupos	172,14	12	14,345		
Total (Corr.)	545,678	17			

Quadro C.31 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rsm para um C.P. na condição de ensaio SAM30.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Rsm_SAM30_180_C	3	37,8667	X
Rsm_SAM30_0_C	3	39,3	X
Rsm_SAM30_180_A	3	42,0	XX
Rsm_SAM30_0_B	3	47,0	XX
Rsm_SAM30_0_A	3	47,7667	XX
Rsm_SAM30_180_B	3	50,1333	X

Quadro C.32 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rsm, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM30.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rsm_SAM30_0_A - Rsm_SAM30_0_B		0,766667	6,73792
Rsm_SAM30_0_A - Rsm_SAM30_0_C	*	8,46667	6,73792
Rsm_SAM30_0_A - Rsm_SAM30_180_A		5,76667	6,73792
Rsm_SAM30_0_A - Rsm_SAM30_180_B		-2,36667	6,73792
Rsm_SAM30_0_A - Rsm_SAM30_180_C	*	9,9	6,73792
Rsm_SAM30_0_B - Rsm_SAM30_0_C	*	7,7	6,73792
Rsm_SAM30_0_B - Rsm_SAM30_180_A		5,0	6,73792
Rsm_SAM30_0_B - Rsm_SAM30_180_B		-3,13333	6,73792
Rsm_SAM30_0_B - Rsm_SAM30_180_C	*	9,13333	6,73792
Rsm_SAM30_0_C - Rsm_SAM30_180_A		-2,7	6,73792
Rsm_SAM30_0_C - Rsm_SAM30_180_B	*	-10,8333	6,73792
Rsm_SAM30_0_C - Rsm_SAM30_180_C		1,43333	6,73792
Rsm_SAM30_180_A - Rsm_SAM30_180_B	*	-8,13333	6,73792
Rsm_SAM30_180_A - Rsm_SAM30_180_C		4,13333	6,73792
Rsm_SAM30_180_B - Rsm_SAM30_180_C	*	12,2667	6,73792

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C9. SAM70 – Ra

Quadro C.33 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Ra) para um C.P. na condição de ensaio SAM70.

	N	Ra Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Ra Mín.	Ra Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Ra SAM70_0_A	3	0,890	0,089	9,87464%	0,831	1,000	0,169	0,99011	
Ra SAM70_0_B	3	0,927	0,073	7,84639%	0,873	1,010	0,137	1,05118	
Ra SAM70_0_C	3	0,788	0,079	9,98595%	0,716	0,872	0,156	0,47396	
Ra SAM70_180_A	3	0,895	0,031	3,46909%	0,863	0,925	0,062	-0,20412	
Ra SAM70_180_B	3	0,950	0,047	4,93616%	0,907	1,000	0,093	0,46440	
Ra SAM70_180_C	3	0,786	0,006	0,74516%	0,782	0,793	0,011	1,06618	
Total	18	0,874	0,084	9,59077%	0,716	1,010	0,294	-0,02023	-0,5207

Quadro C.34 – Resultado da ANOVA das medidas de Ra para um C.P. que foi submetido a condição SAM70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	0,0744023	5	0,0148805	3,95	0,0237
Intra grupos	0,045152	12	0,00376267		
Total (Corr.)	0,119554	17			

Quadro C.35 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Ra para um C.P. na condição de ensaio SAM70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Ra SAM70_180_C	3	0,786333	X
Ra SAM70_0_C	3	0,788	X
Ra SAM70_180_A	3	0,895	XX
Ra SAM70_0_A	3	0,899667	X
Ra SAM70_0_B	3	0,927333	X
Ra SAM70_180_B	3	0,95	X

Quadro C.36 – Comparação das séries de rugosidade superficial Ra, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Ra SAM70_0_A - Ra SAM70_0_B		-0,0276667	0,109125
Ra SAM70_0_A - Ra SAM70_0_C	*	0,111667	0,109125
Ra SAM70_0_A - Ra SAM70_180_A		0,00466667	0,109125
Ra SAM70_0_A - Ra SAM70_180_B		-0,0503333	0,109125
Ra SAM70_0_A - Ra SAM70_180_C	*	0,113333	0,109125
Ra SAM70_0_B - Ra SAM70_0_C	*	0,139333	0,109125
Ra SAM70_0_B - Ra SAM70_180_A		0,0323333	0,109125
Ra SAM70_0_B - Ra SAM70_180_B		-0,0226667	0,109125
Ra SAM70_0_B - Ra SAM70_180_C	*	0,141	0,109125
Ra SAM70_0_C - Ra SAM70_180_A		-0,107	0,109125
Ra SAM70_0_C - Ra SAM70_180_B	*	-0,162	0,109125
Ra SAM70_0_C - Ra SAM70_180_C		0,00166667	0,109125
Ra SAM70_180_A - Ra SAM70_180_B		-0,055	0,109125
Ra SAM70_180_A - Ra SAM70_180_C		0,108667	0,109125
Ra SAM70_180_B - Ra SAM70_180_C	*	0,163667	0,109125

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C10. SAM70 – Rq

Quadro C.37 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rq) para um C.P. na condição de ensaio SAM70.

	N	Rq Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Rq Mín.	Rq Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Rq SAM70_0_A	3	1,127	0,110	9,77675%	1,02	1,24	0,22	0,19188	
Rq SAM70_0_B	3	1,167	0,081	6,98102%	1,11	1,26	0,15	1,14218	
Rq SAM70_0_C	3	0,988	0,096	9,70422%	0,90	1,09	0,19	0,47552	
Rq SAM70_180_A	3	1,123	0,025	2,24031%	1,10	1,15	0,05	0,41407	
Rq SAM70_180_B	3	1,220	0,106	8,67459%	1,14	1,34	0,20	1,03086	
Rq SAM70_180_C	3	0,997	0,020	2,00351%	0,98	1,02	0,04	1,19374	
Total	18	1,104	0,111	10,0745%	0,90	1,34	0,44	0,42453	0,010363

Quadro C.38 – Resultado da ANOVA das medidas de Rq para um C.P. que foi submetido a condição SAM70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	0,129756	5	0,0259512	3,87	0,0253
Intra grupos	0,0803707	12	0,00669756		
Total (Corr.)	0,210126	17			

Quadro C.39 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rq para um C.P. na condição de ensaio SAM70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Rq SAM70_0_C	3	0,987667	X
Rq SAM70_180_C	3	0,997	X
Rq SAM70_180_A	3	1,12333	XX
Rq SAM70_0_A	3	1,12667	XX
Rq SAM70_0_B	3	1,16667	X
Rq SAM70_180_B	3	1,22	X

Quadro C.40 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rq, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rq SAM70_0_A - Rq SAM70_0_B		-0,04	0,145591
Rq SAM70_0_A - Rq SAM70_0_C		0,139	0,145591
Rq SAM70_0_A - Rq SAM70_180_A		0,00333333	0,145591
Rq SAM70_0_A - Rq SAM70_180_B		-0,0933333	0,145591
Rq SAM70_0_A - Rq SAM70_180_C		0,129667	0,145591
Rq SAM70_0_B - Rq SAM70_0_C	*	0,179	0,145591
Rq SAM70_0_B - Rq SAM70_180_A		0,0433333	0,145591
Rq SAM70_0_B - Rq SAM70_180_B		-0,0533333	0,145591
Rq SAM70_0_B - Rq SAM70_180_C	*	0,169667	0,145591
Rq SAM70_0_C - Rq SAM70_180_A		-0,135667	0,145591
Rq SAM70_0_C - Rq SAM70_180_B	*	-0,232333	0,145591
Rq SAM70_0_C - Rq SAM70_180_C		-0,00933333	0,145591
Rq SAM70_180_A - Rq SAM70_180_B		-0,0966667	0,145591
Rq SAM70_180_A - Rq SAM70_180_C		0,126333	0,145591
Rq SAM70_180_B - Rq SAM70_180_C	*	0,223	0,145591

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C11. SAM70 – Rz

Quadro C.41 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rz) para um C.P. na condição de ensaio SAM70.

	N	Rz Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Rz Mín.	Rz Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Rz_SAM70_0_A	3	6,040	0,641	10,6154%	5,30	6,43	1,13	-1,21938	
Rz_SAM70_0_B	3	6,317	0,348	5,50535%	6,05	6,71	0,66	1,00524	
Rz_SAM70_0_C	3	5,547	0,140	2,52618%	5,41	5,69	0,28	0,15105	
Rz_SAM70_180_A	3	6,360	0,213	3,34651%	6,17	6,59	0,42	0,57689	
Rz_SAM70_180_B	3	6,960	0,845	12,138%	6,24	7,89	1,65	0,74209	
Rz_SAM70_180_C	3	5,183	0,242	4,66759%	4,91	5,37	0,46	-0,99358	
Total	18	6,068	0,717	11,8116%	4,91	7,89	2,98	1,10309	0,886062

Quadro C.42 – Resultado da ANOVA das medidas de Rz para um C.P. que foi submetido a condição SAM70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	5,99391	5	1,19878	5,25	0,0087
Intra grupos	2,7384	12	0,2282		
Total (Corr.)	8,73231	17			

Quadro C.43 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rz para um C.P. na condição de ensaio SAM70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Rz_SAM70_180_C	3	5,18333	X
Rz_SAM70_0_C	3	5,54667	XX
Rz_SAM70_0_A	3	6,04	X
Rz_SAM70_0_B	3	6,31667	XX
Rz_SAM70_180_A	3	6,36	XX
Rz_SAM70_180_B	3	6,96	X

Quadro C.44 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rz, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rz_SAM70_0_A - Rz_SAM70_0_B		-0,276667	0,849832
Rz_SAM70_0_A - Rz_SAM70_0_C		0,493333	0,849832
Rz_SAM70_0_A - Rz_SAM70_180_A		-0,32	0,849832
Rz_SAM70_0_A - Rz_SAM70_180_B	*	-0,92	0,849832
Rz_SAM70_0_A - Rz_SAM70_180_C	*	0,856667	0,849832
Rz_SAM70_0_B - Rz_SAM70_0_C		0,77	0,849832
Rz_SAM70_0_B - Rz_SAM70_180_A		-0,0433333	0,849832
Rz_SAM70_0_B - Rz_SAM70_180_B		-0,643333	0,849832
Rz_SAM70_0_B - Rz_SAM70_180_C	*	1,13333	0,849832
Rz_SAM70_0_C - Rz_SAM70_180_A		-0,813333	0,849832
Rz_SAM70_0_C - Rz_SAM70_180_B	*	-1,41333	0,849832
Rz_SAM70_0_C - Rz_SAM70_180_C		0,363333	0,849832
Rz_SAM70_180_A - Rz_SAM70_180_B		-0,6	0,849832
Rz_SAM70_180_A - Rz_SAM70_180_C	*	1,17667	0,849832
Rz_SAM70_180_B - Rz_SAM70_180_C	*	1,77667	0,849832

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C12. SAM70 – Rsm

Quadro C.45 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rsm) para um C.P. na condição de ensaio SAM70.

	N	Rsm Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Rsm Mín.	Rsm Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Rsm_SAM70_0_A	3	55,767	5,105	9,15462%	49,9	59,2	9,3	-1,17209	
Rsm_SAM70_0_B	3	58,067	6,955	11,9778%	50,2	63,4	13,2	-1,00524	
Rsm_SAM70_0_C	3	52,000	2,606	5,01108%	49,3	54,5	5,2	-0,24279	
Rsm_SAM70_180_A	3	57,067	13,626	23,877%	46,7	72,5	25,8	1,01960	
Rsm_SAM70_180_B	3	59,267	3,602	6,07736%	56,8	63,4	6,6	1,15712	
Rsm_SAM70_180_C	3	45,167	3,239	7,17197%	43,1	48,9	5,8	1,20377	
Total	18	54,556	7,638	13,9996%	43,1	72,5	29,4	0,94990	0,213944

Quadro C.46 – Resultado da ANOVA das medidas de Rsm para um C.P. que foi submetido a condição SAM70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	410,931	5	82,1862	1,70	0,2095
Intra grupos	580,713	12	48,3928		
Total (Corr.)	991,644	17			

Quadro C.47 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rsm para um C.P. na condição de ensaio SAM70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Rsm_SAM70_180_C	3	45,1667	X
Rsm_SAM70_0_C	3	52,0	XX
Rsm_SAM70_0_A	3	55,7667	XX
Rsm_SAM70_180_A	3	57,0667	XX
Rsm_SAM70_0_B	3	58,0667	X
Rsm_SAM70_180_B	3	59,2667	X

Quadro C.48 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rsm, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio SAM70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rsm_SAM70_0_A - Rsm_SAM70_0_B		-2,3	12,3756
Rsm_SAM70_0_A - Rsm_SAM70_0_C		3,76667	12,3756
Rsm_SAM70_0_A - Rsm_SAM70_180_A		-1,3	12,3756
Rsm_SAM70_0_A - Rsm_SAM70_180_B		-3,5	12,3756
Rsm_SAM70_0_A - Rsm_SAM70_180_C		10,6	12,3756
Rsm_SAM70_0_B - Rsm_SAM70_0_C		6,06667	12,3756
Rsm_SAM70_0_B - Rsm_SAM70_180_A		1,0	12,3756
Rsm_SAM70_0_B - Rsm_SAM70_180_B		-1,2	12,3756
Rsm_SAM70_0_B - Rsm_SAM70_180_C	*	12,9	12,3756
Rsm_SAM70_0_C - Rsm_SAM70_180_A		-5,06667	12,3756
Rsm_SAM70_0_C - Rsm_SAM70_180_B		-7,26667	12,3756
Rsm_SAM70_0_C - Rsm_SAM70_180_C		6,83333	12,3756
Rsm_SAM70_180_A - Rsm_SAM70_180_B		-2,2	12,3756
Rsm_SAM70_180_A - Rsm_SAM70_180_C		11,9	12,3756
Rsm_SAM70_180_B - Rsm_SAM70_180_C	*	14,1	12,3756

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C13. DC70 – Ra

Quadro C.49 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Ra) para um C.P. na condição de ensaio DC70.

	N	Ra Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Ra Mín.	Ra Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Ra_DC70_0_A	3	1,154	0,234	20,2795%	0,922	1,390	0,468	0,05437	
Ra_DC70_0_B	3	1,217	0,176	14,4324%	1,050	1,400	0,350	0,29930	
Ra_DC70_0_C	3	0,882	0,044	5,00777%	0,836	0,924	0,088	-0,33232	
Ra_DC70_180_A	3	1,020	0,191	18,7047%	0,820	1,200	0,380	-0,32990	
Ra_DC70_180_B	3	1,133	0,097	8,56988%	1,050	1,240	0,190	0,72032	
Ra_DC70_180_C	3	1,180	0,130	11,0169%	1,100	1,330	0,230	1,21660	
Total	18	1,098	0,177	16,1445%	0,820	1,400	0,580	0,21628	-0,64910

Quadro C.50 – Resultado da ANOVA das medidas de Ra para um C.P. que foi submetido a condição DC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	0,233358	5	0,0466715	1,86	0,1749
Intra grupos	0,300574	12	0,0250478		
Total (Corr.)	0,533932	17			

Quadro C.51 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Ra para um C.P. na condição de ensaio DC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Ra_DC70_0_C	3	0,882333	X
Ra_DC70_180_A	3	1,02	XX
Ra_DC70_180_B	3	1,13333	XX
Ra_DC70_0_A	3	1,154	XX
Ra_DC70_180_C	3	1,18	X
Ra_DC70_0_B	3	1,21667	X

Quadro C.52 – Comparação das séries de rugosidade superficial Ra, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Ra_DC70_0_A - Ra_DC70_0_B		-0,0626667	0,281553
Ra_DC70_0_A - Ra_DC70_0_C		0,271667	0,281553
Ra_DC70_0_A - Ra_DC70_180_A		0,134	0,281553
Ra_DC70_0_A - Ra_DC70_180_B		0,0206667	0,281553
Ra_DC70_0_A - Ra_DC70_180_C		-0,026	0,281553
Ra_DC70_0_B - Ra_DC70_0_C	*	0,334333	0,281553
Ra_DC70_0_B - Ra_DC70_180_A		0,196667	0,281553
Ra_DC70_0_B - Ra_DC70_180_B		0,0833333	0,281553
Ra_DC70_0_B - Ra_DC70_180_C		0,0366667	0,281553
Ra_DC70_0_C - Ra_DC70_180_A		-0,137667	0,281553
Ra_DC70_0_C - Ra_DC70_180_B		-0,251	0,281553
Ra_DC70_0_C - Ra_DC70_180_C	*	-0,297667	0,281553
Ra_DC70_180_A - Ra_DC70_180_B		-0,113333	0,281553
Ra_DC70_180_A - Ra_DC70_180_C		-0,16	0,281553
Ra_DC70_180_B - Ra_DC70_180_C		-0,0466667	0,281553

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C14. DC70 – Rq

Quadro C.53 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rq) para um C.P. na condição de ensaio DC70.

	N	Rq Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Rq Mín.	Rq Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Rq_DC70_0_A	3	1,513	0,312	20,6262%	1,17	1,78	0,61	-0,73439	
Rq_DC70_0_B	3	1,597	0,260	16,3%	1,33	1,85	0,52	-0,16259	
Rq_DC70_0_C	3	1,177	0,095	8,03255%	1,07	1,25	0,18	-0,98262	
Rq_DC70_180_A	3	1,297	0,222	17,112%	1,06	1,50	0,44	-0,46723	
Rq_DC70_180_B	3	1,450	0,165	11,395%	1,34	1,64	0,30	1,17948	
Rq_DC70_180_C	3	1,503	0,188	12,5213%	1,38	1,72	0,34	1,18984	
Total	18	1,423	0,235	16,5147%	1,06	1,85	0,79	0,41337	-0,70613

Quadro C.54 – Resultado da ANOVA das medidas de Rq para um C.P. que foi submetido a condição DC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	0,366428	5	0,0732856	1,54	0,2505
Intra grupos	0,572133	12	0,0476778		
Total (Corr.)	0,938561	17			

Quadro C.55 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rq para um C.P. na condição de ensaio DC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Rq_DC70_0_C	3	1,17667	X
Rq_DC70_180_A	3	1,29667	XX
Rq_DC70_180_B	3	1,45000	XX
Rq_DC70_180_C	3	1,50333	XX
Rq_DC70_0_A	3	1,51333	XX
Rq_DC70_0_B	3	1,59667	X

Quadro C.56 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rq, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rq_DC70_0_A - Rq_DC70_0_B		-0,0833333	0,388448
Rq_DC70_0_A - Rq_DC70_0_C		0,336667	0,388448
Rq_DC70_0_A - Rq_DC70_180_A		0,216667	0,388448
Rq_DC70_0_A - Rq_DC70_180_B		0,0633333	0,388448
Rq_DC70_0_A - Rq_DC70_180_C		0,01	0,388448
Rq_DC70_0_B - Rq_DC70_0_C	*	0,42	0,388448
Rq_DC70_0_B - Rq_DC70_180_A		0,3	0,388448
Rq_DC70_0_B - Rq_DC70_180_B		0,146667	0,388448
Rq_DC70_0_B - Rq_DC70_180_C		0,0933333	0,388448
Rq_DC70_0_C - Rq_DC70_180_A		-0,12	0,388448
Rq_DC70_0_C - Rq_DC70_180_B		-0,273333	0,388448
Rq_DC70_0_C - Rq_DC70_180_C		-0,326667	0,388448
Rq_DC70_180_A - Rq_DC70_180_B		-0,153333	0,388448
Rq_DC70_180_A - Rq_DC70_180_C		-0,206667	0,388448
Rq_DC70_180_B - Rq_DC70_180_C		-0,0533333	0,388448

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C15. DC70 – Rz

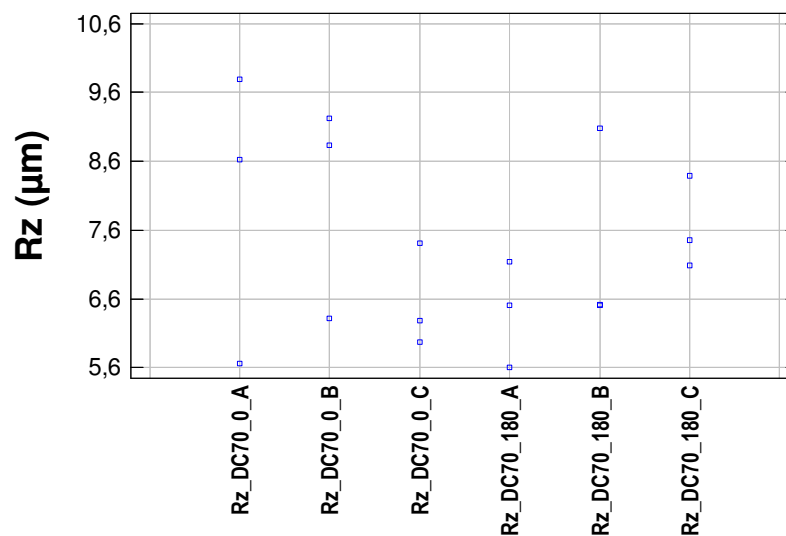
Quadro C.57 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rz) para um C.P. na condição de ensaio DC70.

	N	Rz Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Rz Min.	Rz Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Rz_DC70_0_A	3	8,023	2,129	26,531%	5,66	9,79	4,13	-0,82183	
Rz_DC70_0_B	3	8,130	1,580	19,4291%	6,32	9,23	2,91	-1,14129	
Rz_DC70_0_C	3	6,553	0,758	11,5653%	5,97	7,41	1,44	0,99830	
Rz_DC70_180_A	3	6,417	0,774	12,0659%	5,6	7,14	1,54	-0,37801	
Rz_DC70_180_B	3	7,370	1,481	20,0938%	6,51	9,08	2,57	1,22468	
Rz_DC70_180_C	3	7,643	0,671	8,78174%	7,09	8,39	1,30	0,84048	
Total	18	7,356	1,321	17,9528%	5,6	9,79	4,19	0,76498	-0,97372

Quadro C.58 – Resultado da ANOVA das medidas de Rz para um C.P. que foi submetido a condição DC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	7,96136	5	1,59227	0,88	0,5226
Intra grupos	21,6877	12	1,80731		
Total (Corr.)	29,649	17			

Dispersão das Medidas de Rz



(a)

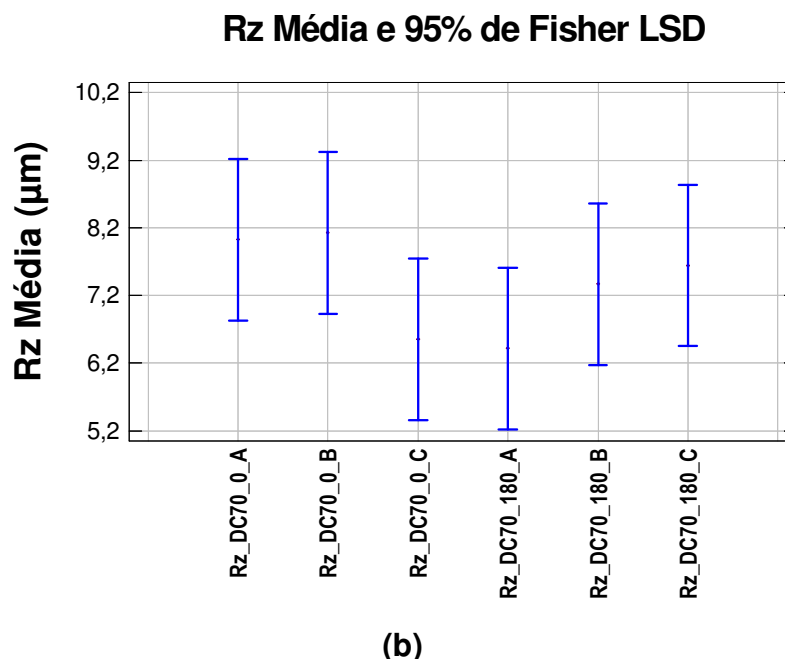


Figura C.3 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas rugosidade superficial Rz para um C.P. sob a condição DC70.

Quadro C.59 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rz para um C.P. na condição de ensaio DC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Rz_DC70_180_A	3	6,41667	X
Rz_DC70_0_C	3	6,55333	X
Rz_DC70_180_B	3	7,37000	X
Rz_DC70_180_C	3	7,64333	X
Rz_DC70_0_A	3	8,02333	X
Rz_DC70_0_B	3	8,13000	X

Quadro C.60 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rz, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rz_DC70_0_A - Rz_DC70_0_B		-0,106667	2,39161
Rz_DC70_0_A - Rz_DC70_0_C		1,47	2,39161
Rz_DC70_0_A - Rz_DC70_180_A		1,60667	2,39161
Rz_DC70_0_A - Rz_DC70_180_B		0,653333	2,39161
Rz_DC70_0_A - Rz_DC70_180_C		0,38	2,39161
Rz_DC70_0_B - Rz_DC70_0_C		1,57667	2,39161
Rz_DC70_0_B - Rz_DC70_180_A		1,71333	2,39161
Rz_DC70_0_B - Rz_DC70_180_B		0,76	2,39161
Rz_DC70_0_B - Rz_DC70_180_C		0,486667	2,39161
Rz_DC70_0_C - Rz_DC70_180_A		0,136667	2,39161
Rz_DC70_0_C - Rz_DC70_180_B		-0,816667	2,39161
Rz_DC70_0_C - Rz_DC70_180_C		-1,09	2,39161
Rz_DC70_180_A - Rz_DC70_180_B		-0,953333	2,39161
Rz_DC70_180_A - Rz_DC70_180_C		-1,22667	2,39161
Rz_DC70_180_B - Rz_DC70_180_C		-0,273333	2,39161

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C16. DC70 – Rsm

Quadro C.61 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rsm) para um C.P. na condição de ensaio DC70.

	N	Rsm Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Rsm Mín.	Rsm Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Rsm_DC70_0_A	3	71,667	9,717	13,5581%	60,6	78,8	18,2	-1,07700	
Rsm_DC70_0_B	3	78,433	11,154	14,2211%	66,7	88,9	22,2	-0,35669	
Rsm_DC70_0_C	3	59,000	1,212	2,05498%	57,9	60,3	2,4	0,51061	
Rsm_DC70_180_A	3	80,067	11,773	14,7040%	66,5	87,6	21,1	-1,20242	
Rsm_DC70_180_B	3	78,233	16,502	21,0928%	61,6	94,6	33,0	-0,05141	
Rsm_DC70_180_C	3	69,333	4,989	7,19614%	65,6	75,0	9,4	1,04786	
Total	18	72,789	11,544	15,8600%	57,9	94,6	36,7	0,65056	-0,94632

Quadro C.62 – Resultado da ANOVA das medidas de Rsm para um C.P. que foi submetido a condição DC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	953,404	5	190,681	1,74	0,1992
Intra grupos	1312,19	12	109,349		
Total (Corr.)	2265,6	17			

Quadro C.63 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rsm para um C.P. na condição de ensaio DC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Rsm_DC70_0_C	3	59,0	X
Rsm_DC70_180_C	3	69,3333	XX
Rsm_DC70_0_A	3	71,6667	XX
Rsm_DC70_180_B	3	78,2333	X
Rsm_DC70_0_B	3	78,4333	X
Rsm_DC70_180_A	3	80,0667	X

Quadro C.64 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rsm, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rsm_DC70_0_A - Rsm_DC70_0_B		-6,76667	18,603
Rsm_DC70_0_A - Rsm_DC70_0_C		12,6667	18,603
Rsm_DC70_0_A - Rsm_DC70_180_A		-8,4	18,603
Rsm_DC70_0_A - Rsm_DC70_180_B		-6,56667	18,603
Rsm_DC70_0_A - Rsm_DC70_180_C		2,33333	18,603
Rsm_DC70_0_B - Rsm_DC70_0_C	*	19,4333	18,603
Rsm_DC70_0_B - Rsm_DC70_180_A		-1,63333	18,603
Rsm_DC70_0_B - Rsm_DC70_180_B		0,2	18,603
Rsm_DC70_0_B - Rsm_DC70_180_C		9,1	18,603
Rsm_DC70_0_C - Rsm_DC70_180_A	*	-21,0667	18,603
Rsm_DC70_0_C - Rsm_DC70_180_B	*	-19,2333	18,603
Rsm_DC70_0_C - Rsm_DC70_180_C		-10,3333	18,603
Rsm_DC70_180_A - Rsm_DC70_180_B		1,83333	18,603
Rsm_DC70_180_A - Rsm_DC70_180_C		10,7333	18,603
Rsm_DC70_180_B - Rsm_DC70_180_C		8,9	18,603

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C17. DEC70 – Ra

Quadro C.65 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Ra) para um C.P. na condição de ensaio DEC70.

	N	Ra Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Ra Mín.	Ra Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Ra_DEC70_0_A	3	1,747	0,215	12,3369%	1,54	1,97	0,43	0,24464	
Ra_DEC70_0_B	3	1,823	0,168	9,19908%	1,63	1,93	0,30	-1,20518	
Ra_DEC70_0_C	3	1,457	0,335	22,9986%	1,22	1,84	0,62	1,12606	
Ra_DEC70_180_A	3	1,001	0,141	14,0675%	0,891	1,16	0,27	0,96327	
Ra_DEC70_180_B	3	1,267	0,267	21,0411%	1,07	1,57	0,50	1,06951	
Ra_DEC70_180_C	3	1,423	0,442	31,0832%	1,01	1,89	0,88	0,37801	
Total	18	1,453	0,371	25,5112%	0,891	1,97	1,08	0,00126	-1,3087

Quadro C.66 – Resultado da ANOVA das medidas de Ra para um C.P. que foi submetido a condição DEC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	1,38901	5	0,277802	3,52	0,0344
Intra grupos	0,946818	12	0,0789015		
Total (Corr.)	2,33583	17			

Quadro C.67 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Ra para um C.P. na condição de ensaio DEC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Ra_DEC70_180_A	3	1,00133	X
Ra_DEC70_180_B	3	1,26667	XX
Ra_DEC70_180_C	3	1,42333	XXX
Ra_DEC70_0_C	3	1,45667	XXX
Ra_DEC70_0_A	3	1,74667	XX
Ra_DEC70_0_B	3	1,82333	X

Quadro C.68 – Comparação das séries de rugosidade superficial Ra, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DEC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Ra_DEC70_0_A - Ra_DEC70_0_B		-0,0766667	0,49971
Ra_DEC70_0_A - Ra_DEC70_0_C		0,29	0,49971
Ra_DEC70_0_A - Ra_DEC70_180_A	*	0,745333	0,49971
Ra_DEC70_0_A - Ra_DEC70_180_B		0,48	0,49971
Ra_DEC70_0_A - Ra_DEC70_180_C		0,323333	0,49971
Ra_DEC70_0_B - Ra_DEC70_0_C		0,366667	0,49971
Ra_DEC70_0_B - Ra_DEC70_180_A	*	0,822	0,49971
Ra_DEC70_0_B - Ra_DEC70_180_B	*	0,556667	0,49971
Ra_DEC70_0_B - Ra_DEC70_180_C		0,4	0,49971
Ra_DEC70_0_C - Ra_DEC70_180_A		0,455333	0,49971
Ra_DEC70_0_C - Ra_DEC70_180_B		0,19	0,49971
Ra_DEC70_0_C - Ra_DEC70_180_C		0,0333333	0,49971
Ra_DEC70_180_A - Ra_DEC70_180_B		-0,265333	0,49971
Ra_DEC70_180_A - Ra_DEC70_180_C		-0,422	0,49971
Ra_DEC70_180_B - Ra_DEC70_180_C		-0,156667	0,49971

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C18. DEC70 – Rq

Quadro C.69 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rq) para um C.P. na condição de ensaio DEC70.

	N	Rq Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Rq Mín.	Rq Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Rq_DEC70_0_A	3	2,450	0,262	10,706%	2,21	2,73	0,52	0,47396	
Rq_DEC70_0_B	3	2,580	0,416	16,1168%	2,11	2,9	0,79	-0,99849	
Rq_DEC70_0_C	3	2,020	0,442	21,9%	1,74	2,53	0,79	1,20717	
Rq_DEC70_180_A	3	1,313	0,228	17,3686%	1,11	1,56	0,45	0,58266	
Rq_DEC70_180_B	3	1,740	0,352	20,2132%	1,41	2,11	0,70	0,35721	
Rq_DEC70_180_C	3	2,070	0,750	36,2319%	1,32	2,82	1,50	0,00000	
Total	18	2,029	0,573	28,2537%	1,11	2,9	1,79	0,03108	-1,0779

Quadro C.70 – Resultado da ANOVA das medidas de Rq para um C.P. que foi submetido a condição DEC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	3,23491	5	0,646982	3,30	0,0418
Intra grupos	2,35127	12	0,195939		
Total (Corr.)	5,58618	17			

Quadro C.71 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rq para um C.P. na condição de ensaio DEC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Rq_DEC70_180_A	3	1,31333	X
Rq_DEC70_180_B	3	1,74000	XX
Rq_DEC70_0_C	3	2,02000	XXX
Rq_DEC70_180_C	3	2,07000	XXX
Rq_DEC70_0_A	3	2,45000	XX
Rq_DEC70_0_B	3	2,58000	X

Quadro C.72 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rq, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DEC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rq_DEC70_0_A - Rq_DEC70_0_B		-0,13	0,787473
Rq_DEC70_0_A - Rq_DEC70_0_C		0,43	0,787473
Rq_DEC70_0_A - Rq_DEC70_180_A	*	1,13667	0,787473
Rq_DEC70_0_A - Rq_DEC70_180_B		0,71	0,787473
Rq_DEC70_0_A - Rq_DEC70_180_C		0,38	0,787473
Rq_DEC70_0_B - Rq_DEC70_0_C		0,56	0,787473
Rq_DEC70_0_B - Rq_DEC70_180_A	*	1,26667	0,787473
Rq_DEC70_0_B - Rq_DEC70_180_B	*	0,84	0,787473
Rq_DEC70_0_B - Rq_DEC70_180_C		0,51	0,787473
Rq_DEC70_0_C - Rq_DEC70_180_A		0,706667	0,787473
Rq_DEC70_0_C - Rq_DEC70_180_B		0,28	0,787473
Rq_DEC70_0_C - Rq_DEC70_180_C		-0,05	0,787473
Rq_DEC70_180_A - Rq_DEC70_180_B		-0,426667	0,787473
Rq_DEC70_180_A - Rq_DEC70_180_C		-0,756667	0,787473
Rq_DEC70_180_B - Rq_DEC70_180_C		-0,33	0,787473

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C19. DEC70 – Rz

Quadro C.73 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rz) para um C.P. na condição de ensaio DEC70.

	N	Rz Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Rz Mín.	Rz Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Rz_DEC70_0_A	3	13,267	1,305	9,83757%	11,8	14,3	2,50	-0,94003	
Rz_DEC70_0_B	3	13,640	3,482	25,5263%	9,62	15,7	6,08	-1,22361	
Rz_DEC70_0_C	3	12,067	1,850	15,3334%	10,9	14,2	3,30	1,20867	
Rz_DEC70_180_A	3	7,343	1,596	21,7332%	5,78	8,97	3,19	0,12608	
Rz_DEC70_180_B	3	10,100	1,803	17,8493%	8,1	11,6	3,50	-0,81464	
Rz_DEC70_180_C	3	11,867	4,200	35,3966%	7,7	16,1	8,40	0,05049	
Total	18	11,381	3,099	27,234%	5,78	16,1	10,32	-0,11200	-0,81907

Quadro C.74 – Resultado da ANOVA das medidas de Rz para um C.P. que foi submetido a condição DEC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	81,9256	5	16,3851	2,42	0,0978
Intra grupos	81,3797	12	6,78164		
Total (Corr.)	163,305	17			

Quadro C.75 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rz para um C.P. na condição de ensaio DEC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Rz_DEC70_180_A	3	7,34333	X
Rz_DEC70_180_B	3	10,1000	XX
Rz_DEC70_180_C	3	11,8667	XX
Rz_DEC70_0_C	3	12,0667	X
Rz_DEC70_0_A	3	13,2667	X
Rz_DEC70_0_B	3	13,6400	X

Quadro C.76 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rz, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DEC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rz_DEC70_0_A - Rz_DEC70_0_B		-0,373333	4,63279
Rz_DEC70_0_A - Rz_DEC70_0_C		1,2	4,63279
Rz_DEC70_0_A - Rz_DEC70_180_A	*	5,92333	4,63279
Rz_DEC70_0_A - Rz_DEC70_180_B		3,16667	4,63279
Rz_DEC70_0_A - Rz_DEC70_180_C		1,4	4,63279
Rz_DEC70_0_B - Rz_DEC70_0_C		1,57333	4,63279
Rz_DEC70_0_B - Rz_DEC70_180_A	*	6,29667	4,63279
Rz_DEC70_0_B - Rz_DEC70_180_B		3,54	4,63279
Rz_DEC70_0_B - Rz_DEC70_180_C		1,77333	4,63279
Rz_DEC70_0_C - Rz_DEC70_180_A	*	4,72333	4,63279
Rz_DEC70_0_C - Rz_DEC70_180_B		1,96667	4,63279
Rz_DEC70_0_C - Rz_DEC70_180_C		0,2	4,63279
Rz_DEC70_180_A - Rz_DEC70_180_B		-2,75667	4,63279
Rz_DEC70_180_A - Rz_DEC70_180_C		-4,52333	4,63279
Rz_DEC70_180_B - Rz_DEC70_180_C		-1,76667	4,63279

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

C20. DEC70 – Rsm

Quadro C.77 – Resumo estatístico das medidas de rugosidade superficial (Rsm) para um C.P. na condição de ensaio DEC70.

	N	Rsm Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Rsm Mín.	Rsm Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Rsm_DEC70_0_A	3	101	33,779	33,4442%	81,0	140,0	59,0	1,22354	
Rsm_DEC70_0_B	3	117	12,342	10,519%	107,0	131,0	24,0	0,79669	
Rsm_DEC70_0_C	3	84	10,419	12,3795%	73,4	94,2	20,8	-0,22284	
Rsm_DEC70_180_A	3	63	11,288	17,786%	56,8	76,5	19,7	1,22377	
Rsm_DEC70_180_B	3	71	8,793	12,4022%	63,7	80,7	17,0	0,85860	
Rsm_DEC70_180_C	3	73	15,176	20,8276%	57,2	87,5	30,3	-0,21565	
Total	18	85	24,265	28,562%	56,8	140,0	83,2	1,74265	0,38388

Quadro C.78 – Resultado da ANOVA das medidas de Rsm para um C.P. que foi submetido a condição DEC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	6335,52	5	1267,1	4,14	0,0204
Intra grupos	3673,93	12	306,161		
Total (Corr.)	10009,4	17			

Quadro C.79 – Grupos homogêneos para as medidas de rugosidade superficial Rsm para um C.P. na condição de ensaio DEC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Rsm_DEC70_180_A	3	63,4667	X
Rsm_DEC70_180_B	3	70,9	XX
Rsm_DEC70_180_C	3	72,8667	XX
Rsm_DEC70_0_C	3	84,1667	XX
Rsm_DEC70_0_A	3	101,0	XX
Rsm_DEC70_0_B	3	117,333	X

Quadro C.80 – Comparação das séries de rugosidade superficial Rsm, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de ensaio DEC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Rsm_DEC70_0_A - Rsm_DEC70_0_B		-16,3333	31,1279
Rsm_DEC70_0_A - Rsm_DEC70_0_C		16,8333	31,1279
Rsm_DEC70_0_A - Rsm_DEC70_180_A	*	37,5333	31,1279
Rsm_DEC70_0_A - Rsm_DEC70_180_B		30,1	31,1279
Rsm_DEC70_0_A - Rsm_DEC70_180_C		28,1333	31,1279
Rsm_DEC70_0_B - Rsm_DEC70_0_C	*	33,1667	31,1279
Rsm_DEC70_0_B - Rsm_DEC70_180_A	*	53,8667	31,1279
Rsm_DEC70_0_B - Rsm_DEC70_180_B	*	46,4333	31,1279
Rsm_DEC70_0_B - Rsm_DEC70_180_C	*	44,4667	31,1279
Rsm_DEC70_0_C - Rsm_DEC70_180_A		20,7	31,1279
Rsm_DEC70_0_C - Rsm_DEC70_180_B		13,2667	31,1279
Rsm_DEC70_0_C - Rsm_DEC70_180_C		11,3	31,1279
Rsm_DEC70_180_A - Rsm_DEC70_180_B		-7,43333	31,1279
Rsm_DEC70_180_A - Rsm_DEC70_180_C		-9,4	31,1279
Rsm_DEC70_180_B - Rsm_DEC70_180_C		-1,96667	31,1279

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

**APÊNDICE D – Comparação dos Dados de Ondulação Superficial
(Statgraphics® Centurion XVI)**

D1. C.P. Não Ensaiado – Wa

Quadro D.1 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wa) para um C.P. não ensaiado.

	N	Wa Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wa Mín.	Wa Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wa_NE_0_A	3	0,560	0,178	31,7244%	0,443	0,764	0,321	1,18809	
Wa_NE_0_B	3	0,925	0,582	62,9094%	0,466	1,580	1,114	0,94751	
Wa_NE_0_C	3	0,794	0,154	19,3767%	0,618	0,904	0,286	-1,10783	
Wa_NE_180_A	3	0,449	0,155	34,5679%	0,326	0,623	0,297	0,94238	
Wa_NE_180_B	3	1,633	0,552	33,792%	1,01	2,060	1,050	-0,98985	
Wa_NE_180_C	3	0,924	0,167	18,0208%	0,788	1,110	0,322	0,85974	
Total	18	0,881	0,491	55,7801%	0,326	2,060	1,734	2,22441	0,908464

Quadro D.2 – Resultado da ANOVA das medidas de Wa para um C.P. não ensaiado.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	2,60293	5	0,520586	4,16	0,0200
Intra grupos	1,50095	12	0,125079		
Total (Corr.)	4,10388	17			

Quadro D.3 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wa para um C.P. não ensaiado.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wa_NE_180_A	3	0,448667	X
Wa_NE_0_A	3	0,559667	X
Wa_NE_0_C	3	0,793667	X
Wa_NE_180_C	3	0,924333	X
Wa_NE_0_B	3	0,925333	X
Wa_NE_180_B	3	1,63333	X

Quadro D.4 – Comparação das séries de ondulação superficial Wa, nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wa_NE_0_A - Wa_NE_0_B		-0,365667	0,629169
Wa_NE_0_A - Wa_NE_0_C		-0,234	0,629169
Wa_NE_0_A - Wa_NE_180_A		0,111	0,629169
Wa_NE_0_A - Wa_NE_180_B	*	-1,07367	0,629169
Wa_NE_0_A - Wa_NE_180_C		-0,364667	0,629169
Wa_NE_0_B - Wa_NE_0_C		0,131667	0,629169
Wa_NE_0_B - Wa_NE_180_A		0,476667	0,629169
Wa_NE_0_B - Wa_NE_180_B	*	-0,708	0,629169
Wa_NE_0_B - Wa_NE_180_C		0,001	0,629169
Wa_NE_0_C - Wa_NE_180_A		0,345	0,629169
Wa_NE_0_C - Wa_NE_180_B	*	-0,839667	0,629169
Wa_NE_0_C - Wa_NE_180_C		-0,130667	0,629169
Wa_NE_180_A - Wa_NE_180_B	*	-1,18467	0,629169
Wa_NE_180_A - Wa_NE_180_C		-0,475667	0,629169
Wa_NE_180_B - Wa_NE_180_C	*	0,709	0,629169

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D2. C.P. Não Ensaiado – Wq

Quadro D.5 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wq) para um C.P. não ensaiado.

	N	Wq Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wq Mín.	Wq Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wq_NE_0_A	3	0,605	0,203	33,5594%	0,466	0,838	0,372	1,15741	
Wq_NE_0_B	3	0,985	0,614	62,3388%	0,514	1,680	1,166	1,00399	
Wq_NE_0_C	3	0,849	0,158	18,6436%	0,666	0,943	0,277	-1,22276	
Wq_NE_180_A	3	0,497	0,173	34,9064%	0,345	0,686	0,341	0,64777	
Wq_NE_180_B	3	1,767	0,655	37,0499%	1,040	2,310	1,270	-0,82133	
Wq_NE_180_C	3	1,003	0,173	17,2702%	0,834	1,180	0,346	0,15886	
Total	18	0,951	0,536	56,3481%	0,345	2,310	1,965	2,40945	1,30092

Quadro D.6 – Resultado da ANOVA das medidas de Wq para um C.P. não ensaiado.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	3,01639	5	0,603279	3,88	0,0252
Intra grupos	1,86414	12	0,155345		
Total (Corr.)	4,88053	17			

Quadro D.7 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wq para um C.P. não ensaiado.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wq_NE_180_A	3	0,497	X
Wq_NE_0_A	3	0,605	X
Wq_NE_0_C	3	0,848667	X
Wq_NE_0_B	3	0,985333	X
Wq_NE_180_C	3	1,00267	X
Wq_NE_180_B	3	1,76667	X

Quadro D.8 – Comparação das séries de ondulação superficial Wq, nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wq_NE_0_A - Wq_NE_0_B		-0,380333	0,701171
Wq_NE_0_A - Wq_NE_0_C		-0,243667	0,701171
Wq_NE_0_A - Wq_NE_180_A		0,108	0,701171
Wq_NE_0_A - Wq_NE_180_B	*	-1,16167	0,701171
Wq_NE_0_A - Wq_NE_180_C		-0,397667	0,701171
Wq_NE_0_B - Wq_NE_0_C		0,136667	0,701171
Wq_NE_0_B - Wq_NE_180_A		0,488333	0,701171
Wq_NE_0_B - Wq_NE_180_B	*	-0,781333	0,701171
Wq_NE_0_B - Wq_NE_180_C		-0,0173333	0,701171
Wq_NE_0_C - Wq_NE_180_A		0,351667	0,701171
Wq_NE_0_C - Wq_NE_180_B	*	-0,918	0,701171
Wq_NE_0_C - Wq_NE_180_C		-0,154	0,701171
Wq_NE_180_A - Wq_NE_180_B	*	-1,26967	0,701171
Wq_NE_180_A - Wq_NE_180_C		-0,505667	0,701171
Wq_NE_180_B - Wq_NE_180_C	*	0,764	0,701171

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D3. C.P. Não Ensaiado – Wz

Quadro D.9 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wz) para um C.P. não ensaiado.

	N	Wz Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wz Mín.	Wz Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wz_NE_0_A	3	0,824	0,348	42,2425%	0,533	1,21	0,677	0,7987	
Wz_NE_0_B	3	1,329	0,912	68,6535%	0,740	2,38	1,640	1,1981	
Wz_NE_0_C	3	1,253	0,389	31,0282%	0,900	1,67	0,770	0,5045	
Wz_NE_180_A	3	0,752	0,232	30,7848%	0,520	0,98	0,463	-0,0137	
Wz_NE_180_B	3	2,236	1,151	51,476%	0,907	2,92	2,013	-1,2231	
Wz_NE_180_C	3	1,324	0,331	25,008%	0,943	1,54	0,597	-1,1934	
Total	18	1,286	0,744	57,7996%	0,520	2,92	2,400	2,2789	0,684761

Quadro D.10 – Resultado da ANOVA das medidas de Wz para um C.P. não ensaiado.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	4,21363	5	0,842726	1,95	0,1592
Intra grupos	5,18534	12	0,432111		
Total (Corr.)	9,39897	17			

Quadro D.11 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wz para um C.P. não ensaiado.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wz_NE_180_A	3	0,752	X
Wz_NE_0_A	3	0,824333	X
Wz_NE_0_C	3	1,25333	XX
Wz_NE_180_C	3	1,32433	XX
Wz_NE_0_B	3	1,329	XX
Wz_NE_180_B	3	2,23567	X

Quadro D.12 – Comparação das séries de ondulação superficial Wz, nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wz_NE_0_A - Wz_NE_0_B		-0,504667	1,16943
Wz_NE_0_A - Wz_NE_0_C		-0,429	1,16943
Wz_NE_0_A - Wz_NE_180_A		0,0723333	1,16943
Wz_NE_0_A - Wz_NE_180_B	*	-1,41133	1,16943
Wz_NE_0_A - Wz_NE_180_C		-0,5	1,16943
Wz_NE_0_B - Wz_NE_0_C		0,0756667	1,16943
Wz_NE_0_B - Wz_NE_180_A		0,577	1,16943
Wz_NE_0_B - Wz_NE_180_B		-0,906667	1,16943
Wz_NE_0_B - Wz_NE_180_C		0,00466667	1,16943
Wz_NE_0_C - Wz_NE_180_A		0,501333	1,16943
Wz_NE_0_C - Wz_NE_180_B		-0,982333	1,16943
Wz_NE_0_C - Wz_NE_180_C		-0,071	1,16943
Wz_NE_180_A - Wz_NE_180_B	*	-1,48367	1,16943
Wz_NE_180_A - Wz_NE_180_C		-0,572333	1,16943
Wz_NE_180_B - Wz_NE_180_C		0,911333	1,16943

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D4. C.P. Não Ensaiado – Wsm

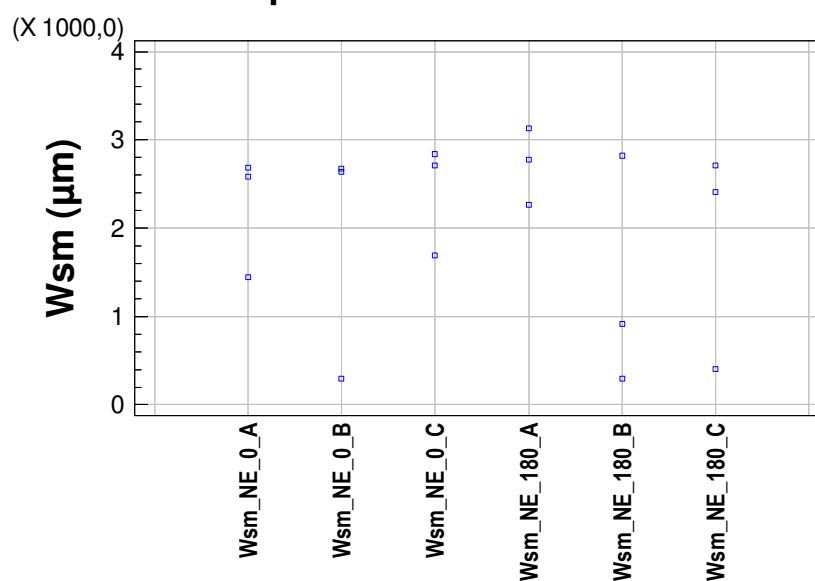
Quadro D.13 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wsm) para um C.P. não ensaiado.

	N	Wsm Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wsm Mín.	Wsm Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wsm_NE_0_A	3	2238	689	30,779%	1445,0	2686,0	1241,0	-1,19461	
Wsm_NE_0_B	3	1867	1362	72,9251%	295,0	2671,0	2376,0	-1,22378	
Wsm_NE_0_C	3	2412	631	26,1536%	1688,0	2842,0	1154,0	-1,16196	
Wsm_NE_180_A	3	2725	437	16,0273%	2265,0	3134,0	869,0	-0,37112	
Wsm_NE_180_B	3	1344	1313	97,7399%	296,0	2817,0	2521,0	0,92300	
Wsm_NE_180_C	3	1845	1253	67,9061%	409,0	2715,0	2306,0	-1,14357	
Total	18	2072	970	46,8323%	295,0	3134,0	2839,0	-1,74422	-0,46873

Quadro D.14 – Resultado da ANOVA das medidas de Wsm para um C.P. não ensaiado.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	3,58354E6	5	716708,	0,69	0,6390
Intra grupos	1,24221E7	12	1,03518E6		
Total (Corr.)	1,60056E7	17			

Dispersão das Medidas de Wsm



(a)

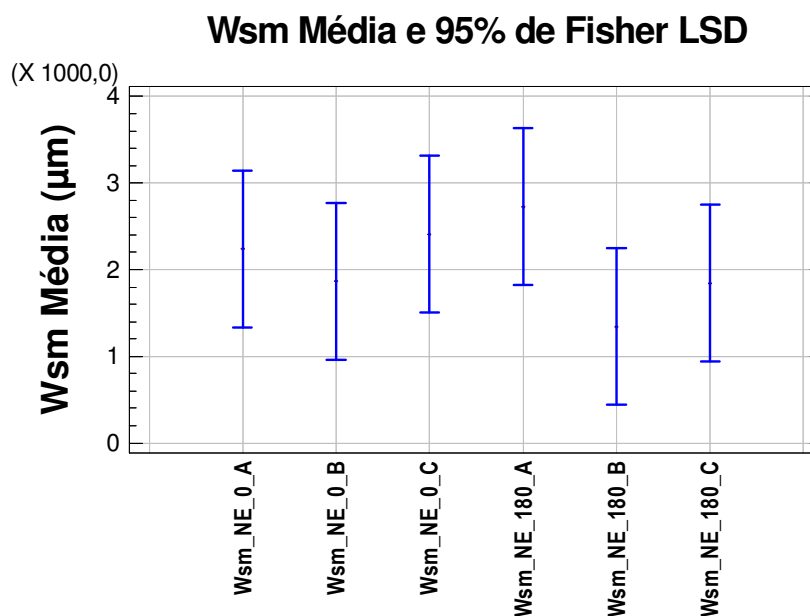


Figura D.1 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas ondulação superficial Wsm para um C.P. não ensaiado.

Quadro D.15 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wsm para um C.P. não ensaiado.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wsm_NE_180_B	3	1343,67	X
Wsm_NE_180_C	3	1844,67	X
Wsm_NE_0_B	3	1867,0	X
Wsm_NE_0_A	3	2238,33	X
Wsm_NE_0_C	3	2412,33	X
Wsm_NE_180_A	3	2725,33	X

Quadro D.16 – Comparação das séries de ondulação superficial Wsm, nas zonas A, B, C do C.P. não ensaiado.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wsm_NE_0_A - Wsm_NE_0_B		371,333	1810,02
Wsm_NE_0_A - Wsm_NE_0_C		-174,0	1810,02
Wsm_NE_0_A - Wsm_NE_180_A		-487,0	1810,02
Wsm_NE_0_A - Wsm_NE_180_B		894,667	1810,02
Wsm_NE_0_A - Wsm_NE_180_C		393,667	1810,02
Wsm_NE_0_B - Wsm_NE_0_C		-545,333	1810,02
Wsm_NE_0_B - Wsm_NE_180_A		-858,333	1810,02
Wsm_NE_0_B - Wsm_NE_180_B		523,333	1810,02
Wsm_NE_0_B - Wsm_NE_180_C		22,3333	1810,02
Wsm_NE_0_C - Wsm_NE_180_A		-313,0	1810,02
Wsm_NE_0_C - Wsm_NE_180_B		1068,67	1810,02
Wsm_NE_0_C - Wsm_NE_180_C		567,667	1810,02
Wsm_NE_180_A - Wsm_NE_180_B		1381,67	1810,02
Wsm_NE_180_A - Wsm_NE_180_C		880,667	1810,02
Wsm_NE_180_B - Wsm_NE_180_C		-501,0	1810,02

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D5. SAM30 – Wa

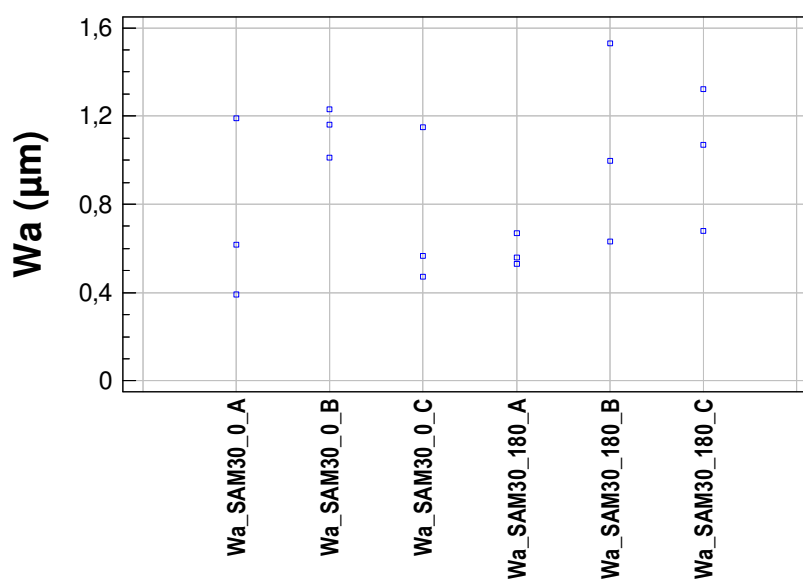
Quadro D.17 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wa) para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

	N	Wa Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wa Mín.	Wa Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wa_SAM30_0_A	3	0,733	0,411	56,1326%	0,392	1,19	0,798	0,82579	
Wa_SAM30_0_B	3	1,133	0,112	9,91748%	1,010	1,23	0,220	-0,71244	
Wa_SAM30_0_C	3	0,730	0,367	50,1871%	0,473	1,15	0,677	1,13284	
Wa_SAM30_180_A	3	0,586	0,074	12,5859%	0,529	0,67	0,140	1,00049	
Wa_SAM30_180_B	3	1,054	0,451	42,7725%	0,634	1,53	0,896	0,39376	
Wa_SAM30_180_C	3	1,023	0,323	31,5188%	0,680	1,32	0,640	-0,45074	
Total	18	0,877	0,342	39,072%	0,392	1,53	1,138	0,46957	-1,0864

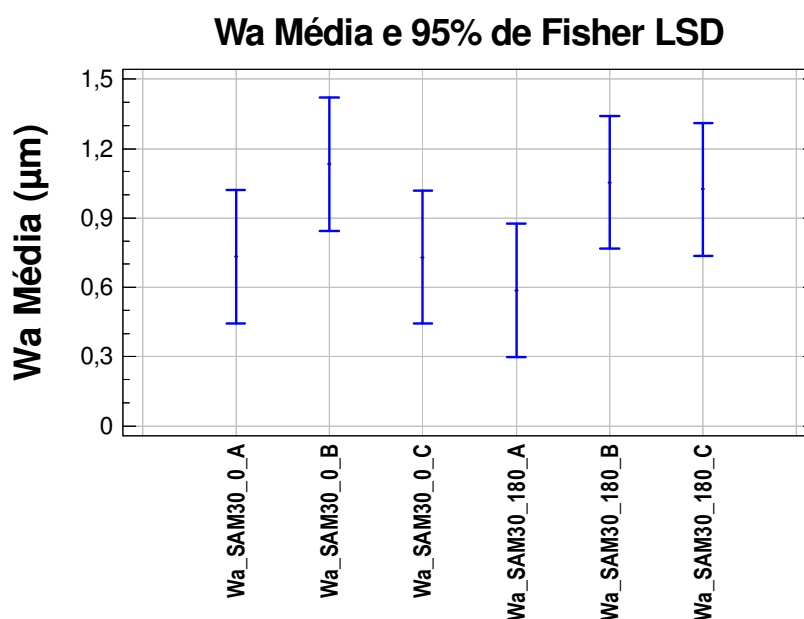
Quadro D.18 – Resultado da ANOVA das medidas de Wa para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	0,736357	5	0,147271	1,41	0,2904
Intra grupos	1,2577	12	0,104809		
Total (Corr.)	1,99406	17			

Dispersão das Medidas de Wa



(a)



(b)

Figura D.2 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wa para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

Quadro D.19 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wa para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wa SAM30 180 A	3	0,585667	X
Wa SAM30 0 C	3	0,730333	X
Wa SAM30 0 A	3	0,733	X
Wa SAM30 180 C	3	1,02333	X
Wa SAM30 180 B	3	1,05367	X
Wa SAM30 0 B	3	1,13333	X

Quadro D.20 – Comparação das séries de ondulação superficial Wa, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM30.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wa_SAM30_0_A - Wa_SAM30_0_B		-0,400333	0,575935
Wa_SAM30_0_A - Wa_SAM30_0_C		0,00266667	0,575935
Wa_SAM30_0_A - Wa_SAM30_180_A		0,147333	0,575935
Wa_SAM30_0_A - Wa_SAM30_180_B		-0,320667	0,575935
Wa_SAM30_0_A - Wa_SAM30_180_C		-0,290333	0,575935
Wa_SAM30_0_B - Wa_SAM30_0_C		0,403	0,575935
Wa_SAM30_0_B - Wa_SAM30_180_A		0,547667	0,575935
Wa_SAM30_0_B - Wa_SAM30_180_B		0,0796667	0,575935
Wa_SAM30_0_B - Wa_SAM30_180_C		0,11	0,575935
Wa_SAM30_0_C - Wa_SAM30_180_A		0,144667	0,575935
Wa_SAM30_0_C - Wa_SAM30_180_B		-0,323333	0,575935
Wa_SAM30_0_C - Wa_SAM30_180_C		-0,293	0,575935
Wa_SAM30_180_A - Wa_SAM30_180_B		-0,468	0,575935
Wa_SAM30_180_A - Wa_SAM30_180_C		-0,437667	0,575935
Wa_SAM30_180_B - Wa_SAM30_180_C		0,0303333	0,575935

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D6. SAM30 – Wq

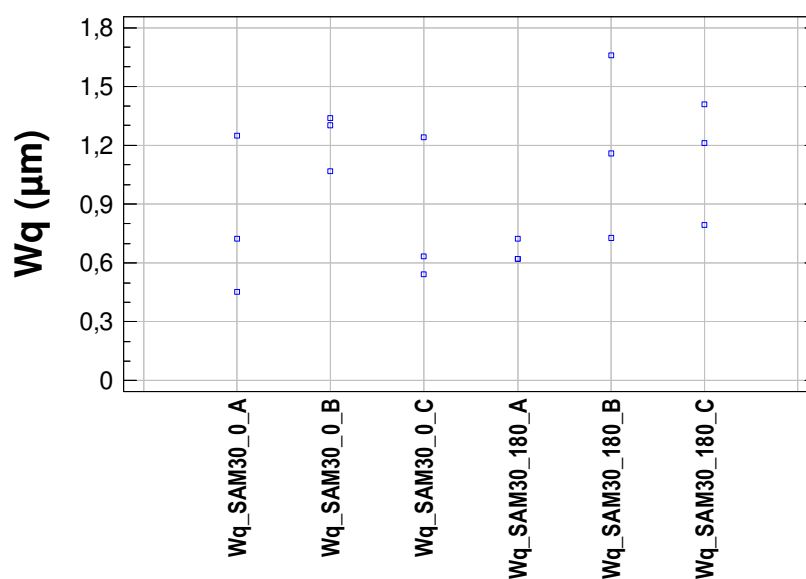
Quadro D.21 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wq) para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

	N	Wq Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wq Mín.	Wq Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wq_SAM30_0_A	3	0,809	0,405	50,0505%	0,454	1,25	0,796	0,64535	
Wq_SAM30_0_B	3	1,237	0,146	11,783%	1,070	1,34	0,270	-1,12174	
Wq_SAM30_0_C	3	0,805	0,379	47,0607%	0,544	1,24	0,696	1,15088	
Wq_SAM30_180_A	3	0,655	0,059	9,03979%	0,620	0,72	0,103	1,22435	
Wq_SAM30_180_B	3	1,183	0,466	39,3851%	0,729	1,66	0,931	0,15669	
Wq_SAM30_180_C	3	1,137	0,315	27,7265%	0,792	1,41	0,618	-0,69431	
Total	18	0,971	0,359	36,9516%	0,454	1,66	1,206	0,41829	-1,0752

Quadro D.22 – Resultado da ANOVA das medidas de Wq para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	0,890837	5	0,178167	1,65	0,2216
Intra grupos	1,2977	12	0,108142		
Total (Corr.)	2,18854	17			

Dispersão das Medidas de Wq



(a)

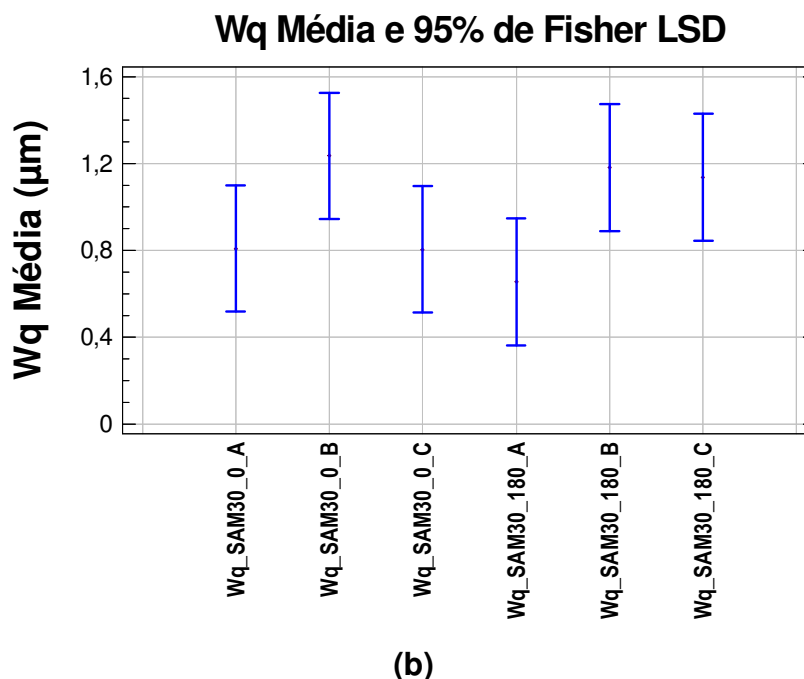


Figura D.3 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial W_q para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

Quadro D.23 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial W_q para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wq_SAM30_180_A	3	0,654667	X
Wq_SAM30_0_C	3	0,805333	X
Wq_SAM30_0_A	3	0,809	X
Wq_SAM30_180_C	3	1,13733	X
Wq_SAM30_180_B	3	1,183	X
Wq_SAM30_0_B	3	1,23667	X

Quadro D.24 – Comparação das séries de ondulação superficial W_q , nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM30.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wq_SAM30_0_A - Wq_SAM30_0_B		-0,427667	0,585023
Wq_SAM30_0_A - Wq_SAM30_0_C		0,00366667	0,585023
Wq_SAM30_0_A - Wq_SAM30_180_A		0,154333	0,585023
Wq_SAM30_0_A - Wq_SAM30_180_B		-0,374	0,585023
Wq_SAM30_0_A - Wq_SAM30_180_C		-0,328333	0,585023
Wq_SAM30_0_B - Wq_SAM30_0_C		0,431333	0,585023
Wq_SAM30_0_B - Wq_SAM30_180_A		0,582	0,585023
Wq_SAM30_0_B - Wq_SAM30_180_B		0,0536667	0,585023
Wq_SAM30_0_B - Wq_SAM30_180_C		0,0933333	0,585023
Wq_SAM30_0_C - Wq_SAM30_180_A		0,150667	0,585023
Wq_SAM30_0_C - Wq_SAM30_180_B		-0,377667	0,585023
Wq_SAM30_0_C - Wq_SAM30_180_C		-0,332	0,585023
Wq_SAM30_180_A - Wq_SAM30_180_B		-0,528333	0,585023
Wq_SAM30_180_A - Wq_SAM30_180_C		-0,482667	0,585023
Wq_SAM30_180_B - Wq_SAM30_180_C		0,0456667	0,585023

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D7. SAM30 – Wz

Quadro D.25 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wz) para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

	N	Wz Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wz Mín.	Wz Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wz SAM30_0_A	3	1,240	0,095	7,69306%	1,15	1,34	0,19	0,32990	
Wz SAM30_0_B	3	1,820	0,484	26,6186%	1,29	2,24	0,95	-0,68525	
Wz SAM30_0_C	3	1,440	0,373	25,9187%	1,01	1,68	0,67	-1,20006	
Wz SAM30_180_A	3	1,233	0,318	25,7722%	0,87	1,46	0,59	-1,11521	
Wz SAM30_180_B	3	2,257	0,676	29,9445%	1,60	2,95	1,35	0,17215	
Wz SAM30_180_C	3	2,047	0,631	30,8102%	1,32	2,45	1,13	-1,20261	
Total	18	1,673	0,568	33,9653%	0,87	2,95	2,08	1,27644	-0,17408

Quadro D.26 – Resultado da ANOVA das medidas de Wz para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	2,81096	5	0,562192	2,52	0,0880
Intra grupos	2,6768	12	0,223067		
Total (Corr.)	5,48776	17			

Quadro D.27 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wz para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wz SAM30_180_A	3	1,23333	X
Wz SAM30_0_A	3	1,24	X
Wz SAM30_0_C	3	1,44	XX
Wz SAM30_0_B	3	1,82	XX
Wz SAM30_180_C	3	2,04667	XX
Wz SAM30_180_B	3	2,25667	X

Quadro D.28 – Comparação das séries de ondulação superficial Wz, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM30.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wz SAM30_0_A - Wz SAM30_0_B		-0,58	0,840219
Wz SAM30_0_A - Wz SAM30_0_C		-0,2	0,840219
Wz SAM30_0_A - Wz SAM30_180_A		0,0066667	0,840219
Wz SAM30_0_A - Wz SAM30_180_B	*	-1,01667	0,840219
Wz SAM30_0_A - Wz SAM30_180_C		-0,806667	0,840219
Wz SAM30_0_B - Wz SAM30_0_C		0,38	0,840219
Wz SAM30_0_B - Wz SAM30_180_A		0,586667	0,840219
Wz SAM30_0_B - Wz SAM30_180_B		-0,436667	0,840219
Wz SAM30_0_B - Wz SAM30_180_C		-0,226667	0,840219
Wz SAM30_0_C - Wz SAM30_180_A		0,206667	0,840219
Wz SAM30_0_C - Wz SAM30_180_B		-0,816667	0,840219
Wz SAM30_0_C - Wz SAM30_180_C		-0,606667	0,840219
Wz SAM30_180_A - Wz SAM30_180_B	*	-1,02333	0,840219
Wz SAM30_180_A - Wz SAM30_180_C		-0,813333	0,840219
Wz SAM30_180_B - Wz SAM30_180_C		0,21	0,840219

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D8. SAM30 – Wsm

Quadro D.29 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wsm) para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

	N	Wsm Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wsm Mín.	Wsm Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wsm_SAM30_0_A	3	870	160	18,3674%	717,0	1036,0	319,0	0,24404	
Wsm_SAM30_0_B	3	2395	537	22,4001%	1792,0	2819,0	1027,0	-0,94602	
Wsm_SAM30_0_C	3	1912	834	43,616%	1394,0	2874,0	1480,0	1,21390	
Wsm_SAM30_180_A	3	1577	1043	66,1523%	848,0	2772,0	1924,0	1,13776	
Wsm_SAM30_180_B	3	1490	928	62,2867%	913,0	2560,0	1647,0	1,21373	
Wsm_SAM30_180_C	3	2334	464	19,9002%	1973,0	2858,0	885,0	0,97915	
Total	18	1763	816	46,2648%	717,0	2874,0	2157,0	0,32773	-1,4833

Quadro D.30 – Resultado da ANOVA das medidas de Wsm para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	4,96274E6	5	992549,	1,88	0,1724
Intra grupos	6,34775E6	12	528979,		
Total (Corr.)	1,13105E7	17			

Quadro D.31 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wsm para um C.P. na condição de desgaste SAM30.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wsm_SAM30_0_A	3	870,333	X
Wsm_SAM30_180_B	3	1489,67	XX
Wsm_SAM30_180_A	3	1577,0	XX
Wsm_SAM30_0_C	3	1912,0	XX
Wsm_SAM30_180_C	3	2334,0	X
Wsm_SAM30_0_B	3	2395,33	X

Quadro D.32 – Comparação das séries de ondulação superficial Wsm, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM30.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wsm_SAM30_0_A - Wsm_SAM30_0_B	*	-1525,0	1293,88
Wsm_SAM30_0_A - Wsm_SAM30_0_C		-1041,67	1293,88
Wsm_SAM30_0_A - Wsm_SAM30_180_A		-706,667	1293,88
Wsm_SAM30_0_A - Wsm_SAM30_180_B		-619,333	1293,88
Wsm_SAM30_0_A - Wsm_SAM30_180_C	*	-1463,67	1293,88
Wsm_SAM30_0_B - Wsm_SAM30_0_C		483,333	1293,88
Wsm_SAM30_0_B - Wsm_SAM30_180_A		818,333	1293,88
Wsm_SAM30_0_B - Wsm_SAM30_180_B		905,667	1293,88
Wsm_SAM30_0_B - Wsm_SAM30_180_C		61,3333	1293,88
Wsm_SAM30_0_C - Wsm_SAM30_180_A		335,0	1293,88
Wsm_SAM30_0_C - Wsm_SAM30_180_B		422,333	1293,88
Wsm_SAM30_0_C - Wsm_SAM30_180_C		-422,0	1293,88
Wsm_SAM30_180_A - Wsm_SAM30_180_B		87,3333	1293,88
Wsm_SAM30_180_A - Wsm_SAM30_180_C		-757,0	1293,88
Wsm_SAM30_180_B - Wsm_SAM30_180_C		-844,333	1293,88

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D9. SAM70 – Wa

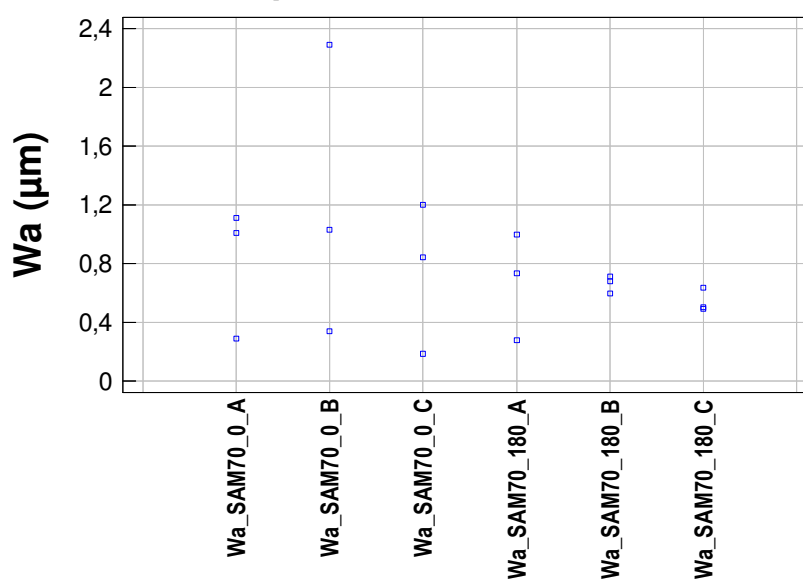
Quadro D.33 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wa) para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

	N	Wa Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wa Mín.	Wa Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wa_SAM70_0_A	3	0,803	0,447	55,6883%	0,290	1,110	0,820	-1,15626	
Wa_SAM70_0_B	3	1,221	0,987	80,8725%	0,343	2,290	1,947	0,59245	
Wa_SAM70_0_C	3	0,745	0,512	68,7571%	0,190	1,200	1,010	-0,60093	
Wa_SAM70_180_A	3	0,672	0,363	54,0154%	0,281	0,998	0,717	-0,54650	
Wa_SAM70_180_B	3	0,664	0,059	8,83675%	0,600	0,715	0,115	-0,70062	
Wa_SAM70_180_C	3	0,546	0,078	14,2206%	0,495	0,635	0,140	1,19188	
Total	18	0,775	0,484	62,4637%	0,190	2,290	2,100	3,09310	4,26514

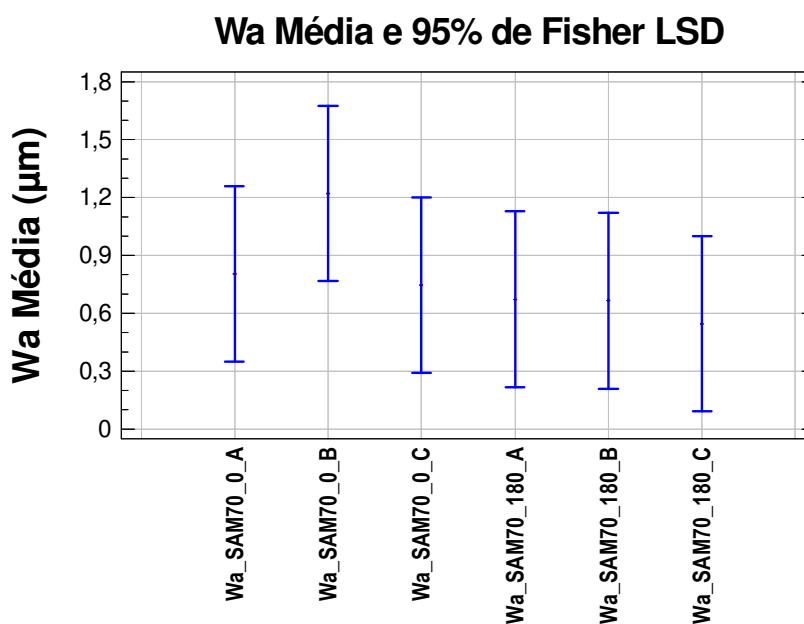
Quadro D.34 – Resultado da ANOVA das medidas de Wa para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	0,828352	5	0,16567	0,63	0,6810
Intra grupos	3,15783	12	0,263153		
Total (Corr.)	3,98618	17			

Dispersão das Medidas de Wa



(a)



(b)

Figura D.4 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wa para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

Quadro D.35 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wa para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wa SAM70 180 C	3	0,545667	X
Wa SAM70 180 B	3	0,664333	X
Wa SAM70 180 A	3	0,671667	X
Wa SAM70 0 C	3	0,745333	X
Wa SAM70 0 A	3	0,803333	X
Wa SAM70 0 B	3	1,221	X

Quadro D.36 – Comparação das séries de ondulação superficial Wa, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wa_SAM70_0_A - Wa_SAM70_0_B		-0,417667	0,912597
Wa_SAM70_0_A - Wa_SAM70_0_C		0,058	0,912597
Wa_SAM70_0_A - Wa_SAM70_180_A		0,131667	0,912597
Wa_SAM70_0_A - Wa_SAM70_180_B		0,139	0,912597
Wa_SAM70_0_A - Wa_SAM70_180_C		0,257667	0,912597
Wa_SAM70_0_B - Wa_SAM70_0_C		0,475667	0,912597
Wa_SAM70_0_B - Wa_SAM70_180_A		0,549333	0,912597
Wa_SAM70_0_B - Wa_SAM70_180_B		0,556667	0,912597
Wa_SAM70_0_B - Wa_SAM70_180_C		0,675333	0,912597
Wa_SAM70_0_C - Wa_SAM70_180_A		0,0736667	0,912597
Wa_SAM70_0_C - Wa_SAM70_180_B		0,081	0,912597
Wa_SAM70_0_C - Wa_SAM70_180_C		0,199667	0,912597
Wa_SAM70_180_A - Wa_SAM70_180_B		0,00733333	0,912597
Wa_SAM70_180_A - Wa_SAM70_180_C		0,126	0,912597
Wa_SAM70_180_B - Wa_SAM70_180_C		0,118667	0,912597

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D10. SAM70 – Wq

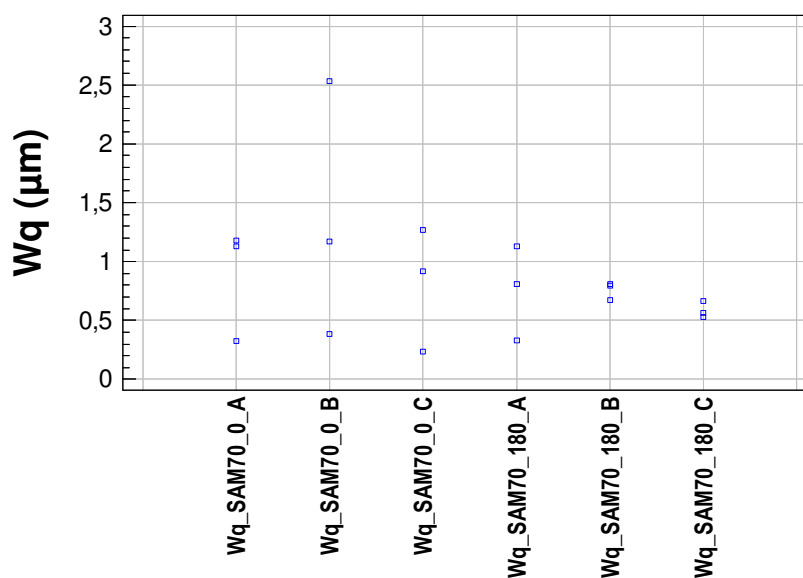
Quadro D.37 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wq) para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

	N	Wq Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wq Mín.	Wq Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wq SAM70_0_A	3	0,879	0,479	54,5458%	0,326	1,180	0,854	-1,20977	
Wq SAM70_0_B	3	1,361	1,086	79,8067%	0,383	2,530	2,147	0,54224	
Wq SAM70_0_C	3	0,809	0,525	64,9269%	0,237	1,270	1,033	-0,64565	
Wq SAM70_180_A	3	0,756	0,403	53,3233%	0,329	1,130	0,801	-0,41112	
Wq SAM70_180_B	3	0,760	0,077	10,1776%	0,671	0,810	0,140	-1,18594	
Wq SAM70_180_C	3	0,587	0,071	12,0244%	0,531	0,670	0,135	0,94737	
Total	18	0,859	0,530	61,6701%	0,237	2,530	2,293	3,18066	4,48516

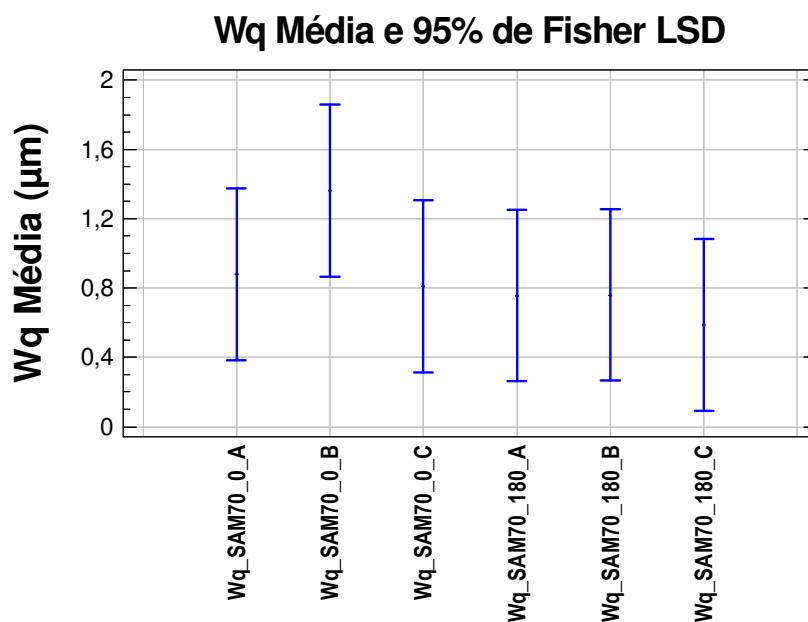
Quadro D.38 – Resultado da ANOVA das medidas de Wq para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	1,0483	5	0,209659	0,68	0,6494
Intra grupos	3,71812	12	0,309843		
Total (Corr.)	4,76641	17			

Dispersão das Medidas de Wq



(a)



(b)

Figura D.5 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wq para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

Quadro D.39 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wq para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wq SAM70 180 C	3	0,586667	X
Wq SAM70 180 A	3	0,756	X
Wq SAM70 180 B	3	0,76	X
Wq SAM70 0 C	3	0,809333	X
Wq SAM70 0 A	3	0,878667	X
Wq SAM70 0 B	3	1,361	X

Quadro D.40 – Comparação das séries de ondulação superficial Wq, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wq SAM70 0 A - Wq SAM70 0 B		-0,482333	0,990253
Wq SAM70 0 A - Wq SAM70 0 C		0,0693333	0,990253
Wq SAM70 0 A - Wq SAM70 180 A		0,122667	0,990253
Wq SAM70 0 A - Wq SAM70 180 B		0,118667	0,990253
Wq SAM70 0 A - Wq SAM70 180 C		0,292	0,990253
Wq SAM70 0 B - Wq SAM70 0 C		0,551667	0,990253
Wq SAM70 0 B - Wq SAM70 180 A		0,605	0,990253
Wq SAM70 0 B - Wq SAM70 180 B		0,601	0,990253
Wq SAM70 0 B - Wq SAM70 180 C		0,774333	0,990253
Wq SAM70 0 C - Wq SAM70 180 A		0,0533333	0,990253
Wq SAM70 0 C - Wq SAM70 180 B		0,0493333	0,990253
Wq SAM70 0 C - Wq SAM70 180 C		0,222667	0,990253
Wq SAM70 180 A - Wq SAM70 180 B		-0,004	0,990253
Wq SAM70 180 A - Wq SAM70 180 C		0,169333	0,990253
Wq SAM70 180 B - Wq SAM70 180 C		0,173333	0,990253

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D11. SAM70 – Wz

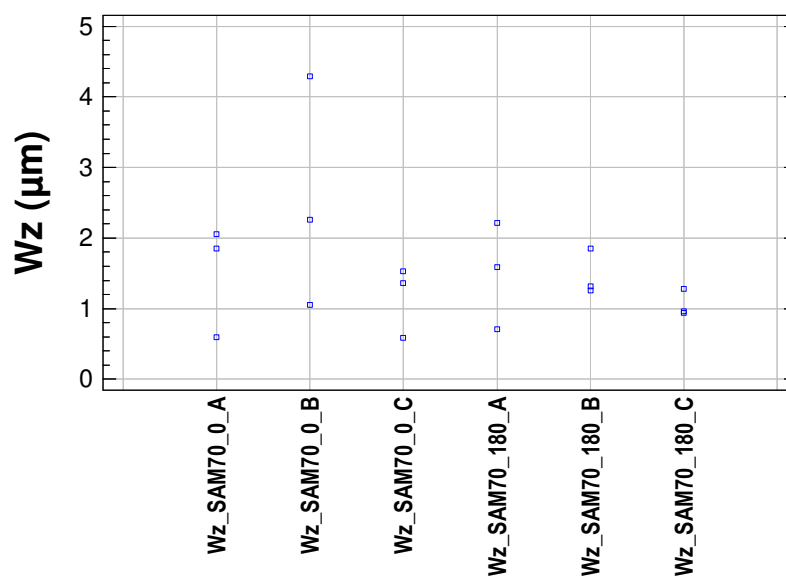
Quadro D.41 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wz) para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

	N	Wz Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wz Mín.	Wz Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wz_SAM70_0_A	3	1,503	0,789	52,505%	0,60	2,06	1,46	-1,12794	
Wz_SAM70_0_B	3	2,533	1,637	64,6264%	1,05	4,29	3,24	0,51643	
Wz_SAM70_0_C	3	1,158	0,505	43,6121%	0,58	1,53	0,95	-1,07039	
Wz_SAM70_180_A	3	1,507	0,758	50,339%	0,71	2,22	1,51	-0,34540	
Wz_SAM70_180_B	3	1,477	0,325	21,9891%	1,26	1,85	0,59	1,17787	
Wz_SAM70_180_C	3	1,061	0,190	17,8986%	0,94	1,28	0,34	1,19047	
Total	18	1,540	0,863	56,0331%	0,58	4,29	3,71	3,36039	4,75471

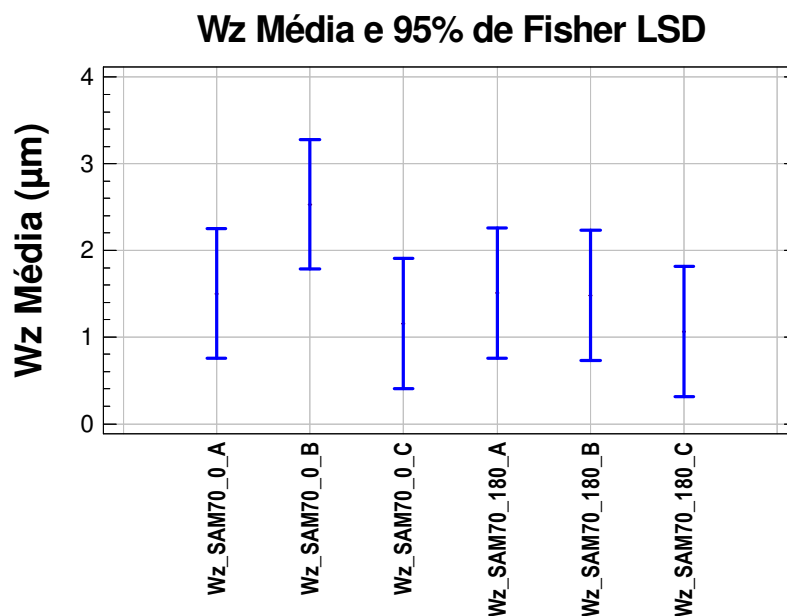
Quadro D.42 – Resultado da ANOVA das medidas de Wz para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	4,10543	5	0,821087	1,15	0,3862
Intra grupos	8,55025	12	0,712521		
Total (Corr.)	12,6557	17			

Dispersão das Medidas de Wz



(a)



(b)

Figura D.6 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wz para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

Quadro D.43 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wz para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wz_SAM70_180_C	3	1,061333	X
Wz_SAM70_0_C	3	1,157667	X
Wz_SAM70_180_B	3	1,476667	X
Wz_SAM70_0_A	3	1,503333	X
Wz_SAM70_180_A	3	1,506667	X
Wz_SAM70_0_B	3	2,533333	X

Quadro D.44 – Comparação das séries de ondulação superficial Wz, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wz_SAM70_0_A - Wz_SAM70_0_B		-1,03	1,50167
Wz_SAM70_0_A - Wz_SAM70_0_C		0,345667	1,50167
Wz_SAM70_0_A - Wz_SAM70_180_A		-0,003333333	1,50167
Wz_SAM70_0_A - Wz_SAM70_180_B		0,0266667	1,50167
Wz_SAM70_0_A - Wz_SAM70_180_C		0,442	1,50167
Wz_SAM70_0_B - Wz_SAM70_0_C		1,375667	1,50167
Wz_SAM70_0_B - Wz_SAM70_180_A		1,026667	1,50167
Wz_SAM70_0_B - Wz_SAM70_180_B		1,056667	1,50167
Wz_SAM70_0_B - Wz_SAM70_180_C		1,472	1,50167
Wz_SAM70_0_C - Wz_SAM70_180_A		-0,349	1,50167
Wz_SAM70_0_C - Wz_SAM70_180_B		-0,319	1,50167
Wz_SAM70_0_C - Wz_SAM70_180_C		0,09633333	1,50167
Wz_SAM70_180_A - Wz_SAM70_180_B		0,03	1,50167
Wz_SAM70_180_A - Wz_SAM70_180_C		0,4453333	1,50167
Wz_SAM70_180_B - Wz_SAM70_180_C		0,4153333	1,50167

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

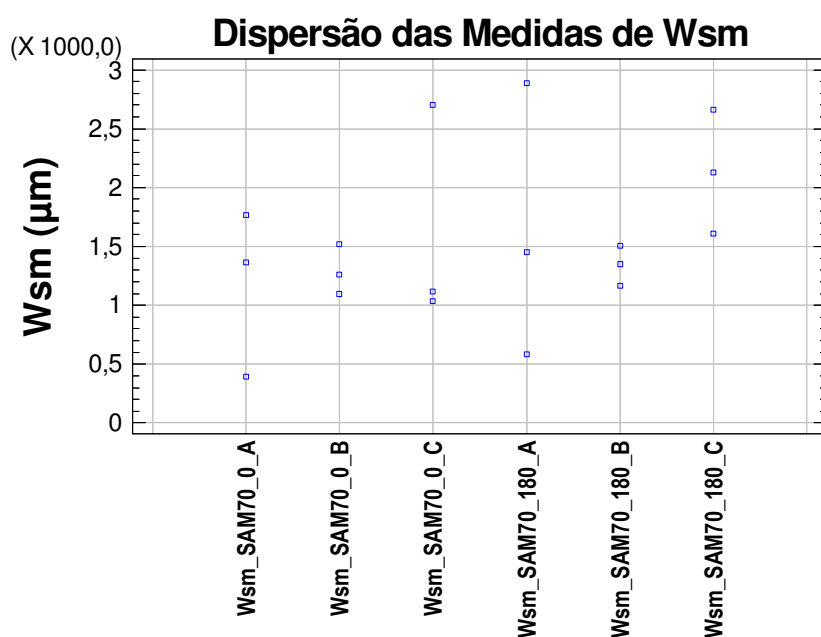
D12. SAM70 – Wsm

Quadro D.45 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wsm) para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

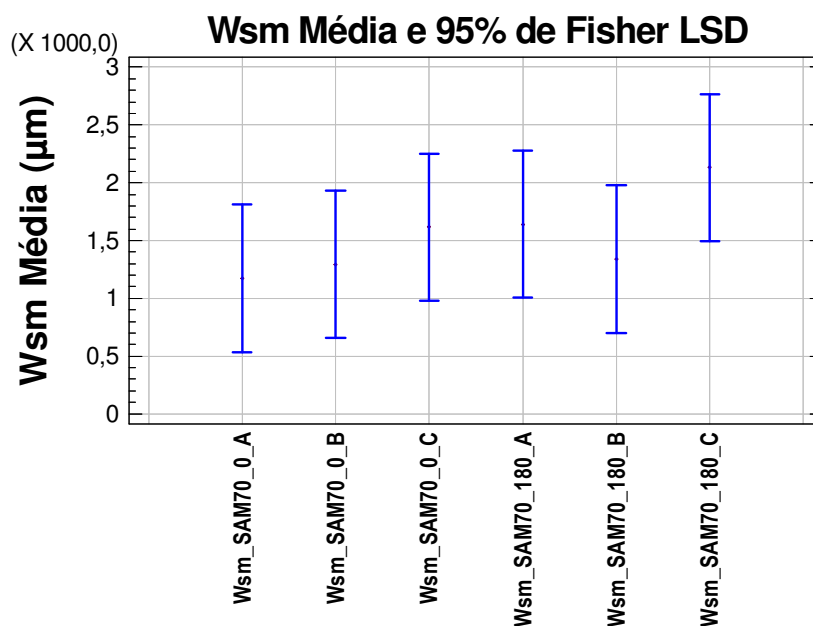
	N	Wsm Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wsm Mín.	Wsm Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wsm_SAM70_0_A	3	1174	705	60,0372%	394,0	1765,0	1371,0	-0,78972	
Wsm_SAM70_0_B	3	1294	214	16,551%	1099,0	1523,0	424,0	0,50168	
Wsm_SAM70_0_C	3	1616	940	58,1477%	1033,0	2700,0	1667,0	1,21426	
Wsm_SAM70_180_A	3	1641	1165	70,9626%	581,0	2888,0	2307,0	0,49602	
Wsm_SAM70_180_B	3	1339	171	12,7938%	1162,0	1504,0	342,0	-0,23393	
Wsm_SAM70_180_C	3	2132	526	24,6531%	1609,0	2660,0	1051,0	0,03431	
Total	18	1533	685	44,6975%	394,0	2888,0	2494,0	1,08249	0,045795

Quadro D.46 – Resultado da ANOVA das medidas de Wsm para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	1,8028E6	5	360560,	0,70	0,6335
Intra grupos	6,17494E6	12	514578,		
Total (Corr.)	7,97774E6	17			



(a)



(b)

Figura D.7 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wsm para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

Quadro D.47 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wsm para um C.P. na condição de desgaste SAM70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wsm SAM70 0 A	3	1173,67	X
Wsm SAM70 0 B	3	1293,67	X
Wsm SAM70 180 B	3	1339,33	X
Wsm SAM70 0 C	3	1616,0	X
Wsm SAM70 180 A	3	1641,33	X
Wsm SAM70 180 C	3	2131,67	X

Quadro D.48 – Comparação das séries de ondulação superficial Wsm, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste SAM70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wsm_SAM70_0_A - Wsm_SAM70_0_B		-120,0	1276,15
Wsm_SAM70_0_A - Wsm_SAM70_0_C		-442,333	1276,15
Wsm_SAM70_0_A - Wsm_SAM70_180_A		-467,667	1276,15
Wsm_SAM70_0_A - Wsm_SAM70_180_B		-165,667	1276,15
Wsm_SAM70_0_A - Wsm_SAM70_180_C		-958,0	1276,15
Wsm_SAM70_0_B - Wsm_SAM70_0_C		-322,333	1276,15
Wsm_SAM70_0_B - Wsm_SAM70_180_A		-347,667	1276,15
Wsm_SAM70_0_B - Wsm_SAM70_180_B		-45,6667	1276,15
Wsm_SAM70_0_B - Wsm_SAM70_180_C		-838,0	1276,15
Wsm_SAM70_0_C - Wsm_SAM70_180_A		-25,3333	1276,15
Wsm_SAM70_0_C - Wsm_SAM70_180_B		276,667	1276,15
Wsm_SAM70_0_C - Wsm_SAM70_180_C		-515,667	1276,15
Wsm_SAM70_180_A - Wsm_SAM70_180_B		302,0	1276,15
Wsm_SAM70_180_A - Wsm_SAM70_180_C		-490,333	1276,15
Wsm_SAM70_180_B - Wsm_SAM70_180_C		-792,333	1276,15

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D13. DC70 – Wa

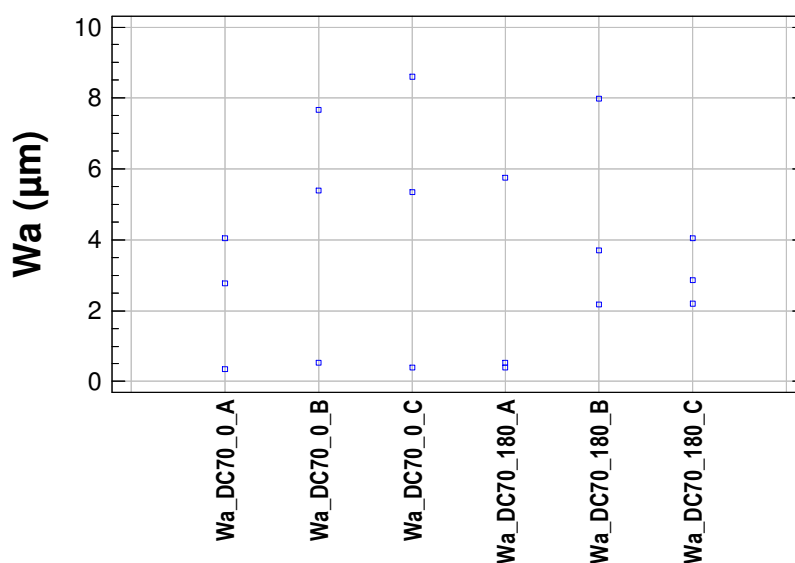
Quadro D.49 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wa) para um C.P. na condição de desgaste DC70.

	N	Wa Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wa Mín.	Wa Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wa_DC70_0_A	3	2,391	1,878	78,5537%	0,352	4,050	3,698	-0,61651	
Wa_DC70_0_B	3	4,525	3,646	80,5772%	0,524	7,660	7,136	-0,71269	
Wa_DC70_0_C	3	4,785	4,126	86,2235%	0,406	8,600	8,194	-0,42731	
Wa_DC70_180_A	3	2,231	3,048	136,602%	0,403	5,750	5,347	1,22192	
Wa_DC70_180_B	3	4,617	3,012	65,2314%	2,170	7,980	5,810	0,87882	
Wa_DC70_180_C	3	3,030	0,943	31,1213%	2,190	4,050	1,860	0,58526	
Total	18	3,596	2,734	76,0125%	0,352	8,600	8,248	0,75486	-0,77129

Quadro D.50 – Resultado da ANOVA das medidas de Wa para um C.P. na condição de desgaste DC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	20,8626	5	4,17252	0,47	0,7906
Intra grupos	106,185	12	8,84874		
Total (Corr.)	127,047	17			

Dispersão das Medidas de Wa



(a)

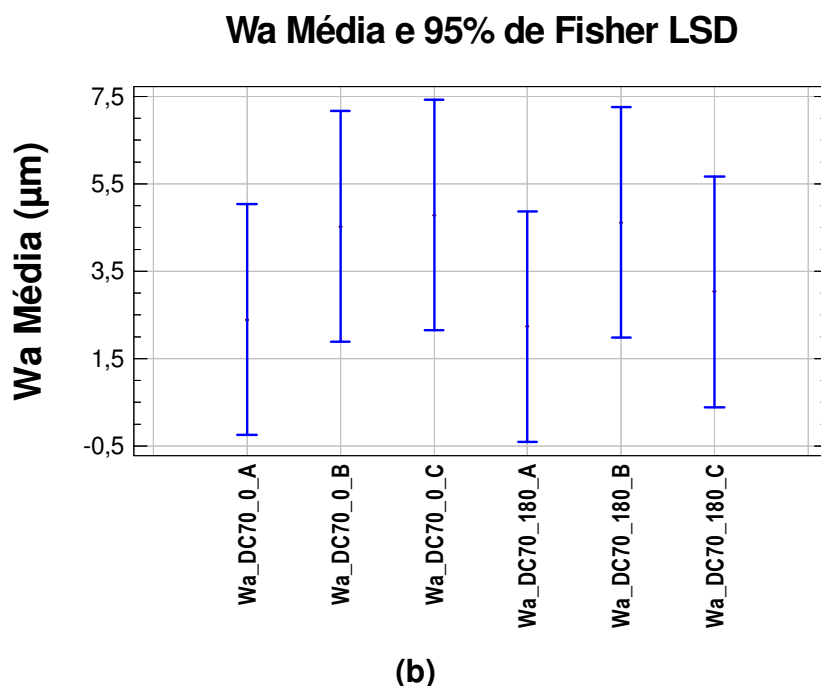


Figura D.8 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wa para um C.P. na condição de desgaste DC70.

Quadro D.51 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wa para um C.P. na condição de desgaste DC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wa_DC70_180_A	3	2,23133	X
Wa_DC70_0_A	3	2,39067	X
Wa_DC70_180_C	3	3,03	X
Wa_DC70_0_B	3	4,52467	X
Wa_DC70_180_B	3	4,61667	X
Wa_DC70_0_C	3	4,78533	X

Quadro D.52 – Comparação das séries de ondulação superficial Wa, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wa_DC70_0_A - Wa_DC70_0_B		-2,134	5,29195
Wa_DC70_0_A - Wa_DC70_0_C		-2,39467	5,29195
Wa_DC70_0_A - Wa_DC70_180_A		0,159333	5,29195
Wa_DC70_0_A - Wa_DC70_180_B		-2,226	5,29195
Wa_DC70_0_A - Wa_DC70_180_C		-0,639333	5,29195
Wa_DC70_0_B - Wa_DC70_0_C		-0,260667	5,29195
Wa_DC70_0_B - Wa_DC70_180_A		2,29333	5,29195
Wa_DC70_0_B - Wa_DC70_180_B		-0,092	5,29195
Wa_DC70_0_B - Wa_DC70_180_C		1,49467	5,29195
Wa_DC70_0_C - Wa_DC70_180_A		2,554	5,29195
Wa_DC70_0_C - Wa_DC70_180_B		0,168667	5,29195
Wa_DC70_0_C - Wa_DC70_180_C		1,75533	5,29195
Wa_DC70_180_A - Wa_DC70_180_B		-2,38533	5,29195
Wa_DC70_180_A - Wa_DC70_180_C		-0,798667	5,29195
Wa_DC70_180_B - Wa_DC70_180_C		1,58667	5,29195

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D14. DC70 – Wq

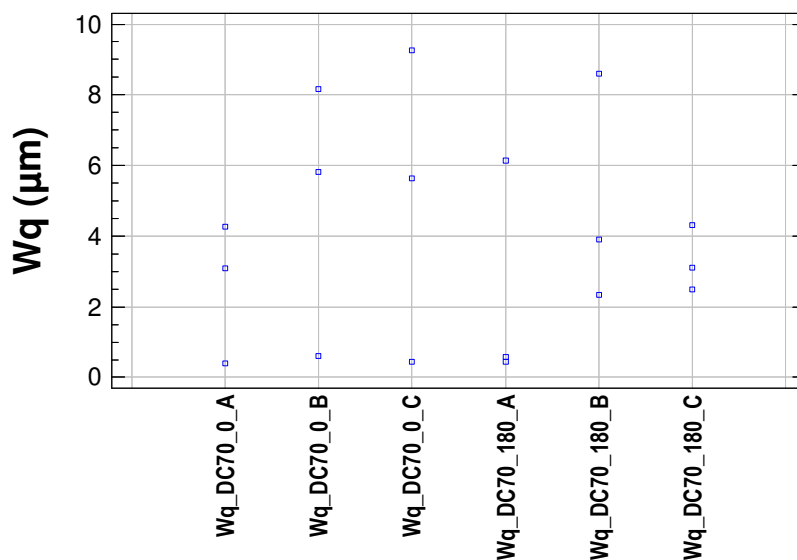
Quadro D.53 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wq) para um C.P. na condição de desgaste DC70.

	N	Wq Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wq Mín.	Wq Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wq_DC70_0_A	3	2,580	1,988	77,0754%	0,389	4,270	3,881	-0,75001	
Wq_DC70_0_B	3	4,856	3,871	79,7164%	0,597	8,160	7,563	-0,73683	
Wq_DC70_0_C	3	5,116	4,433	86,6576%	0,448	9,270	8,822	-0,36395	
Wq_DC70_180_A	3	2,393	3,254	135,99%	0,453	6,150	5,697	1,22278	
Wq_DC70_180_B	3	4,943	3,263	66,0002%	2,330	8,600	6,270	0,91349	
Wq_DC70_180_C	3	3,303	0,932	28,2076%	2,490	4,320	1,830	0,66130	
Total	18	3,865	2,920	75,5388%	0,389	9,270	8,881	0,77792	-0,72462

Quadro D.54 – Resultado da ANOVA das medidas de Wq para um C.P. na condição de desgaste DC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	23,5307	5	4,70614	0,47	0,7950
Intra grupos	121,388	12	10,1157		
Total (Corr.)	144,919	17			

Dispersão das Medidas de Wq



(a)

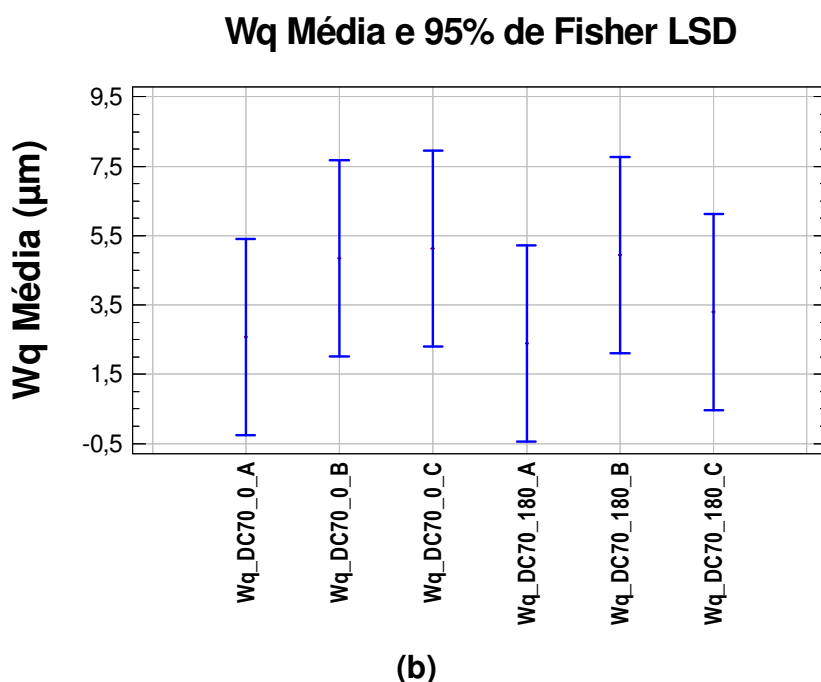


Figura D.9 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wq para um C.P. na condição de desgaste DC70.

Quadro D.55 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wq para um C.P. na condição de desgaste DC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wq_DC70_180_A	3	2,393	X
Wq_DC70_0_A	3	2,57967	X
Wq_DC70_180_C	3	3,30333	X
Wq_DC70_0_B	3	4,85567	X
Wq_DC70_180_B	3	4,94333	X
Wq_DC70_0_C	3	5,116	X

Quadro D.56 – Comparação das séries de ondulação superficial Wq, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wq_DC70_0_A - Wq_DC70_0_B		-2,276	5,65813
Wq_DC70_0_A - Wq_DC70_0_C		-2,53633	5,65813
Wq_DC70_0_A - Wq_DC70_180_A		0,186667	5,65813
Wq_DC70_0_A - Wq_DC70_180_B		-2,36367	5,65813
Wq_DC70_0_A - Wq_DC70_180_C		-0,723667	5,65813
Wq_DC70_0_B - Wq_DC70_0_C		-0,260333	5,65813
Wq_DC70_0_B - Wq_DC70_180_A		2,46267	5,65813
Wq_DC70_0_B - Wq_DC70_180_B		-0,0876667	5,65813
Wq_DC70_0_B - Wq_DC70_180_C		1,55233	5,65813
Wq_DC70_0_C - Wq_DC70_180_A		2,723	5,65813
Wq_DC70_0_C - Wq_DC70_180_B		0,172667	5,65813
Wq_DC70_0_C - Wq_DC70_180_C		1,81267	5,65813
Wq_DC70_180_A - Wq_DC70_180_B		-2,55033	5,65813
Wq_DC70_180_A - Wq_DC70_180_C		-0,910333	5,65813
Wq_DC70_180_B - Wq_DC70_180_C		1,64	5,65813

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D15. DC70 – Wz

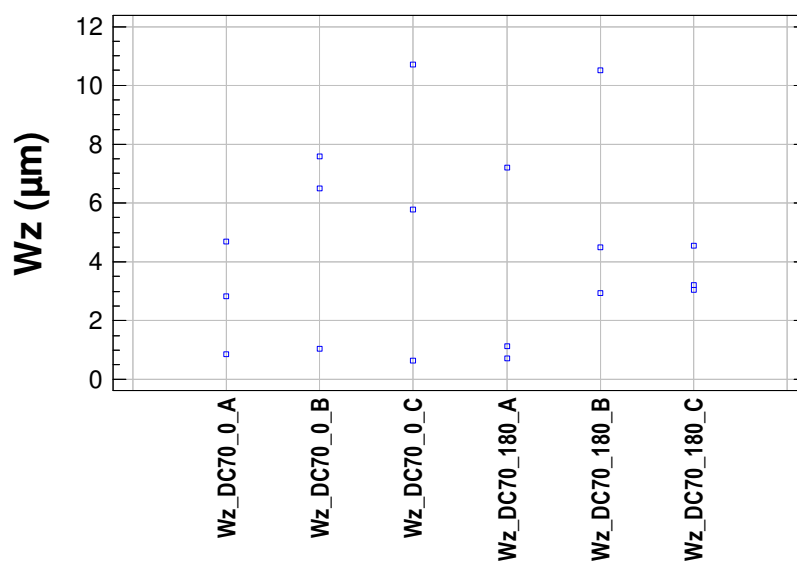
Quadro D.57 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wz) para um C.P. na condição de desgaste DC70.

	N	Wz Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wz Mín.	Wz Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wz_DC70_0_A	3	2,792	1,917	68,6443%	0,86	4,69	3,83	-0,06251	
Wz_DC70_0_B	3	5,040	3,500	69,4391%	1,05	7,59	6,54	-1,08760	
Wz_DC70_0_C	3	5,711	5,024	87,9681%	0,65	10,70	10,05	-0,04369	
Wz_DC70_180_A	3	3,018	3,619	119,939%	0,72	7,19	6,47	1,20648	
Wz_DC70_180_B	3	5,980	3,989	66,7132%	2,95	10,50	7,55	1,02265	
Wz_DC70_180_C	3	3,600	0,827	22,9751%	3,04	4,55	1,51	1,16679	
Total	18	4,357	3,171	72,7885%	0,65	10,70	10,05	1,20340	-0,26147

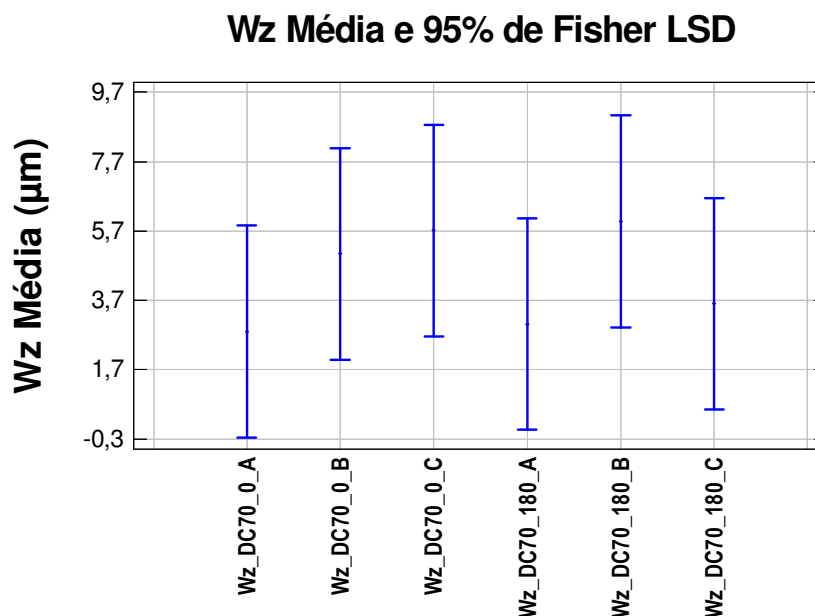
Quadro D.58 – Resultado da ANOVA das medidas de Wz para um C.P. na condição de desgaste DC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	29,2469	5	5,84939	0,50	0,7741
Intra grupos	141,722	12	11,8101		
Total (Corr.)	170,969	17			

Dispersão das Medidas de Wz



(a)



(b)

Figura D.10 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wz para um C.P. na condição de desgaste DC70.

Quadro D.59 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wz para um C.P. na condição de desgaste DC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wz DC70 0 A	3	2,79233	X
Wz DC70 180 A	3	3,01767	X
Wz DC70 180 C	3	3,6	X
Wz DC70 0 B	3	5,04	X
Wz DC70 0 C	3	5,711	X
Wz DC70 180 B	3	5,98	X

Quadro D.60 – Comparação das séries de ondulação superficial Wz, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wz DC70 0 A - Wz DC70 0 B		-2,24767	6,11368
Wz DC70 0 A - Wz DC70 0 C		-2,91867	6,11368
Wz DC70 0 A - Wz DC70 180 A		-0,225333	6,11368
Wz DC70 0 A - Wz DC70 180 B		-3,18767	6,11368
Wz DC70 0 A - Wz DC70 180 C		-0,807667	6,11368
Wz DC70 0 B - Wz DC70 0 C		-0,671	6,11368
Wz DC70 0 B - Wz DC70 180 A		2,02233	6,11368
Wz DC70 0 B - Wz DC70 180 B		-0,94	6,11368
Wz DC70 0 B - Wz DC70 180 C		1,44	6,11368
Wz DC70 0 C - Wz DC70 180 A		2,69333	6,11368
Wz DC70 0 C - Wz DC70 180 B		-0,269	6,11368
Wz DC70 0 C - Wz DC70 180 C		2,111	6,11368
Wz DC70 180 A - Wz DC70 180 B		-2,96233	6,11368
Wz DC70 180 A - Wz DC70 180 C		-0,582333	6,11368
Wz DC70 180 B - Wz DC70 180 C		2,38	6,11368

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D16. DC70 – Wsm

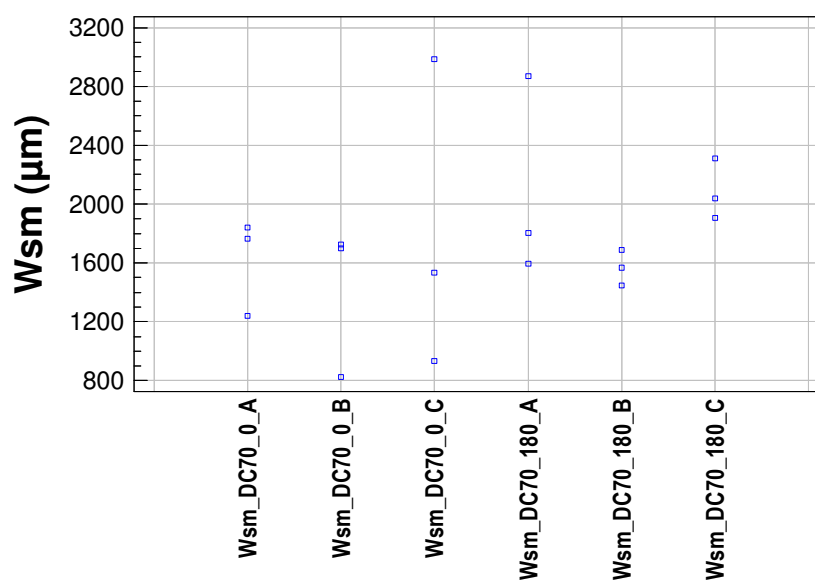
Quadro D.61 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wsm) para um C.P. na condição de desgaste DC70.

	N	Wsm Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wsm Mín.	Wsm Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wsm_DC70_0_A	3	1615	327	20,2823%	1239,0	1840,0	601,0	-1,15288	
Wsm_DC70_0_B	3	1417	513	36,1838%	825,0	1727,0	902,0	-1,22034	
Wsm_DC70_0_C	3	1817	1056	58,1159%	931,0	2985,0	2054,0	0,79086	
Wsm_DC70_180_A	3	2088	684	32,748%	1594,0	2868,0	1274,0	1,09964	
Wsm_DC70_180_B	3	1568	122	7,75039%	1446,0	1689,0	243,0	-0,00873	
Wsm_DC70_180_C	3	2085	207	9,93825%	1906,0	2312,0	406,0	0,69754	
Total	18	1765	553	31,3272%	825,0	2985,0	2160,0	1,17679	0,873439

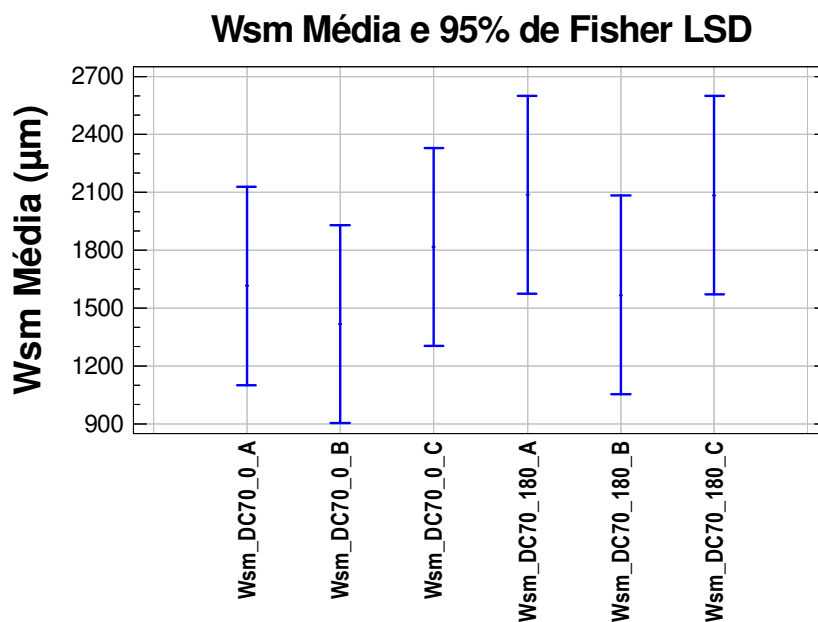
Quadro D.62 – Resultado da ANOVA das medidas de Wsm para um C.P. na condição de desgaste DC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	1,17618E6	5	235236	0,70	0,6325
Intra grupos	4,01954E6	12	334961		
Total (Corr.)	5,19572E6	17			

Dispersão das Medidas de Wsm



(a)



(b)

Figura D.11 – Comparação da (a) dispersão e (b) média das medidas de ondulação superficial Wsm para um C.P. na condição de desgaste DC70.

Quadro D.63 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wsm para um C.P. na condição de desgaste DC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wsm_DC70_0_B	3	1416,67	X
Wsm_DC70_180_B	3	1567,67	X
Wsm_DC70_0_A	3	1614,67	X
Wsm_DC70_0_C	3	1816,67	X
Wsm_DC70_180_C	3	2085,0	X
Wsm_DC70_180_A	3	2087,67	X

Quadro D.64 – Comparação das séries de ondulação superficial Wsm, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wsm_DC70_0_A - Wsm_DC70_0_B		198,0	1029,61
Wsm_DC70_0_A - Wsm_DC70_0_C		-202,0	1029,61
Wsm_DC70_0_A - Wsm_DC70_180_A		-473,0	1029,61
Wsm_DC70_0_A - Wsm_DC70_180_B		47,0	1029,61
Wsm_DC70_0_A - Wsm_DC70_180_C		-470,333	1029,61
Wsm_DC70_0_B - Wsm_DC70_0_C		-400,0	1029,61
Wsm_DC70_0_B - Wsm_DC70_180_A		-671,0	1029,61
Wsm_DC70_0_B - Wsm_DC70_180_B		-151,0	1029,61
Wsm_DC70_0_B - Wsm_DC70_180_C		-668,333	1029,61
Wsm_DC70_0_C - Wsm_DC70_180_A		-271,0	1029,61
Wsm_DC70_0_C - Wsm_DC70_180_B		249,0	1029,61
Wsm_DC70_0_C - Wsm_DC70_180_C		-268,333	1029,61
Wsm_DC70_180_A - Wsm_DC70_180_B		520,0	1029,61
Wsm_DC70_180_A - Wsm_DC70_180_C		2,66667	1029,61
Wsm_DC70_180_B - Wsm_DC70_180_C		-517,333	1029,61

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D17. DEC70 – Wa

Quadro D.65 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wa) para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

	N	Wa Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wa Mín.	Wa Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wa_DEC70_0_A	3	2,547	0,730	28,647%	1,710	3,050	1,340	-1,15035	
Wa_DEC70_0_B	3	0,731	0,405	55,4855%	0,371	1,170	0,799	0,60114	
Wa_DEC70_0_C	3	0,772	0,248	32,1695%	0,571	1,050	0,479	0,88533	
Wa_DEC70_180_A	3	0,901	0,188	20,8264%	0,747	1,110	0,363	0,85253	
Wa_DEC70_180_B	3	0,885	0,083	9,41115%	0,832	0,981	0,149	1,20491	
Wa_DEC70_180_C	3	1,302	0,718	55,186%	0,505	1,900	1,395	-0,81157	
Total	18	1,190	0,762	64,0802%	0,371	3,050	2,679	2,63701	1,50015

Quadro D.66 – Resultado da ANOVA das medidas de Wa para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	7,24497	5	1,44899	6,60	0,0036
Intra grupos	2,63296	12	0,219413		
Total (Corr.)	9,87793	17			

Quadro D.67 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wa para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wa_DEC70_0_B	3	0,730667	X
Wa_DEC70_0_C	3	0,772333	X
Wa_DEC70_180_B	3	0,885	X
Wa_DEC70_180_A	3	0,901	X
Wa_DEC70_180_C	3	1,30167	X
Wa_DEC70_0_A	3	2,54667	X

Quadro D.68 – Comparação das séries de ondulação superficial Wa, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DEC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wa_DEC70_0_A - Wa_DEC70_0_B	*	1,816	0,83331
Wa_DEC70_0_A - Wa_DEC70_0_C	*	1,77433	0,83331
Wa_DEC70_0_A - Wa_DEC70_180_A	*	1,64567	0,83331
Wa_DEC70_0_A - Wa_DEC70_180_B	*	1,66167	0,83331
Wa_DEC70_0_A - Wa_DEC70_180_C	*	1,245	0,83331
Wa_DEC70_0_B - Wa_DEC70_0_C		-0,0416667	0,83331
Wa_DEC70_0_B - Wa_DEC70_180_A		-0,170333	0,83331
Wa_DEC70_0_B - Wa_DEC70_180_B		-0,154333	0,83331
Wa_DEC70_0_B - Wa_DEC70_180_C		-0,571	0,83331
Wa_DEC70_0_C - Wa_DEC70_180_A		-0,128667	0,83331
Wa_DEC70_0_C - Wa_DEC70_180_B		-0,112667	0,83331
Wa_DEC70_0_C - Wa_DEC70_180_C		-0,529333	0,83331
Wa_DEC70_180_A - Wa_DEC70_180_B		0,016	0,83331
Wa_DEC70_180_A - Wa_DEC70_180_C		-0,400667	0,83331
Wa_DEC70_180_B - Wa_DEC70_180_C		-0,416667	0,83331

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D18. DEC70 – Wq

Quadro D.69 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wq) para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

	N	Wq Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wq Mín.	Wq Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wq_DEC70_0_A	3	2,973	0,832	27,9661%	2,030	3,600	1,570	-1,03604	
Wq_DEC70_0_B	3	0,873	0,487	55,8554%	0,422	1,390	0,968	0,42706	
Wq_DEC70_0_C	3	0,869	0,230	26,4956%	0,667	1,120	0,453	0,63830	
Wq_DEC70_180_A	3	0,989	0,191	19,3293%	0,872	1,210	0,338	1,21736	
Wq_DEC70_180_B	3	1,005	0,107	10,602%	0,910	1,120	0,210	0,59415	
Wq_DEC70_180_C	3	1,410	0,781	55,3782%	0,540	2,050	1,510	-0,85595	
Total	18	1,353	0,885	65,4129%	0,422	3,600	3,178	2,79561	1,80818

Quadro D.70 – Resultado da ANOVA das medidas de Wq para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	10,0409	5	2,00818	7,35	0,0023
Intra grupos	3,27938	12	0,273282		
Total (Corr.)	13,3203	17			

Quadro D.71 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wq para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wq_DEC70_0_C	3	0,869333	X
Wq_DEC70_0_B	3	0,872667	X
Wq_DEC70_180_A	3	0,989333	X
Wq_DEC70_180_B	3	1,00467	X
Wq_DEC70_180_C	3	1,41	X
Wq_DEC70_0_A	3	2,97333	X

Quadro D.72 – Comparação das séries de ondulação superficial Wq, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DEC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wq_DEC70_0_A - Wq_DEC70_0_B	*	2,10067	0,929995
Wq_DEC70_0_A - Wq_DEC70_0_C	*	2,104	0,929995
Wq_DEC70_0_A - Wq_DEC70_180_A	*	1,984	0,929995
Wq_DEC70_0_A - Wq_DEC70_180_B	*	1,96867	0,929995
Wq_DEC70_0_A - Wq_DEC70_180_C	*	1,56333	0,929995
Wq_DEC70_0_B - Wq_DEC70_0_C		0,00333333	0,929995
Wq_DEC70_0_B - Wq_DEC70_180_A		-0,116667	0,929995
Wq_DEC70_0_B - Wq_DEC70_180_B		-0,132	0,929995
Wq_DEC70_0_B - Wq_DEC70_180_C		-0,537333	0,929995
Wq_DEC70_0_C - Wq_DEC70_180_A		-0,12	0,929995
Wq_DEC70_0_C - Wq_DEC70_180_B		-0,135333	0,929995
Wq_DEC70_0_C - Wq_DEC70_180_C		-0,540667	0,929995
Wq_DEC70_180_A - Wq_DEC70_180_B		-0,0153333	0,929995
Wq_DEC70_180_A - Wq_DEC70_180_C		-0,420667	0,929995
Wq_DEC70_180_B - Wq_DEC70_180_C		-0,405333	0,929995

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D19. DEC70 – Wz

Quadro D.73 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wz) para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

	N	Wz Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wz Mín.	Wz Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wz_DEC70_0_A	3	5,597	1,690	30,1973%	4,40	7,53	3,13	1,12346	
Wz_DEC70_0_B	3	2,077	0,690	33,231%	1,28	2,49	1,21	-1,22214	
Wz_DEC70_0_C	3	1,833	0,146	7,94818%	1,67	1,95	0,28	-0,91453	
Wz_DEC70_180_A	3	1,794	0,828	46,139%	0,88	2,50	1,62	-0,74170	
Wz_DEC70_180_B	3	2,517	0,359	14,2733%	2,12	2,82	0,70	-0,77095	
Wz_DEC70_180_C	3	2,809	1,797	63,9635%	0,76	4,10	3,34	-1,10595	
Total	18	2,771	1,643	59,2898%	0,76	7,53	6,77	2,64757	2,64675

Quadro D.74 – Resultado da ANOVA das medidas de Wz para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	31,0972	5	6,21943	5,05	0,0101
Intra grupos	14,7928	12	1,23273		
Total (Corr.)	45,8899	17			

Quadro D.75 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wz para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wz_DEC70_180_A	3	1,79433	X
Wz_DEC70_0_C	3	1,83333	X
Wz_DEC70_0_B	3	2,07667	X
Wz_DEC70_180_B	3	2,51667	X
Wz_DEC70_180_C	3	2,809	X
Wz_DEC70_0_A	3	5,59667	X

Quadro D.76 – Comparação das séries de ondulação superficial Wz, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DEC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wz_DEC70_0_A - Wz_DEC70_0_B	*	3,52	1,97519
Wz_DEC70_0_A - Wz_DEC70_0_C	*	3,76333	1,97519
Wz_DEC70_0_A - Wz_DEC70_180_A	*	3,80233	1,97519
Wz_DEC70_0_A - Wz_DEC70_180_B	*	3,08	1,97519
Wz_DEC70_0_A - Wz_DEC70_180_C	*	2,78767	1,97519
Wz_DEC70_0_B - Wz_DEC70_0_C		0,243333	1,97519
Wz_DEC70_0_B - Wz_DEC70_180_A		0,282333	1,97519
Wz_DEC70_0_B - Wz_DEC70_180_B		-0,44	1,97519
Wz_DEC70_0_B - Wz_DEC70_180_C		-0,732333	1,97519
Wz_DEC70_0_C - Wz_DEC70_180_A		0,039	1,97519
Wz_DEC70_0_C - Wz_DEC70_180_B		-0,683333	1,97519
Wz_DEC70_0_C - Wz_DEC70_180_C		-0,975667	1,97519
Wz_DEC70_180_A - Wz_DEC70_180_B		-0,722333	1,97519
Wz_DEC70_180_A - Wz_DEC70_180_C		-1,01467	1,97519
Wz_DEC70_180_B - Wz_DEC70_180_C		-0,292333	1,97519

* indica uma diferença estatisticamente significativa.

D20. DEC70 – Wsm

Quadro D.77 – Resumo estatístico das medidas de ondulação superficial (Wsm) para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

	N	Wsm Médio	Desv. Pad.	Coef. de Variação	Wsm Mín.	Wsm Máx.	Faixa	“Bias” Padronizada	Curtose
Wsm_DEC70_0_A	3	1835	930	50,7032%	1098,0	2880,0	1782,0	0,93958	
Wsm_DEC70_0_B	3	837	210	25,0766%	610,0	1024,0	414,0	-0,59315	
Wsm_DEC70_0_C	3	1105	227	20,504%	971,0	1367,0	396,0	1,22343	
Wsm_DEC70_180_A	3	1793	945	52,7182%	809,0	2694,0	1885,0	-0,27725	
Wsm_DEC70_180_B	3	1417	42	2,95475%	1388,0	1465,0	77,0	1,14661	
Wsm_DEC70_180_C	3	2157	606	28,1039%	1514,0	2718,0	1204,0	-0,41930	
Total	18	1524	691	45,374%	610,0	2880,0	2270,0	1,47787	-0,27907

Quadro D.78 – Resultado da ANOVA das medidas de Wsm para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

Fonte	Soma dos Quadrados	GL	Quadrado Médio	F	P-Value
Entre grupos	3,68215E6	5	736430	1,99	0,1530
Intra grupos	4,44676E6	12	370564		
Total (Corr.)	8,12892E6	17			

Quadro D.79 – Grupos homogêneos para as medidas de ondulação superficial Wsm para um C.P. na condição de desgaste DEC70.

	Casos	Média	Grupos Homogêneos
Wsm_DEC70_0_B	3	837,333	X
Wsm_DEC70_0_C	3	1105,33	XX
Wsm_DEC70_180_B	3	1417,0	XX
Wsm_DEC70_180_A	3	1793,0	XX
Wsm_DEC70_0_A	3	1834,67	XX
Wsm_DEC70_180_C	3	2156,67	X

Quadro D.80 – Comparação das séries de ondulação superficial Wsm, nas zonas A, B, C do C.P. na condição de desgaste DEC70.

Contraste	Sig.	Diferença	+/- Limites
Wsm_DEC70_0_A - Wsm_DEC70_0_B		997,333	1082,95
Wsm_DEC70_0_A - Wsm_DEC70_0_C		729,333	1082,95
Wsm_DEC70_0_A - Wsm_DEC70_180_A		41,6667	1082,95
Wsm_DEC70_0_A - Wsm_DEC70_180_B		417,667	1082,95
Wsm_DEC70_0_A - Wsm_DEC70_180_C		-322,0	1082,95
Wsm_DEC70_0_B - Wsm_DEC70_0_C		-268,0	1082,95
Wsm_DEC70_0_B - Wsm_DEC70_180_A		-955,667	1082,95
Wsm_DEC70_0_B - Wsm_DEC70_180_B		-579,667	1082,95
Wsm_DEC70_0_B - Wsm_DEC70_180_C	*	-1319,33	1082,95
Wsm_DEC70_0_C - Wsm_DEC70_180_A		-687,667	1082,95
Wsm_DEC70_0_C - Wsm_DEC70_180_B		-311,667	1082,95
Wsm_DEC70_0_C - Wsm_DEC70_180_C		-1051,33	1082,95
Wsm_DEC70_180_A - Wsm_DEC70_180_B		376,0	1082,95
Wsm_DEC70_180_A - Wsm_DEC70_180_C		-363,667	1082,95
Wsm_DEC70_180_B - Wsm_DEC70_180_C		-739,667	1082,95

* indica uma diferença estatisticamente significativa.