

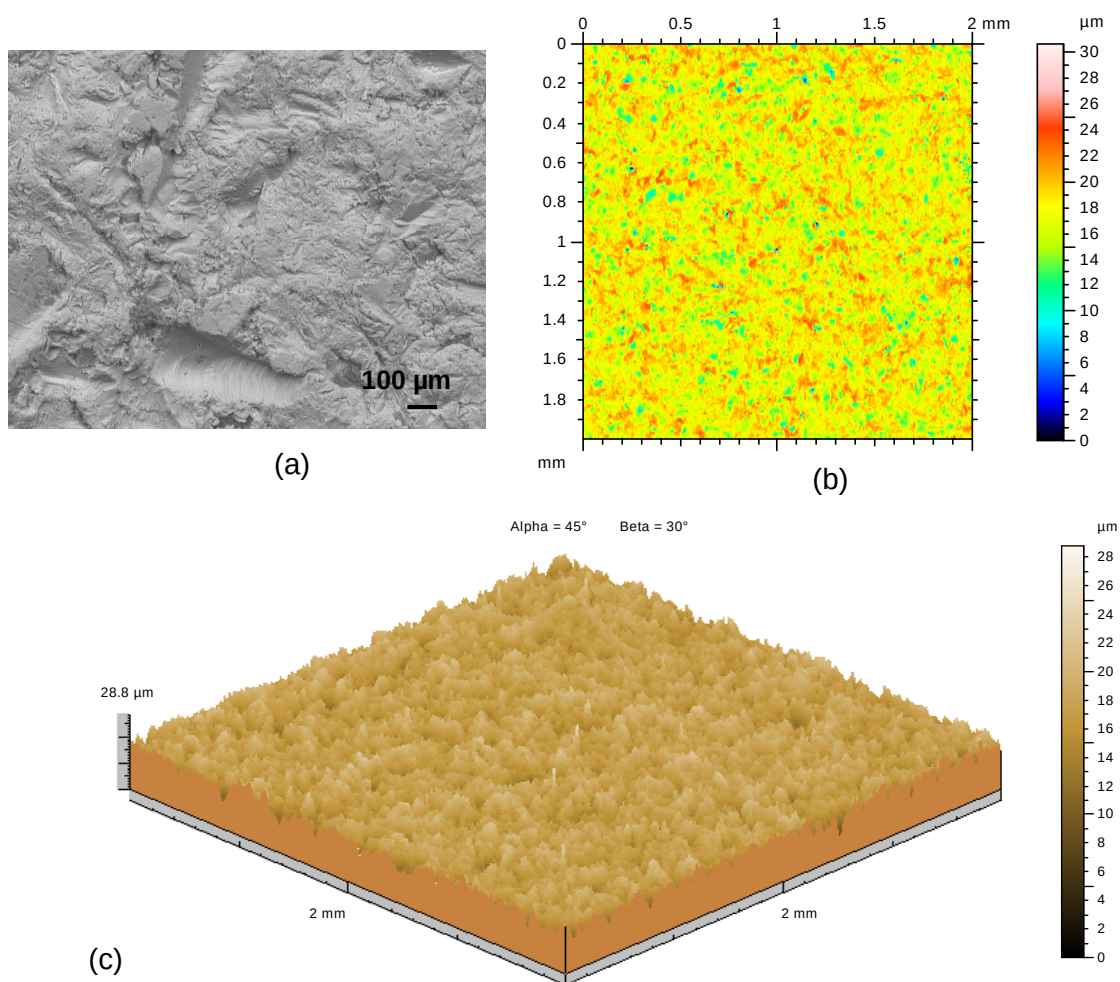


Figura 7.36 – Topografia AF7, (a) MEV, (b) diagrama de nível (c) topografia tridimensional

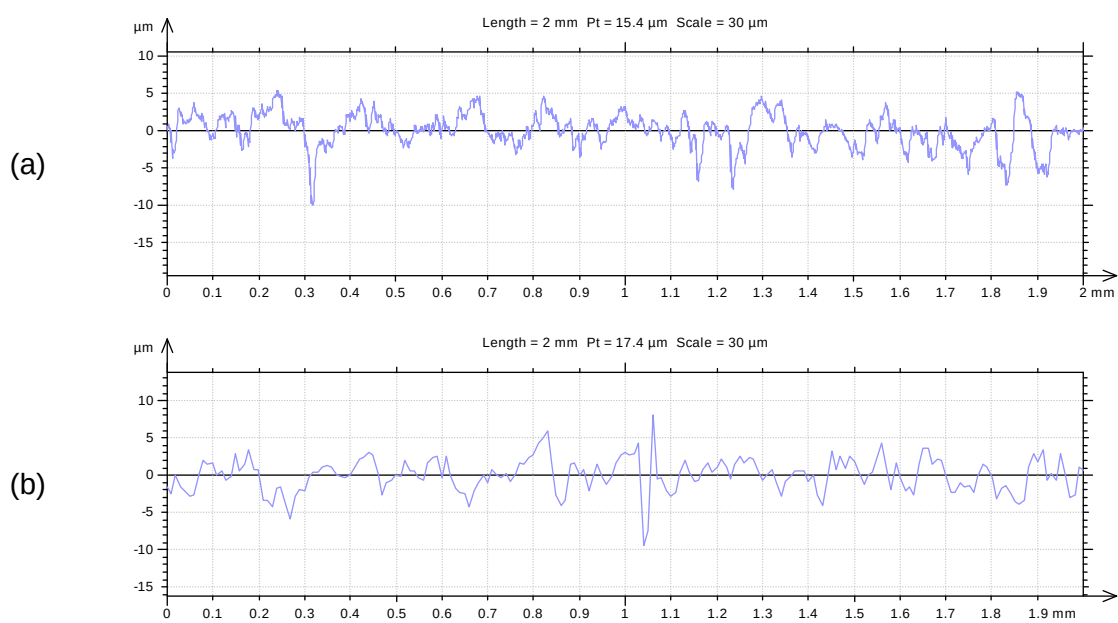


Figura 7.37 – Perfil de rugosidade, (a) leste oeste e (b) norte sul para a amostra AF7

De forma geral, os parâmetros de rugosidade,  $S_a$ ,  $S_q$  e  $S_t$  de AF7 apresentam valores intermediários entre os obtidos para AF5 e AF6. Vale lembrar que AF7 possui a menor perda de massa entre os ensaios.

A partir deste ponto serão avaliadas as amostras em MIG/MAG duplo arame série, DS5 e DS6. A avaliação topográfica de DS5, com mistura de *Stellite 6* e 21, está apresentada na Fig. 7.38.

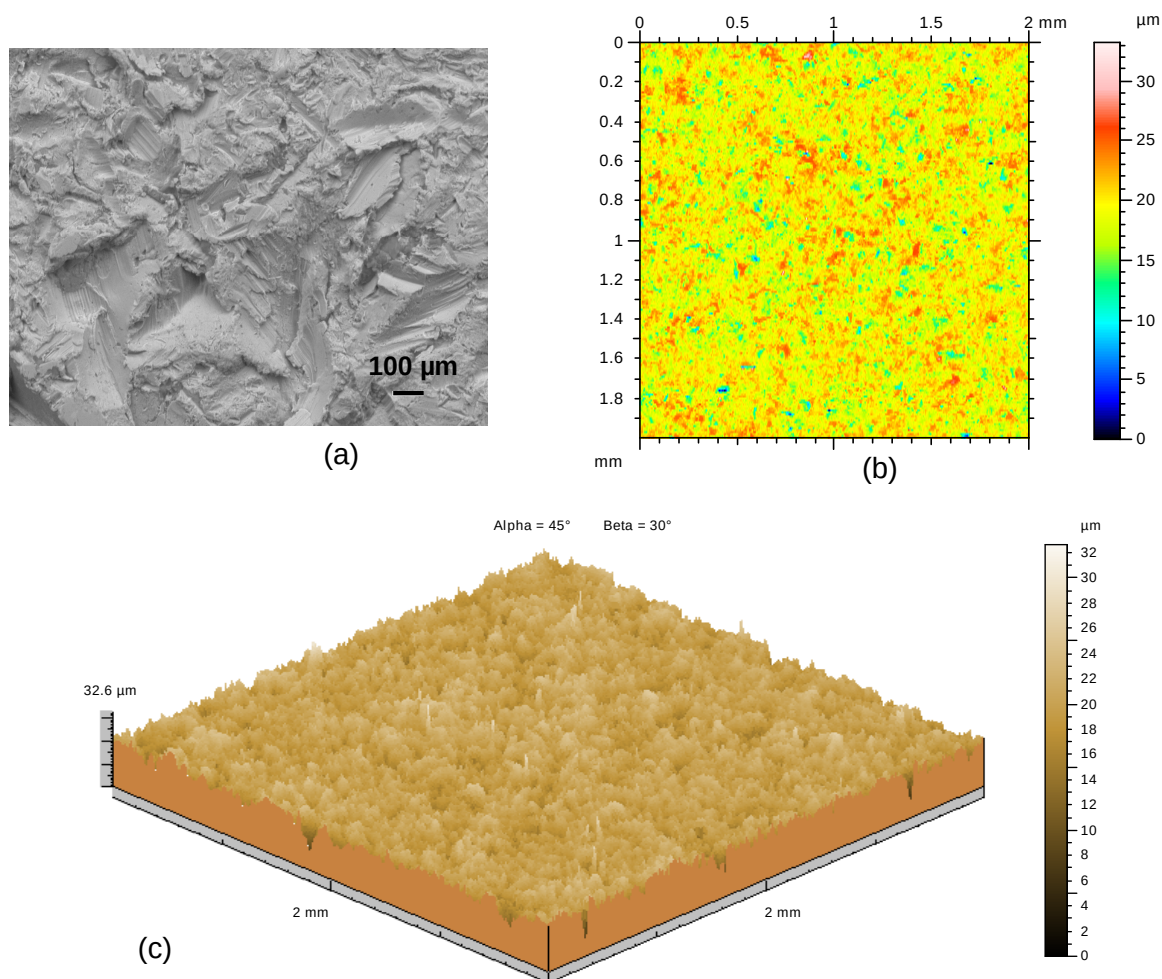


Figura 7.38 – Topografia DS5, (a) MEV, (b) diagrama de nível (c) topografia tridimensional

A Figura 7.39 apresenta o perfil de rugosidade na região central de medição para a direção leste-oeste e norte-sul da amostra DS5. A Tabela 7.21 traz os valores dos parâmetros de rugosidade para DS5.

Tabela 7.21 – Valores de rugosidade para amostra DS5 erodida, parâmetros em  $\mu\text{m}$

| Local             | $S_a$ | $S_q$ | $S_t$  | $S_{sk}$ | $S_{ku}$ | Figura |
|-------------------|-------|-------|--------|----------|----------|--------|
| $A_{\text{Erod}}$ | 1,940 | 2,530 | 33,200 | -0,525   | 4,470    | 7.38   |

Os valores obtidos para os parâmetros de rugosidade de DS5 (Tab. 7.21) estão próximos das demais amostras em MIG/MAG duplo arame série. Nota-se que os valores de  $S_a$ ,  $S_q$  e  $S_t$  para DS5 são elevados quando comparados com os demais ensaios.

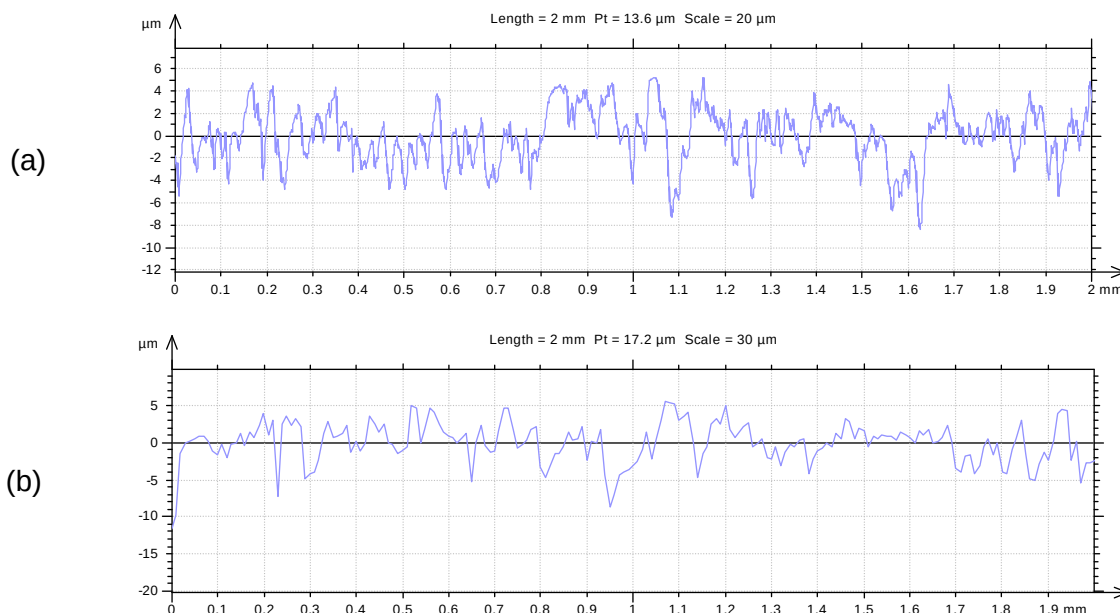


Figura 7.39 – Perfil de rugosidade, (a) leste oeste e (b) norte sul para a amostra DS5

O corpo de prova DS6 soldado com uso de *Stellite 6* e 21 tem seu resultado apresentado na Fig. 7.40, em termos de aspecto topográfico. A Figura 7.41 traz o perfil de rugosidade na região central de medição para a direção leste-oeste e norte-sul da amostra DS6. A Figura 7.40 (c) apresenta pontos pontiagudos, pronunciados e com baixa densidade de material provavelmente devido à maior fragilidade obtida com a adição de maior quantidade de *Stellite 6*.

A Tabela 7.22 apresenta os parâmetros de rugosidade para a amostra DS6. Como mostrado na Tab. 7.22, os parâmetros de rugosidade  $S_a$ ,  $S_q$  e  $S_t$  destacam-se pelos elevados valores, provavelmente afetados pelas irregularidades presentes na superfície erodida.

Tabela 7.22 – Valores de rugosidade para amostra DS6 erodida, parâmetros em  $\mu\text{m}$

| Local             | $S_a$ | $S_q$ | $S_t$  | $S_{sk}$ | $S_{ku}$ | Figura |
|-------------------|-------|-------|--------|----------|----------|--------|
| $A_{\text{Erod}}$ | 2,310 | 2,980 | 40,400 | -0,448   | 4,260    | 7.38   |

Nas Fig. 7.42 a 7.46, fez-se uma análise global dos resultados em termos de rugosidade para todos os ensaios de revestimentos usando ligas de cobalto.

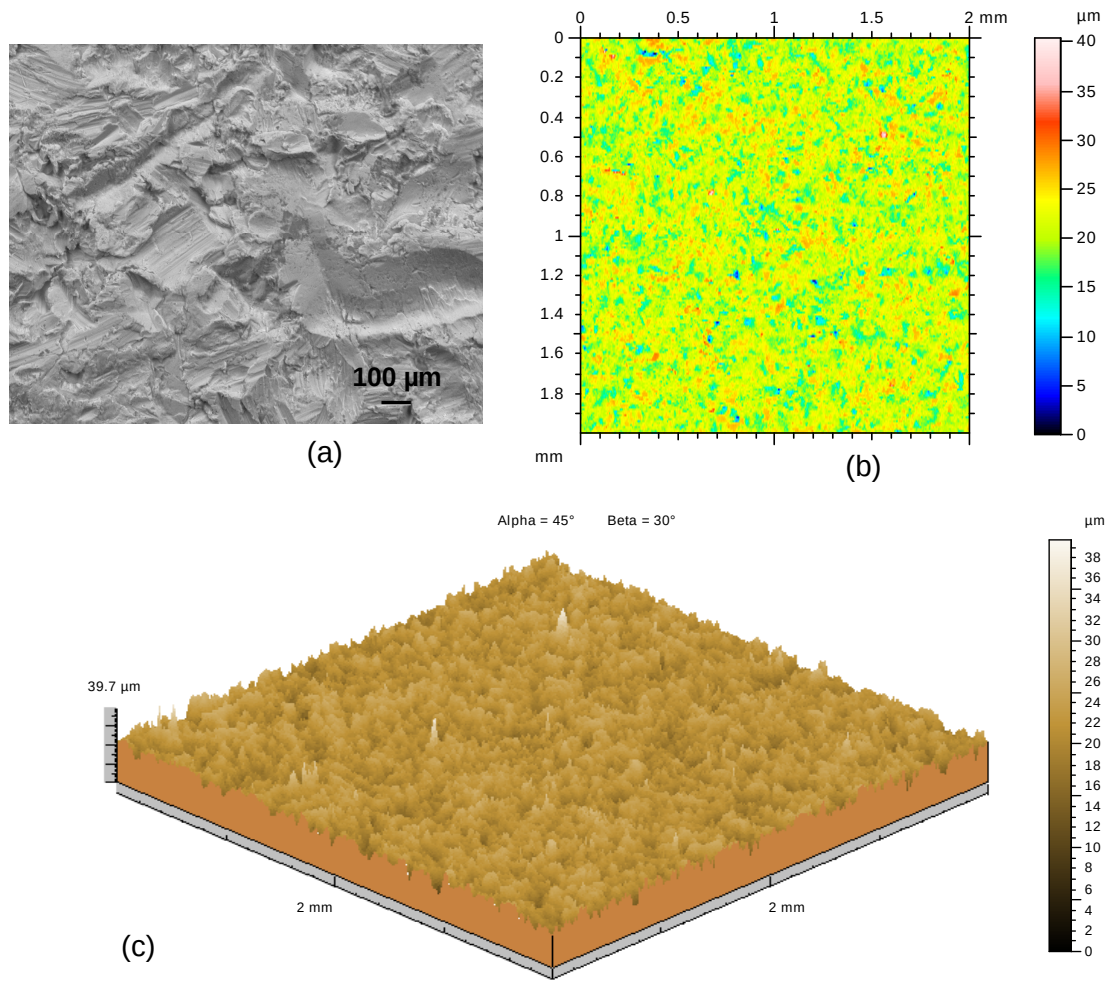


Figura 7.40 – Topografia DS6, (a) MEV, (b) diagrama de nível (c) topografia tridimensional

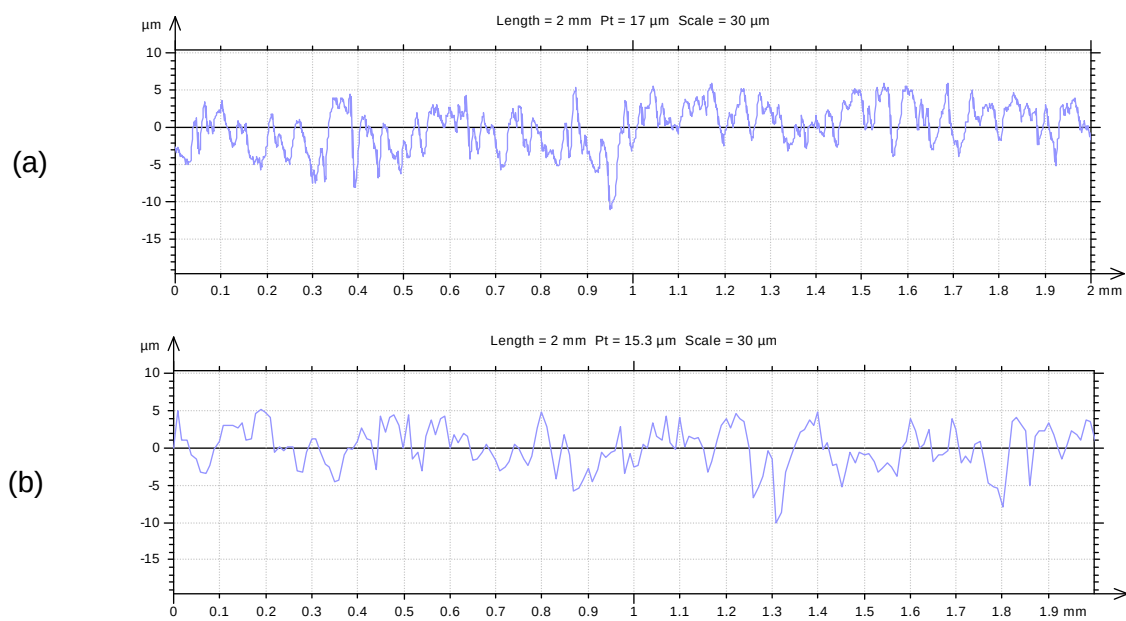


Figura 7.41 – Perfil de rugosidade, (a) leste oeste e (b) norte sul para a amostra DS6

Na Figura 7.42, são mostrados os valores do desvio médio ( $S_a$ ) com uma variação entre 1,5 a 2,5  $\mu\text{m}$  e quadrático ( $S_q$ ) na faixa de 2,0 a 3,0  $\mu\text{m}$ . Observa-se que a amostra DS6 apresenta um elevado valor para os parâmetros  $S_a$  e  $S_q$ , provavelmente devido à influência de uma maior presença de *Stellite 6* na composição, que pode ter gerado uma superfície fragilizada. As amostras com predominância de maior quantidade de *Stellite 21* aparentemente possuem valores próximos, como no caso de AF6 e DS5.

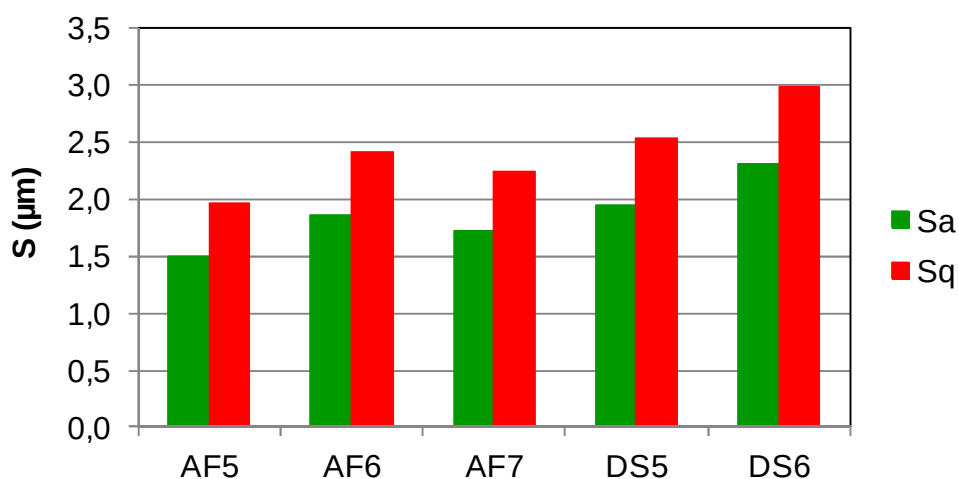


Figura 7.42 – Evolução dos valores de desvio aritmético médio ( $S_a$ ) e desvio quadrático ( $S_q$ )

Com relação à  $S_q$ , têm-se um valor elevado para a amostra DS5, devido principalmente à presença de picos isolados e com grande intensidade. Portanto, a presença da liga *Stellite 6* em AF6 pode ter contribuído para um maior  $S_a$  e  $S_q$ .

O parâmetro altura total ( $St$ ) está na Fig. 7.43, com os valores para AF5, AF7 e DS5 próximos ao valor de 30  $\mu\text{m}$ . Para AF6 e DS6, os maiores valores observados são superiores a 40  $\mu\text{m}$ .

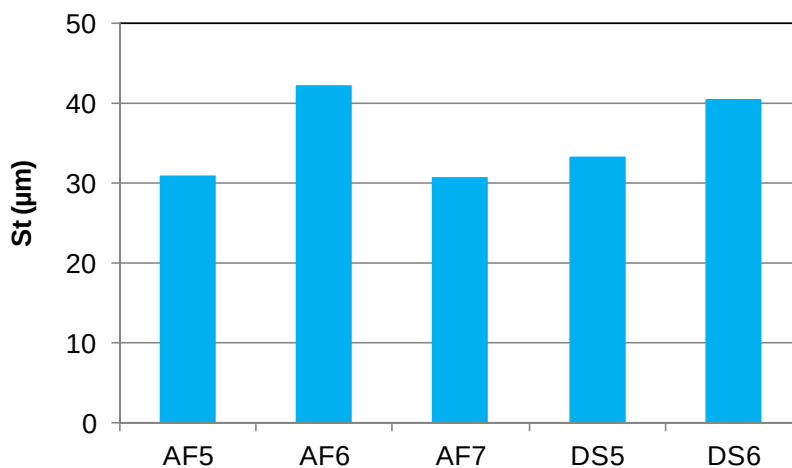


Figura 7.43 – Evolução do parâmetro  $St$  altura total

O fator de assimetria (Ssk) em todos os testes é negativo (Fig. 7.44), indicando o perfil do tipo platô. Nota-se o maior valor em módulo para AF7, provavelmente devido à presença de picos e vales isolados na amostra. Os demais resultados estão próximos a -0,5. O fato de DS6 possuir o menor Ssk pode indicar que existe a presença de picos e vales de forma bem distribuída na amostra.

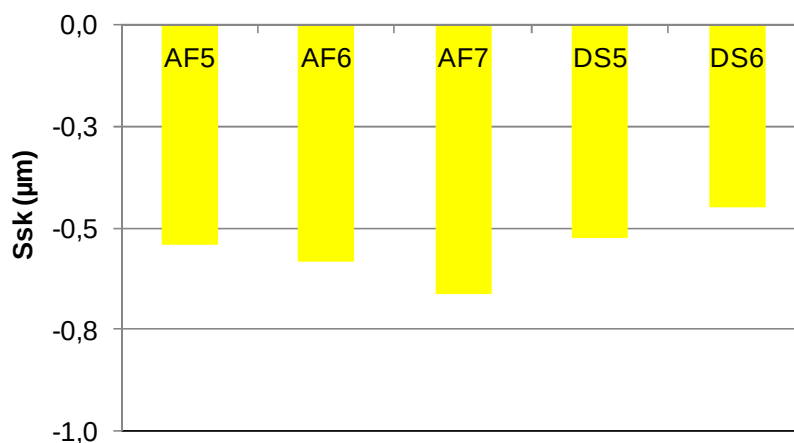


Figura 7.44 – Evolução do parâmetro Ssk fator de assimetria

Os valores do achatamento do perfil (Fig. 7.45) variaram na faixa de 4 a 5  $\mu\text{m}$ . Os valores mais próximos a 3 são para DS6, indicando a presença de uma distribuição normal. O ensaio AF5 com maior desgaste também apresentou o maior Sku.

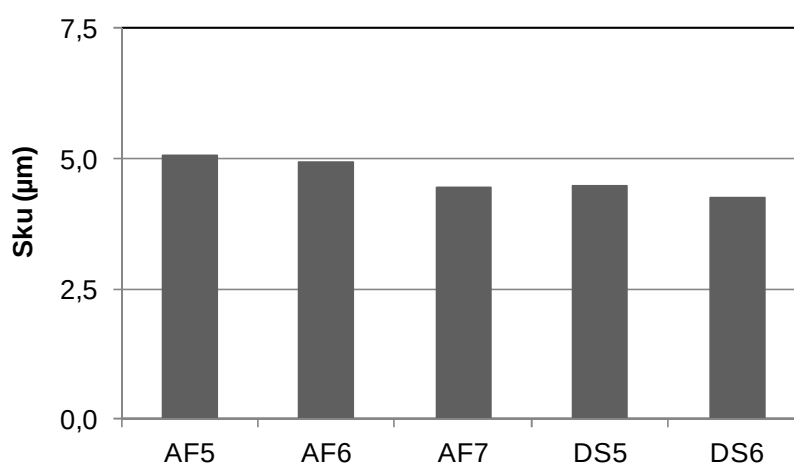


Figura 7.45 – Evolução do parâmetro Sku fator de achatamento do perfil avaliado (kurtosis)

Em relação à avaliação conjunta de assimetria e achatamento (Fig. 7.46), o menor espaço amostral percorrido foi para a amostra AF7, em consonância com o esperado devido à sua menor taxa de erosão.

Nota-se um distanciamento em relação à amostra inicial proporcional à taxa de erosão, ou seja, do menor desgaste para o maior (respectivamente de AF7 a AF5).

Um fato importante na avaliação dos resultados é que a baixa perda de massa apresentada pelos corpos de prova em liga de cobalto correspondeu a valores semelhantes de rugosidade, bem como características similares de assimetria e achatamento.

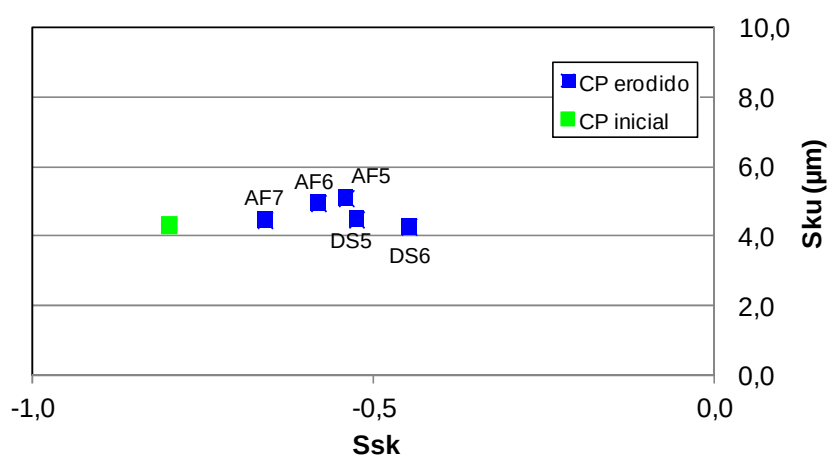


Figura 7.46 – Evolução de SSk Fator de assimetria e Sku fator de achatamento do perfil avaliado (kurtosis)

As evidências obtidas por Camacho et al. (2013) de que materiais mais resistentes à erosão proporcionam menores rugosidades aplicadas ao aço inoxidável austenítico não são completamente aplicáveis às ligas de cobalto. Existem evidências ao avaliar a Fig. 7.42 de que AF7 esteja situada entre as amostras de menor Ra e Rq, maior somente de que AF5. Na Figura 7.43, a amostra AF7 também se situa entre os menores valores de St.

De Mello (1985) identificou, para o desgaste abrasivo a três corpos, que os menores domínios no espaço morfológico correspondem às menores taxas de erosão. Comparando-se as taxas de erosão das ligas de *Stellite*, observa-se que os menores valores correspondem também aos mais baixos domínios na Fig. 7.46. Ao avaliar o espaço morfológico (Fig. 7.46), os resultados são compatíveis aos de De Mello (1985), sendo a amostra AF7 a mais próxima da condição inicial para o MIG/MAG arame frio e DS5 para o processo MIG/MAG duplo arame série.

## 7.5. Testes de cavitação

Neste item, são apresentados e discutidos os resultados de erosão cavitacional nas amostras soldadas com liga de cobalto para o processo MIG/MAG arame frio. Os ensaios com liga de cobalto contemplam a amostra AF5 com o arame energizado em *Stellite 6*, AF6 com adição de *Stellite 21* no arame eletrodo e AF7 somente com *Stellite 21*.

A análise da perda de massa foi realizada pelo método gravimétrico, com a avaliação da rugosidade feita através de interferometria e MEV. Na averiguação final, obtiveram-se parâmetros de rugosidade e imagens da superfície desgastada.

Para o MIG/MAG duplo arame série devido ao fato mostrado na Fig. 7.5 de alta concavidade e estreitamento no passe de solda, não se sucedeu a retirada de corpos de prova para a cavitação, uma vez que as amostras são de maiores dimensões.

### 7.5.1. Desempenho durante a cavitação

As amostras em ligas de cobalto soldadas pelo processo MIG/MAG arame frio foram submetidas ao ensaio de cavitação por 40 horas.

Na Tabela D.6, do Apêndice D, são apresentados os resultados para a amostra AF5. É possível notar que para vários intervalos de 1 hora não ocorreu perda de massa significativa.

Em geral, existiram pontos de perda de massa maiores, com valores em torno de 0,1 a 0,2 mg/h que são referentes aos pontos de 1, 10, 12, 20 e 22 horas. A perda de massa total atingiu o valor de 1,4 mg, sendo muito inferior aos valores obtidos para a aplicação em MIG/MAG arame frio com aço inoxidável austenítico e combinação com as ligas de cobalto. Na Tabela 6.32, a amostra AF3 tem perda de massa total de 18,42 mg e AF4 (Tab. 6.33) com 30,68 mg, conforme detalhado no Capítulo VI.

Ao comparar com valores de perda de massa dos aços inoxidáveis austeníticos, a diferença torna-se extremamente significativa. Por exemplo, a amostra DA4 soldada com ambos os arames em aço inoxidável austenítico nos intervalos de 11<sup>a</sup>, 14<sup>a</sup> e 17<sup>a</sup> hora de ensaio de cavitação tem valores de perda de massa instantânea (ver Tab. 5.42), próximos ao valor total das 40 horas de AF5.

Na Figura 7.47, está apresentada a taxa de erosão para o ensaio AF5. Os pontos de desgaste de maior nitidez são os já citados com perda de massa acima de 0,1 mg/h. Os demais são de pouca variação, sendo necessário muito rigor nas medições de massa para detectar qualquer mudança.

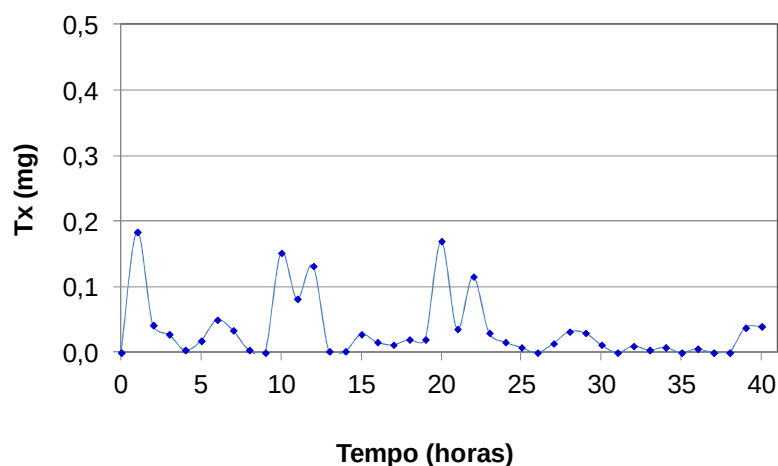


Figura 7.47 – Taxa de cavitação da amostra AF5

A perda de massa acumulada está apresentada na Fig. 7.48, destacando-se uma característica diferenciada da curva, com formação de degraus de crescimento do desgaste. Isto acontece porque a existência de um ponto de perda de massa detectado como, por exemplo, em 10 horas gera um salto na Fig. 7.48. Na sequência do teste, a perda de massa é pequena com o aspecto de formação de uma linha levemente inclinada entre 10 e 20 horas.

Ao usar a metodologia da taxa de erosão média, através de ajuste de uma curva regressão linear o valor é de 0,0148 mg/h (Fig. 7.49).

Usou-se a faixa de perda de massa de 20 a 40 horas por representar uma região considerável e íngreme da curva, como recomenda a ASTM G32-10 (2010). A correlação é baixa para o ensaio de cavitação de AF5 em decorrência da flutuação na perda de massa para alguns pontos isolados, sendo comuns valores próximos a zero.

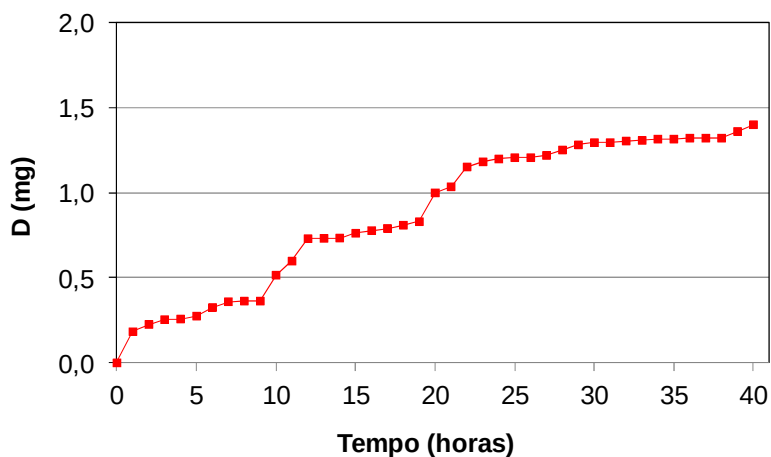


Figura 7.48 – Perda de massa acumulada por cavitação da amostra AF5

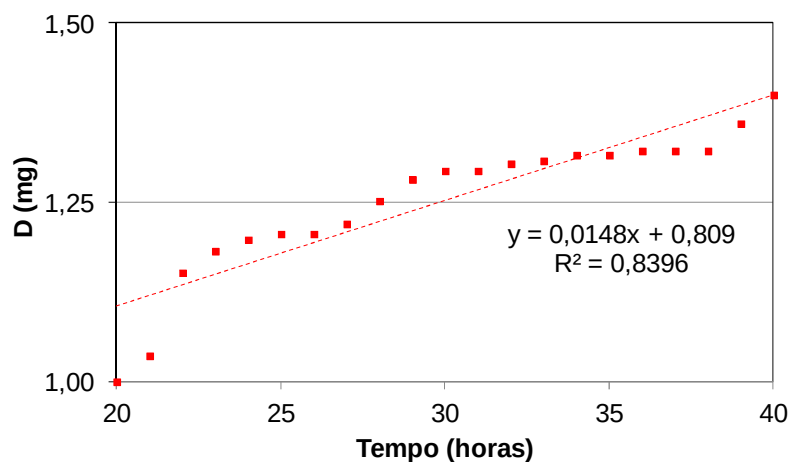


Figura 7.49 – Taxa de cavitação para a amostra erodida AF5 entre 20 e 40 horas

O ensaio AF6, com uma maior quantidade da liga de cobalto *Stellite 21*, tem a perda de massa apresentada na Tab. D.7. O ensaio apresentou uma taxa de erosão levemente superior à AF5, com uma variação no somatório da perda de massa acumulada perceptível, atingindo um total de 3,204 mg. A Figura 7.50 apresenta a taxa de erosão para AF6, com picos de maior intensidade em 16 e 17 horas.

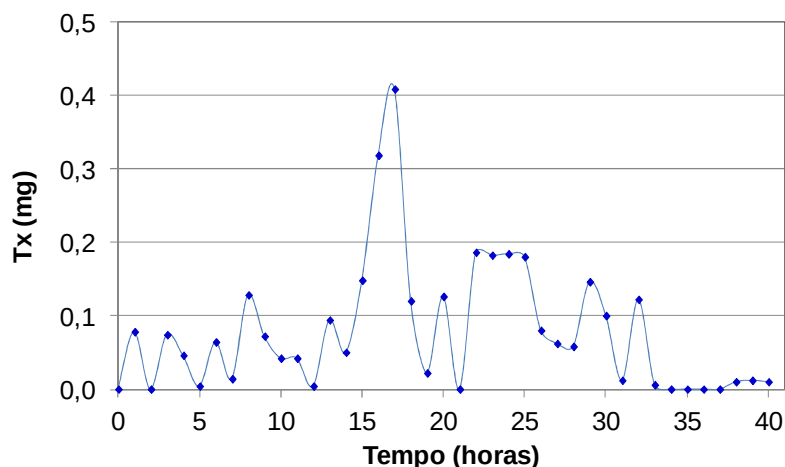


Figura 7.50 – Taxa de erosão por cavitação da amostra AF6

A perda de massa acumulada no ensaio AF6 está apresentada na Fig. 7.51. Ocorreu um ponto de elevação na perda de massa acumulada logo após as 15 horas. Para o estágio após 30 horas, houve uma estabilização da perda de massa acumulada, tendo em vista que o valor da taxa de erosão aproxima-se de zero.

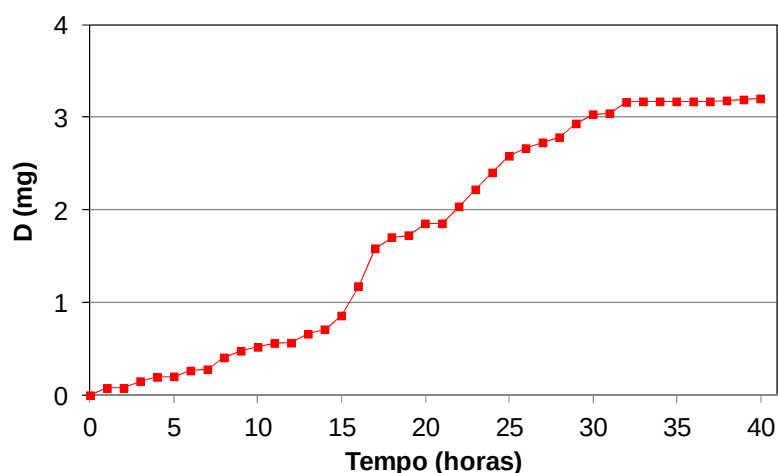


Figura 7.51 – Perda de massa acumulada por cavitação da amostra AF6

Na Figura 7.52, a taxa de erosão média da amostra AF6 foi de 0,069 mg/h, com uma correlação de 84,24%.

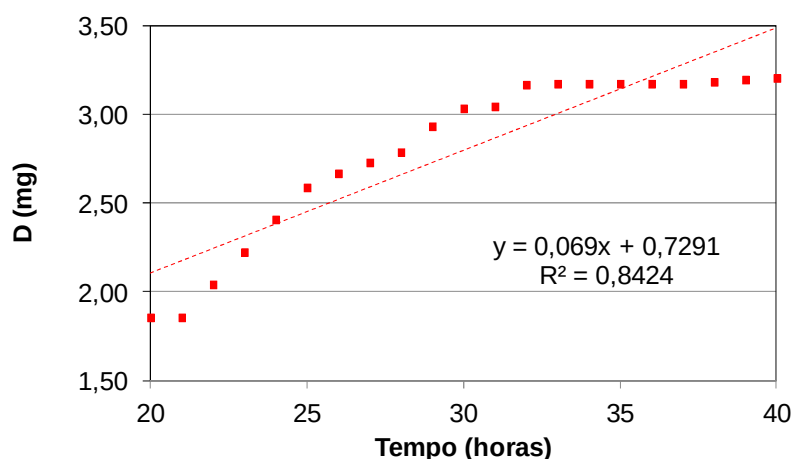


Figura 7.52 – Taxa de cavitação para a amostra AF6 entre 20 e 40 horas

A mistura de arames proposta em AF6 apresentou um desempenho inferior à AF5 com relação ao desgaste por cavitação. Entretanto, ao comparar com os demais ensaios com uso de aço inoxidável austenítico, o desgaste de AF5 é extremamente inferior.

A Tabela D.8 apresenta o desempenho do ensaio AF7 com relação à perda de massa acumulada. Lembrando que o ensaio AF7 foi soldado com MIG/MAG convencional, usando o arame *Stellite 21*.

A perda de massa acumulada atingiu valores da ordem 1,79 mg, com pontos de leve crescimento às 8, 11, 16 e 30 horas. Na Figura 7.53, a taxa de erosão instantânea de AF7 apresentou picos relevantes com maior perda de massa. Com isso, a evolução da perda de massa acumulada em AF7 (Fig. 7.54) possui degraus, como no caso do teste AF5.

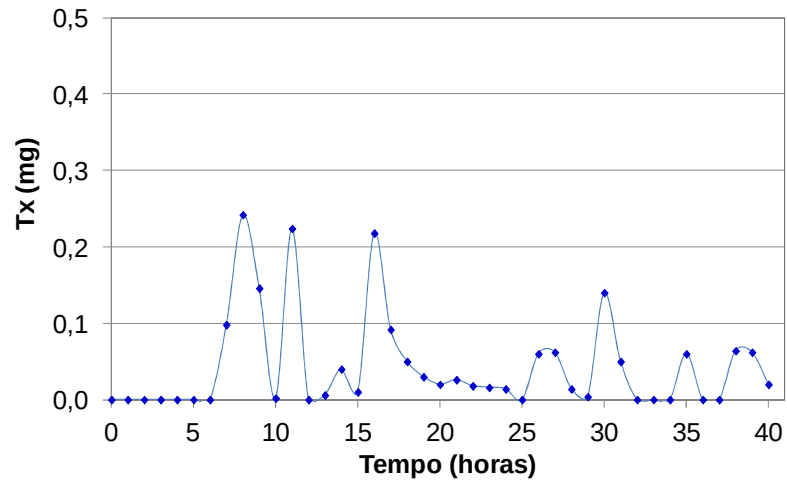


Figura 7.53 – Taxa de cavitação da amostra AF7

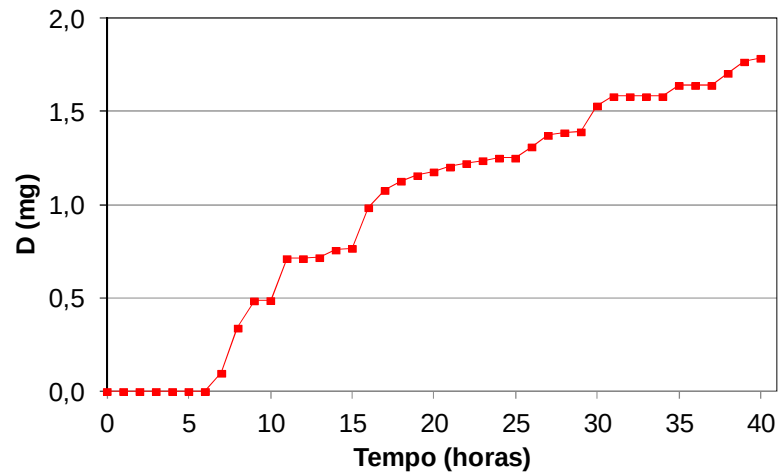


Figura 7.54 – Perda de massa acumulada por cavitação da amostra AF7

A Figura 7.55 apresenta a taxa de cavitação média para o ensaio AF7, com valor da ordem de 0,03 mg/h e correlação de 96,82%.

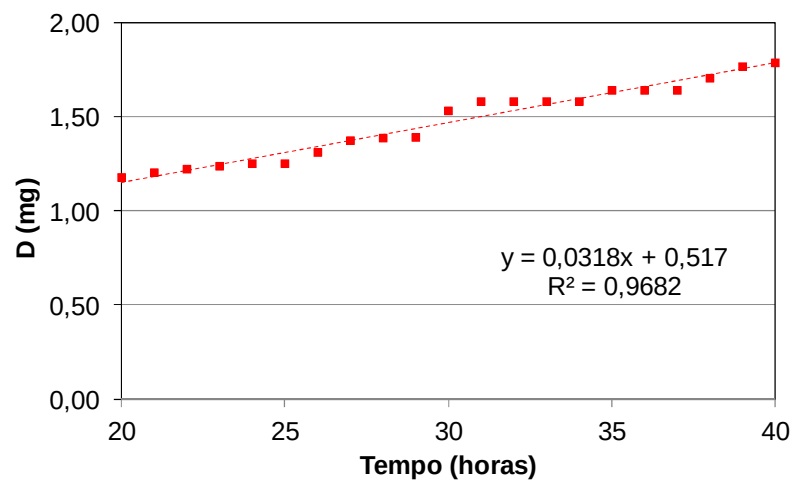


Figura 7.55 – Taxa de cavitação para a amostra erodida AF7 entre 20 e 40 horas

Em AF7, como os valores da perda de massa apresentaram uma menor variação, com um crescimento relativamente uniforme, a correlação apresentada é maior.

### 7.5.2. Avaliação Final dos resultados de cavitação em MIG/MAG arame frio

Este tópico tem como objetivo comparar os resultados em termos de taxa de erosão e perda de massa acumulada para a cavitação em MIG/MAG arame frio, em todas as diferentes combinações de arames em aço inoxidável austenítico e/ou ligas de cobalto.

Na Figura 7.56, têm-se os resultados do ensaio de cavitação em termos de taxa de erosão. De forma geral, na Fig. 7.56, os resultados da taxa de erosão conservam-se superiores para os ensaios com o arame energizado e frio em aço inoxidável austenítico, como no caso dos ensaios AF1 e AF2. Tais resultados estão coerentes com Santa et al. (2011) que obtiveram uma redução de 950% na taxa de erosão por cavitação ao comparar o revestimento em aço inoxidável austenítico AWS E309 e ligas de cobalto depositado pelo processo eletrodo revestido.

A presença do arame frio em liga de cobalto sempre proporcionou uma redução na perda de massa, destacando-se o *Stellite 6*. Da mesma forma, o arame frio e energizado em liga de cobalto como em AF5, AF6 e AF7 reduziu drasticamente a taxa de erosão. Constatou-se uma perda de massa praticamente insignificante no caso de AF5 com uso de *Stellite 6* energizado. Resultados similares foram obtidos por Hattori e Mikami (2009), comparando a erosão por cavitação em aço inoxidável austenítico e ligas de cobalto *Stellite 6* e 21.

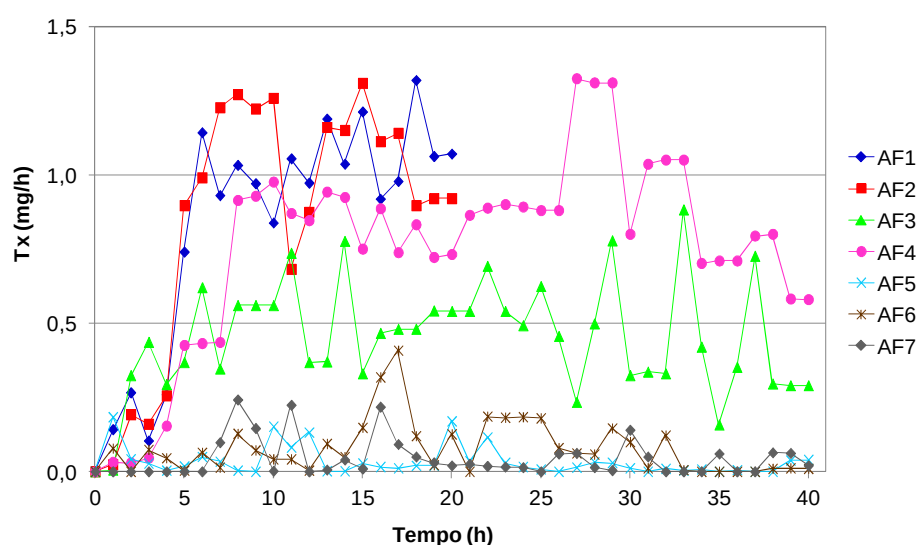


Figura 7.56 – Resultados da taxa de cavitação para os ensaios em MIG/MAG arame frio

Avaliando a perda de massa acumulada para os ensaios em MIG/MAG arame frio, a Fig. 7.57 traz o comportamento para os revestimentos realizados.

O comportamento de AF1 e AF2 é similar, com uma tendência de crescimento elevado da perda de massa após a 5ª hora. O ensaio AF4 ao utilizar somente o arame frio em *Stellite 21* apresenta uma redução do desgaste. No mesmo sentido, Beiler (2012) ao estudar a utilização da liga Cavitalloy (aço inoxidável austenítico ao cobalto) aplicadas diretamente ao metal base em revestimento soldado percebeu uma sensível redução na taxa de erosão por cavitação, em comparação com peças previamente amanteigadas com aço inoxidável 309.

Entretanto, é notório o melhor desempenho ao usar o *Stellite 6*, mesmo somente como arame frio em AF3. Em geral, os ensaios usando somente ligas de cobalto indicam que a combinação de arame *Stellite 6* energizado e *Stellite 21* no arame frio tem o melhor comportamento em relação à perda de massa acumulada. Na erosão por cavitação, persistem fortes indícios de que o arame *Stellite 6* proporciona resultados melhores, tanto no arame energizado como na combinação com o aço inoxidável austenítico.

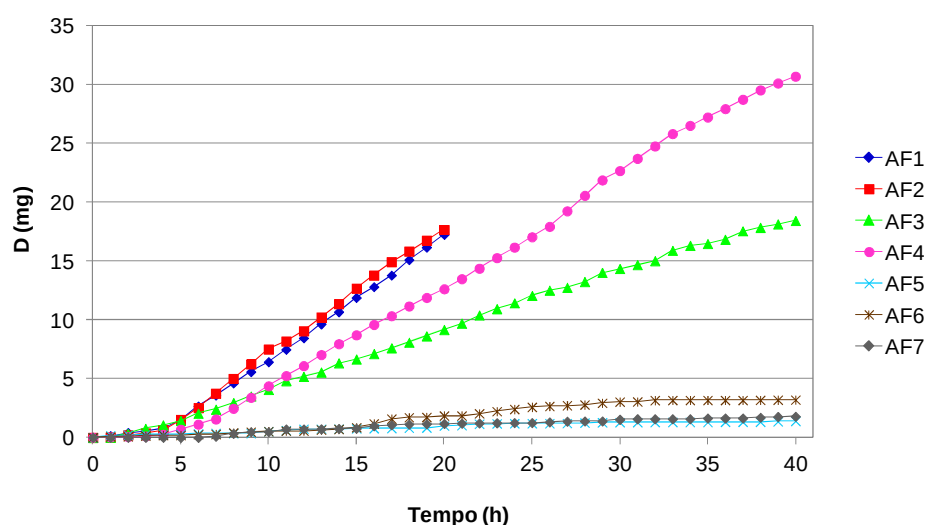


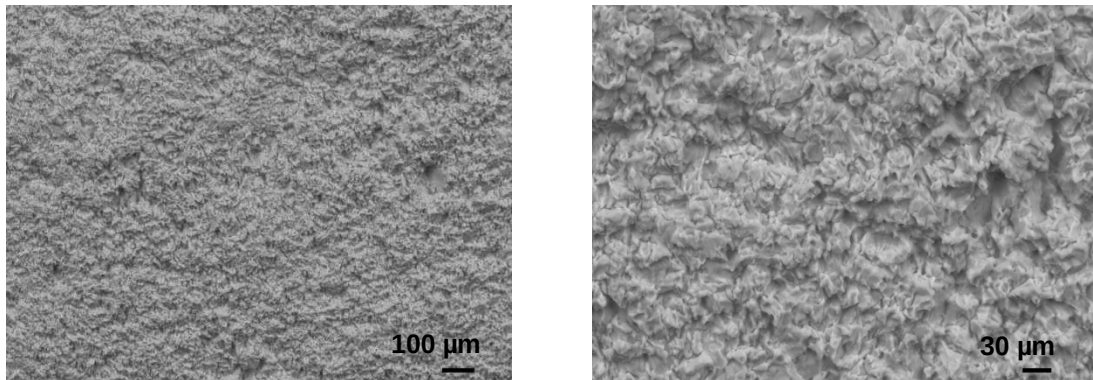
Figura 7.57 – Resultados de perda de massa acumulada para os ensaios em MIG/MAG arame frio

### 7.5.3. Análise das características topográficas das amostras cavitadas

As amostras soldadas pelo processo MIG/MAG arame frio cavitadas foram analisadas com relação a sua característica superficial.

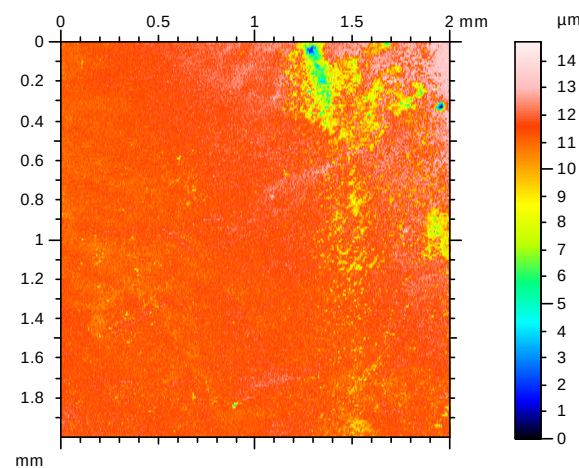
A Figura 7.58 apresenta a superfície de AF5, no qual o eletrodo é em *Stellite 6* e o arame frio em *Stellite 21*, com a presença de uma região com vales pronunciados no corpo

de prova. De forma geral, a amostra apresenta uma rugosidade relativamente baixa quando comparada aos demais ensaios.

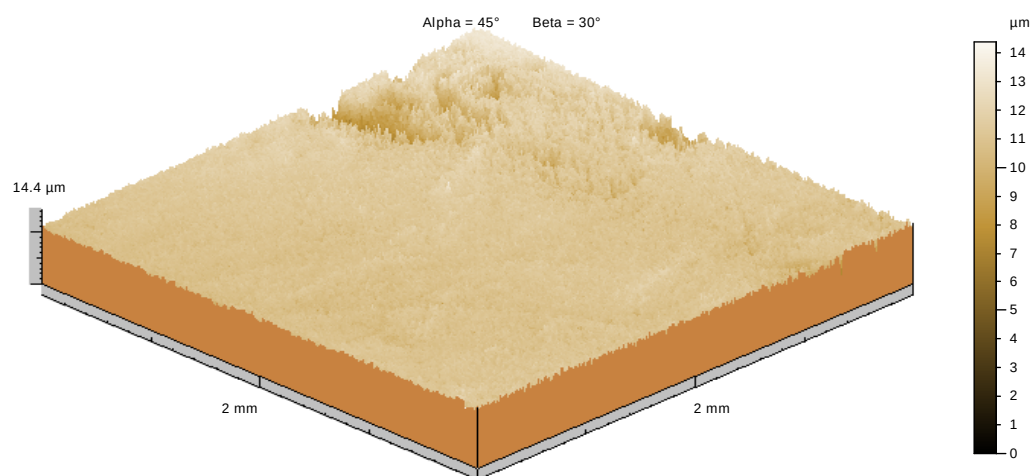


(a)

(b)



(c)



(d)

Figura 7.58 – Aspecto topográfico da amostra cavitada AF5

Na Figura 7.59, têm-se a avaliação da rugosidade em diversas partes do corpo de prova. Ao avaliar linearmente a região central, nota-se na Fig. 7.59 (a) uma região do lado direito com uma elevada rugosidade, coincidente com a área de vales profundos. Na Figura 7.59 (c), aconteceu um aprofundamento nas bordas com regiões de vales profundos próximo a seu extremo.

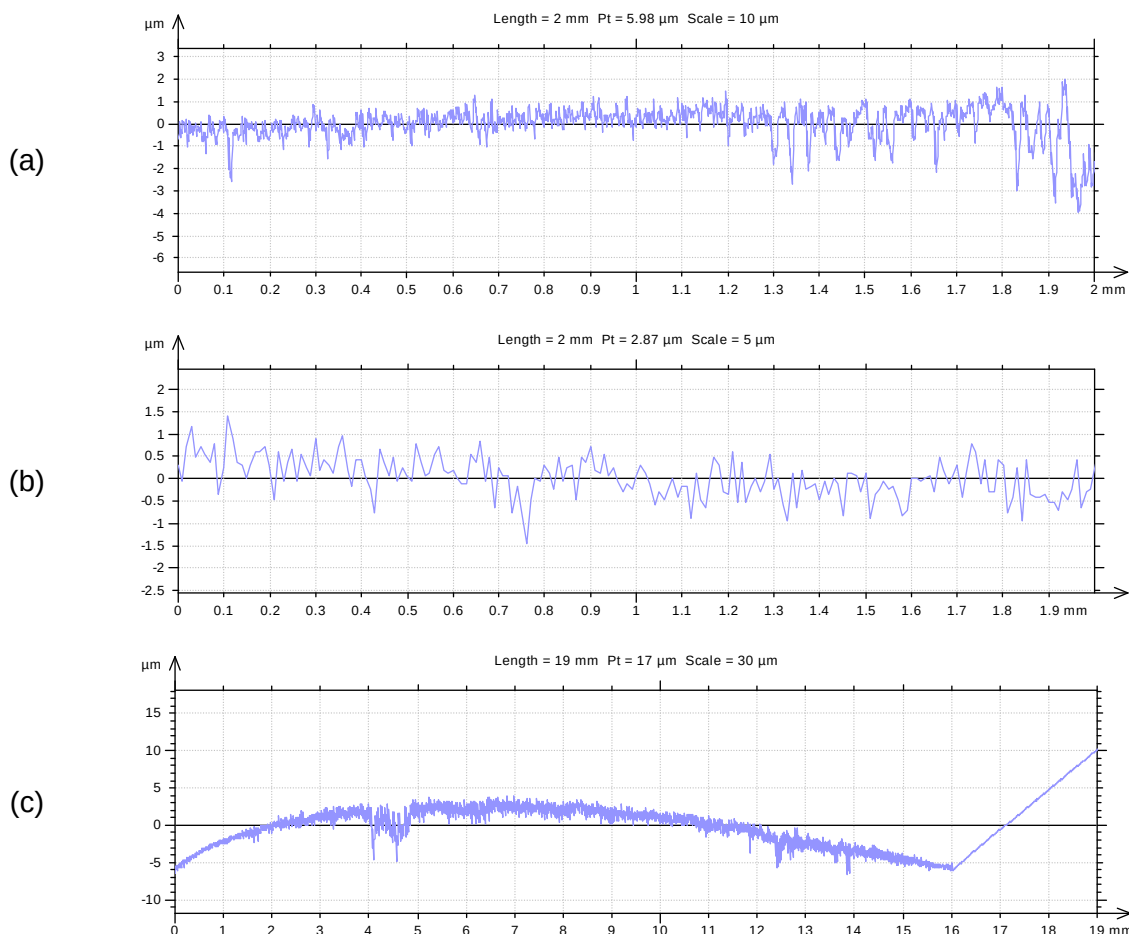


Figura 7.59 – Perfil de rugosidade, (a) leste oeste, (b) norte sul e (c) perfil ao longo do diâmetro da amostra cavitada AF5

Na Tabela 7.23, têm-se os valores dos parâmetros de rugosidade para a amostra AF5. Em geral os parâmetros de rugosidade média e quadrática foram pequenos, quando comparados com os demais ensaios.

Tabela 7.23 – Valores de rugosidade para amostra AF5 cavitada, parâmetros em μm

| Local            | Sa    | Sq    | St     | Sp    | Sv     | Ssk    | Sku    | Figura |
|------------------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|
| A <sub>Cav</sub> | 0,567 | 0,891 | 14,700 | 3,420 | 11,300 | -2,320 | 15,800 | 7.58   |

Na Tabela 7.23, afetados pela presença de vales profundos,  $St$  tem valor de  $14,7 \mu\text{m}$ , sendo que  $Sv$  está com  $11,3 \mu\text{m}$ . O valor de  $Ssk$  é negativo, indicando a presença de um perfil do tipo platô e o valor de  $Sku$  é muito superior a 3, devido à presença de vales muito isolados. Ao avaliar o perfil da seção longitudinal, é observado que a rugosidade está próxima aos valores das demais regiões analisadas. O valor de  $Sv = 1,75 \mu\text{m}$  no perfil longitudinal indica que o aprofundamento devido ao desgaste por cavitação pode ter alcançado este valor principalmente nas regiões próximas as bordas.

A amostra AF6, soldada com eletrodo em *Stellite 21* e arame frio em *Stellite 6*, tem o perfil superficial mostrado na Fig. 7.60. Nota-se que, na Fig. 7.60 (a), existem relevos orientados em diagonal, provavelmente porque a cavitação não foi capaz de erodir as impressões do lixamento. Outra evidência é que as ondas geradas pelo sonotrodo parecem deixar uma marca impressa na amostra de forma circular, como pode ser visto na Fig. 7.60 (b) e (c). No diagrama de nível da amostra, também são notados alguns pontos isolados de vales profundos.

Na Figura 7.61, é apresentado o perfil bidimensional de rugosidade para as regiões avaliadas na amostra e na Tab. 7.24, os valores dos parâmetros de rugosidade.

Tabela 7.24 – Valores de rugosidade para amostra AF6 para o ensaio de cavitação

| Local            | Sa    | Sq    | St     | Sp    | Sv     | Ssk     | Sku    | Figura   |
|------------------|-------|-------|--------|-------|--------|---------|--------|----------|
| A <sub>Cav</sub> | 0,445 | 0,829 | 34,800 | 3,300 | 31,500 | -11,100 | 28,300 | 7.60 (d) |

Nota-se que próximo ao centro existe um ponto de grande aprofundamento que atinge o valor de  $Rv = 5,37 \mu\text{m}$  (Fig. 7.61 a). Os valores dos parâmetros de rugosidade  $Sa$  e  $Sq$  na Tab. 7.32 para AF6 são próximos aos obtidos para AF5. O valor de  $Sv$  para o perfil longitudinal está em  $1,87 \mu\text{m}$  na Tab. 7.24 indicando a presença de um aprofundamento no perfil ao longo da seção transversal.

Na Figura 7.62, é apresentado o perfil de rugosidade de AF7, soldada com *Stellite 21* pelo processo MIG/MAG convencional, que tem regiões com vales poucos profundos e picos agrupados com um aspecto gramas. Na Figura 7.62 (a) e (b), as marcas de lixamento não foram totalmente eliminadas durante a cavitação de AF7, de forma similar a AF6.

De acordo com a Fig. 7.63, a rugosidade da amostra apresentou picos e vales pronunciados na região central. Constata-se que na seção transversal esta amostra apresenta uma rugosidade com vales profundos.

Os valores dos parâmetros de rugosidade estão na Tab. 7.25, destacando-se pela proximidade dos valores entre AF5 e AF7.

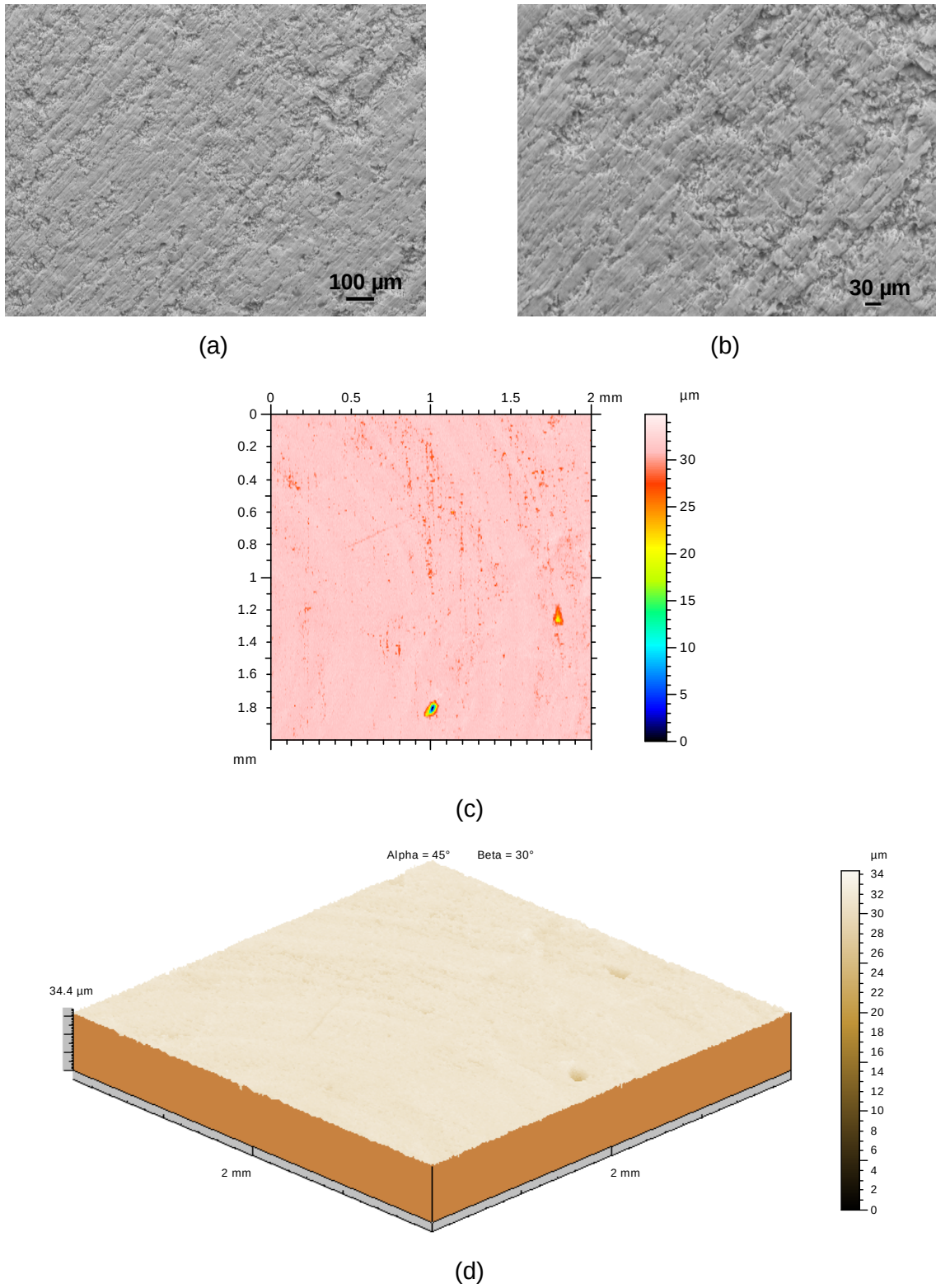


Figura 7.60 – Aspecto topográfico da amostra cavitada AF6, (a) MEV 1.000X, (b) MEV 2.000X, (c) diagrama de nível e (d) topografia tridimensional

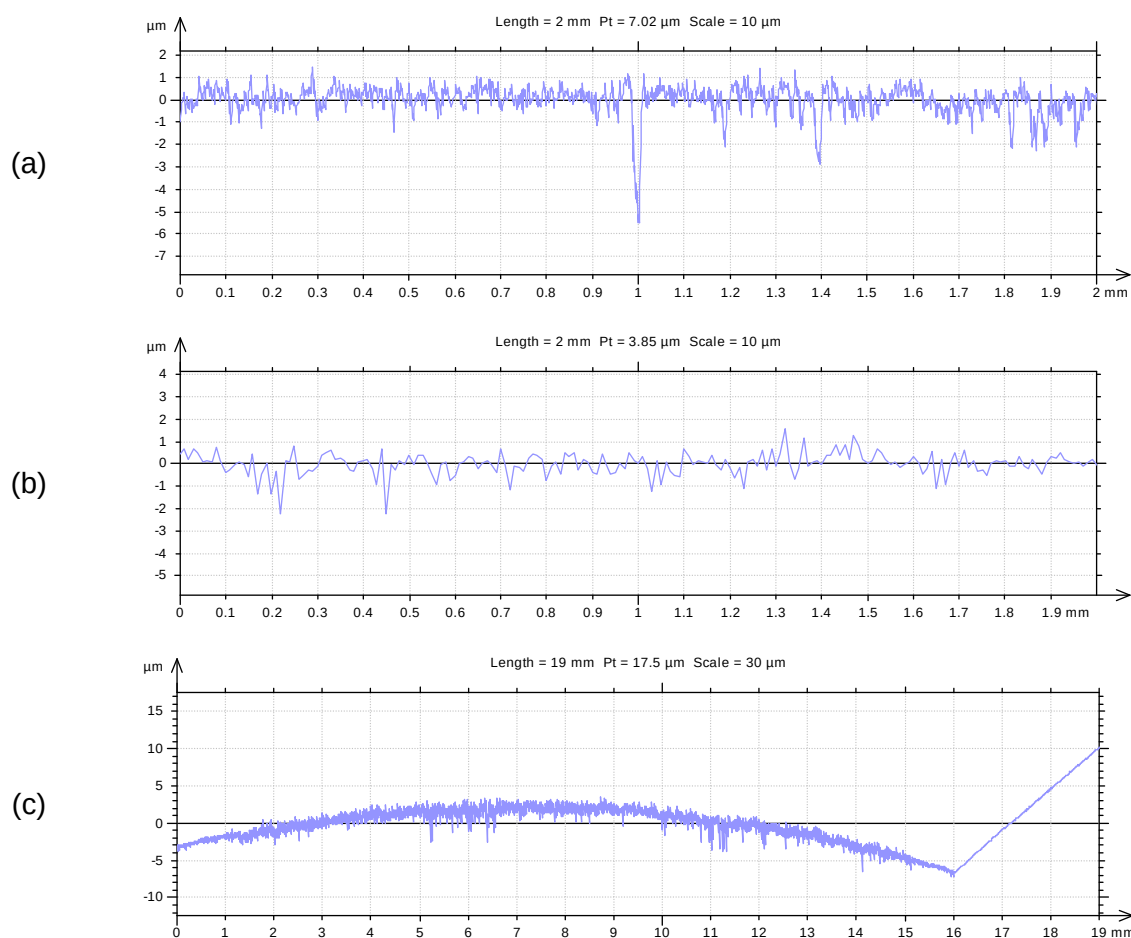


Figura 7.61 – Perfil de rugosidade, (a) leste oeste, (b) norte sul e (c) perfil ao longo do diâmetro da amostra cavitada AF6

Tabela 7.25 – Valores de rugosidade para amostra AF7 para o ensaio de cavitação

| Local            | Sa    | Sq    | St     | Sp    | Sv    | Ssk    | Sku   | Figura   |
|------------------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|----------|
| $A_{\text{Cav}}$ | 0,473 | 0,627 | 11,400 | 3,360 | 8,060 | -0,734 | 6,170 | 7.62 (d) |

Analisando as respostas em termos de rugosidade, a Fig. 7.64 apresenta o desvio aritmético médio e quadrático do perfil ( $S_a$  e  $S_q$ ). Em geral, a amostra AF5 possui maior valor de  $S_a$  e  $S_q$ , principalmente decorrente do desgaste preferencial em determinadas regiões, apesar da baixa perda de massa.

Com relação ao parâmetro de altura total  $St$ , na Fig. 7.65, o valor de maior amplitude é o de AF6. Nota-se que o maior desgaste por cavitação provavelmente proporcione uma amplificação dos valores dos vales, como é o caso de pior desempenho para AF6.

A maior amplitude para AF6 está vinculada à presença de vales profundos e isolados na amostra (Fig. 7.60 c e d). A amostra AF5 possui um valor superior à AF7 em

consequência da existência de regiões desgastadas preferencialmente. Logo, a amostra com melhor desempenho à cavitação possui os menores valores de  $St$  e  $S_v$ .

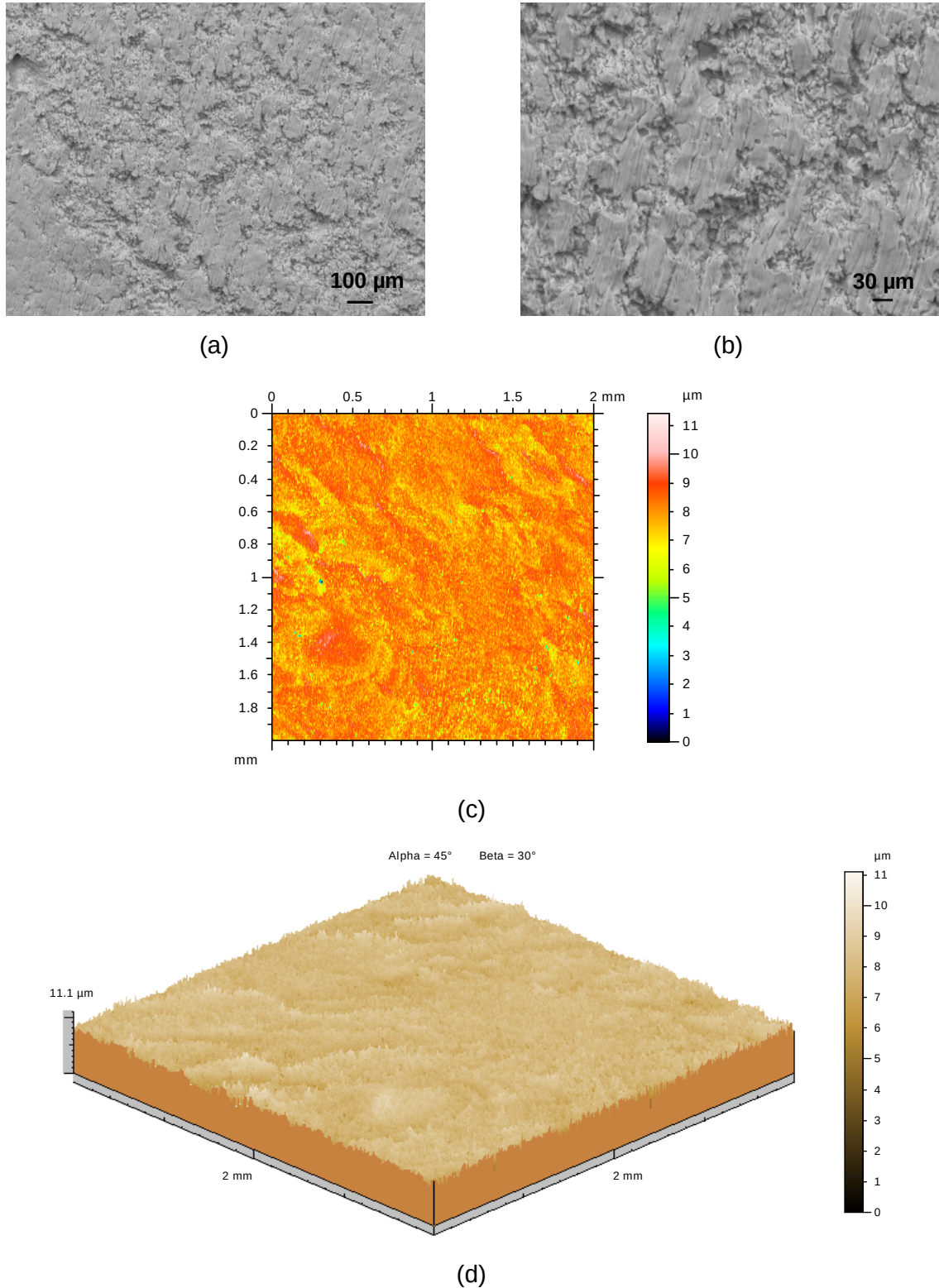


Figura 7.62 – Aspecto topográfico da amostra cavitada AF7, (a) MEV 1.000X, (b) MEV 2.000X, (c) diagrama de nível e (d) topografia tridimensional

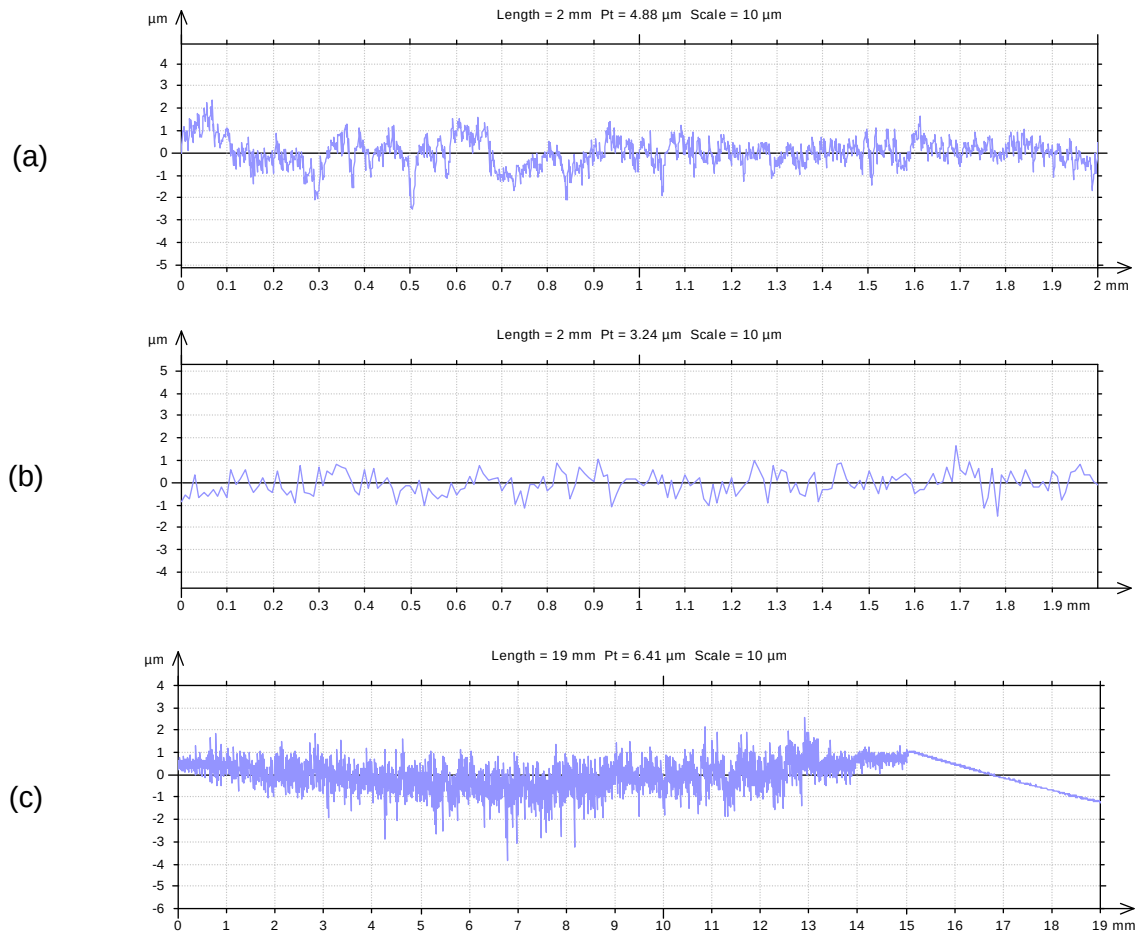


Figura 7.63 – Perfil de rugosidade, (a) leste oeste, (b) norte sul e (c) perfil ao longo do diâmetro da amostra cavitada AF7

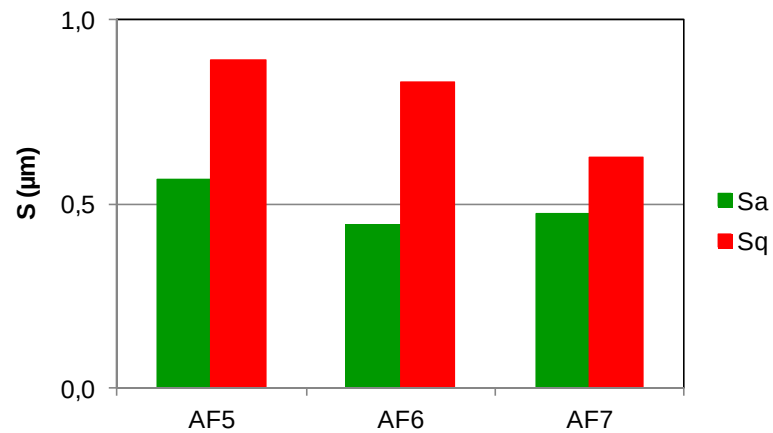


Figura 7.64 – Parâmetro Sa desvio aritmético médio do perfil e Sq desvio médio quadrático

Na Fig. 7.66, é apresentado o fator de assimetria, com todos os valores de Ssk em uma posição negativa, indicando um perfil do tipo platô. A amostra AF6 está com maior valor

absoluto em decorrência de um perfil com vales isolados. Novamente, observa-se a tendência direta entre Ssk e o desgaste apresentando menores valores quando da redução da perda de massa.

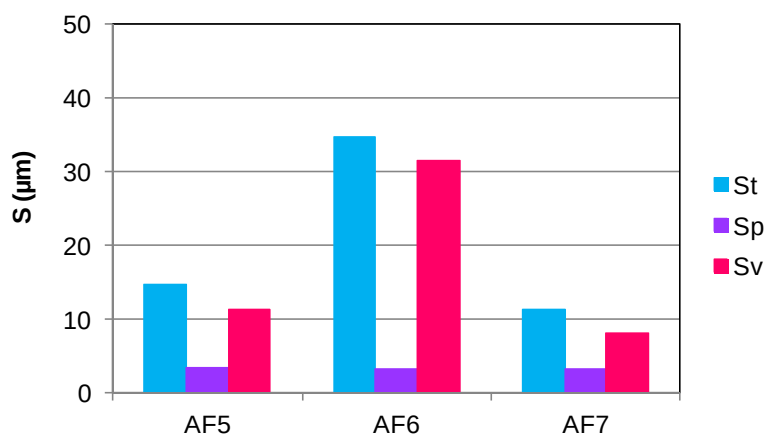


Figura 7.65 – Parâmetro St altura total

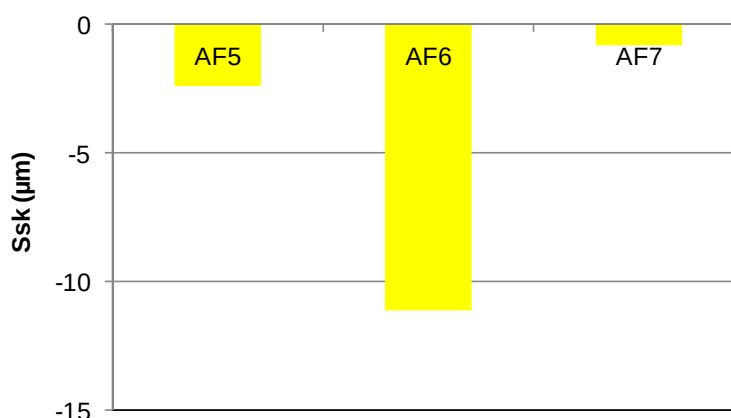


Figura 7.66 – Parâmetro Ssk fator de assimetria

Com relação ao fator de achatamento  $Sku$ , Fig. 7.67, o valor superior de AF6 indica que os vales isolados afetaram sensivelmente este parâmetro.

Da mesma forma que nos parâmetros avaliados anteriormente, AF7 possui o menor valor de  $Sku$  e AF5 fica em uma posição intermediária. A amostra com maior perda de massa AF6 tem o maior valor de  $Sku$ .

Avaliando o fator de assimetria  $Ssk$  e achatamento  $Sku$  (Fig. 7.68), acredita-se que as amostras com menor domínio no espaço morfológico possuam melhor resistência ao desgaste.

Tais resultados obtidos estão de acordo com De Mello (1985), porque a amostra com menor desgaste AF7 está posicionada mais próxima da condição inicial. Sucessivamente,

de acordo com o aumento no desgaste, AF5 está em uma posição intermediária e a amostra AF6 com maior taxa de erosão fica afastada com maior domínio no espaço morfológico.

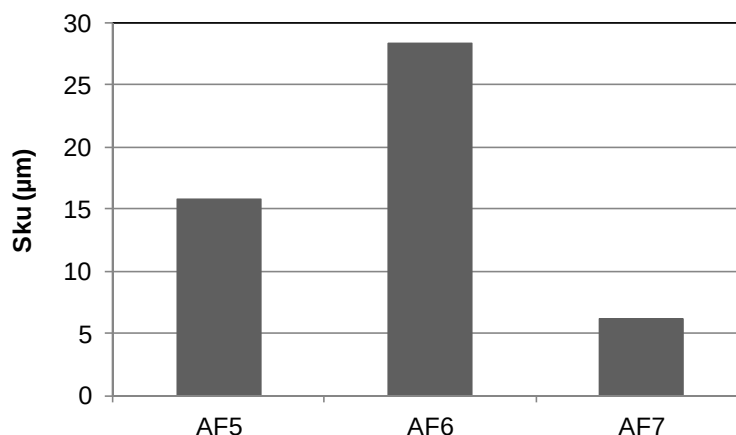


Figura 7.67 – Parâmetro Sku fator de achatamento

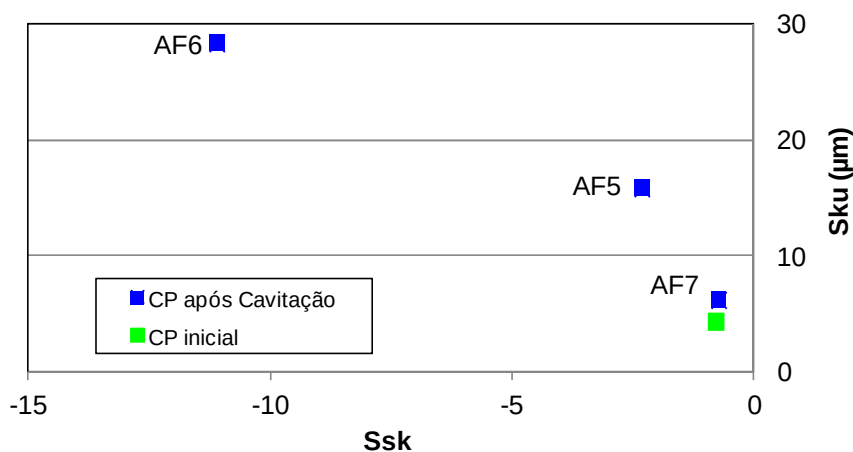


Figura 7.68 – Parâmetro Sku fator de achatamento do perfil avaliado (kurtosis) e fator de assimetria Ssk

## 7.6. Comentários Finais

- A soldagem com o processo MIG/MAG arame frio com metal de adição em ligas de cobalto apresentou um aspecto superficial adequado, com alto rendimento de deposição, sendo uma proposta viável para a soldagem de revestimento na posição horizontal.
- A soldagem com o processo MIG/MAG duplo arame paralelo em ligas de cobalto apresentou um comportamento irregular. As chapas de testes foram desconsideradas na sequência do trabalho, devido à inexistência de um revestimento maciço na peça.

- A erosão pura demonstrou que o uso da liga de cobalto reduz sensivelmente o desgaste. Em especial, na erosão pura, destacaram-se os resultados de menores perdas de massa ao usar a combinação com presença de *Stellite 21*.
- Na erosão pura das ligas de cobalto, os parâmetros de rugosidade tiveram desempenho similar nos ensaios de mesma composição do revestimento. A determinação do espaço morfológico apresentou-se como uma avaliação condizente com o desgaste, ou seja, uma maior perda de massa implicou em distanciamento das condições iniciais da amostra.
- A resistência por cavitação aumentou imensamente ao usar as liga de cobalto, principalmente o arame *Stellite 6*. O desempenho total para 40 horas com a liga *Stellite 6* no arame energizado é similar à taxa de erosão instantânea em 1 hora para os aços inoxidáveis austeníticos.
- Nos ensaios com liga de cobalto, a rugosidade apresentou valores com menor intensidade, além de existirem indícios de impressões orientadas de lixamento, sugerindo que a resistência do material é alta a ponto de não eliminar estes relevos durante a cavitação.
- Comparando a erosão pura e cavitacional, nota-se que em todos os casos o revestimento soldado com liga de cobalto tem uma resistência muito superior às demais combinações propostas no trabalho. Fica evidente o melhor desempenho de *Stellite 21* na erosão pura e *Stellite 6* na cavitação. Tal tendência é similar à observada com as misturas de metal de adição em aço inoxidável austenítico e liga de cobalto com um efeito benéfico na redução de desgaste, posicionando estas amostras em uma região intermediária de perda de massa.
- Em aplicações envolvendo turbinas hidráulicas, fica claro o potencial do processo MIG/MAG arame frio em fornecer revestimentos com alta resistência à cavitação, sendo este processo um diferencial no sentido de fornecer elementos de liga capazes de reduzir sensivelmente o desgaste. Tal resultado foi obtido para a posição horizontal, que pode ser considerada de alta complexidade de execução e em condições idênticas às aplicações de campo.
- Para a recuperação de turbinas hidráulicas em que a cavitação é o fenômeno crítico em termos de desgaste, o melhor desempenho observado é do *Stellite 6*, com desgaste de 3,204 mg para 40 horas. Entretanto, em AF3 (com arame eletrodo em aço inoxidável austenítico e *Stellite 6*) com adição de pequena quantidade de liga de cobalto no arame frio (12% de todo o arame eletrodo) o valor encontrado é de 18,42 mg.

## CAPÍTULO VIII

### CONCLUSÕES

Com relação à soldagem MIG/MAG convencional e MIG/MAG arame frio, foi possível chegar às seguintes conclusões:

- O processo de soldagem na posição horizontal apresenta forte sensibilidade às variações de seus parâmetros, sendo o ajuste adequado fundamental para evitar os *humpings*.
- A capacidade de soldagem na posição horizontal, com o processo MIG/MAG arame frio, depende, entre outros fatores, do ajuste preciso da posição de entrada do arame frio em relação ao energizado e de sua velocidade de alimentação.
- O processo MIG/MAG duplo arame, por apresentar um nível de energia superior, conseqüentemente maior diluição, possui um potencial elevado, principalmente relacionado à erosão em que a alta dureza do revestimento é um fator primordial para redução do desgaste. Além disso, é possível a adição de maior quantidade de ligas de cobalto no revestimento, proporcionando maior produtividade.
- Com relação à cavitação, o processo MIG/MAG arame frio torna-se uma opção extremamente interessante, porque a adição de pequenas quantidades de liga de cobalto juntamente com um arame em aço inoxidável austenítico pode ser viável em posições variadas.

Em relação aos ensaios de erosão, é possível afirmar que:

- O aço inoxidável austenítico apresentou grandes perdas de massa afetadas principalmente pela sua menor dureza no revestimento. As misturas de aço inoxidável austenítico e ligas de cobalto possuem um valor intermediário de perda de massa com destaque para a adição da liga *Stellite 21* que proporciona menores valores de desgaste.

- A presença da liga de cobalto *Stellite 21* possui grande vantagem na redução da perda de massa na erosão. Em processos de maior energia, tal redução aparentemente é mais sensível por proporcionar um endurecimento ainda maior na superfície do revestimento.
- Os parâmetros de rugosidade na erosão tendem a se manter em um patamar muito próximo para um mesmo grupo de materiais. Existem diferenças maiores ao comparar o aço inoxidável austenítico e ligas de cobalto com tendência de redução da rugosidade ao diminuir o desgaste. A metodologia de avaliação do espaço morfológico apresentou uma relação direta com o desgaste da amostra, sendo os parâmetros *Ssk* e *Sku* afetados de forma mais sensível na erosão.

Em relação aos ensaios de erosão cavitacional, é possível afirmar que:

- O aço inoxidável austenítico apresentou grandes perdas de massa, independentemente do processo de soldagem utilizado.
- As misturas de aço inoxidável austenítico e ligas de cobalto apresentam potencial viável na redução do desgaste envolvendo turbinas hidráulicas. Os resultados mostram que pequenas adições de *Stellite 6* no revestimento diminuem sensivelmente o desgaste por cavitação.
- As adições de ligas de cobalto em peças sujeitas à cavitação reduzem drasticamente o desgaste, independentemente do processo de soldagem utilizado.
- A liga *Stellite 6*, usando o processo MIG/MAG arame frio, possui os melhores resultados para a cavitação.
- A combinação de maior quantidade de *Stellite 6*, juntamente com *Stellite 21* foi a melhor proposta para aplicações em turbinas hidráulicas, tendo em vista que a cavitação é o fenômeno principal, com presença de leve desgaste por erosão.

## CAPÍTULO IX

### TRABALHOS FUTUROS

A avaliação da aplicação de misturas de aço inoxidável austenítico e ligas de cobalto abriu diversas possibilidades de extensão do estudo, citando-se as seguintes propostas para trabalhos futuros:

- Determinar o rendimento térmico do processo de soldagem MIG/MAG arame frio, usando calorímetros. Faz-se necessário o entendimento dos fenômenos físicos envolvidos, iniciando-se pela medição do aporte térmico em soldagem. Entre as técnicas disponíveis propostas, encontram-se os métodos experimentais com calorímetros a base de água e calorímetros de nitrogênio líquido.
- No processo de soldagem MIG/MAG arame frio, filmar a transferência metálica para o metal de adição *Stellite 6* e *Stellite 21*, usando a câmera de alta velocidade (shadografia) e câmera termográfica. Visa-se a entender o comportamento do arco de soldagem e sua influência nos resultados aplicados em revestimento, com a análise suportada por filmagem em alta velocidade, para observação da transferência metálica, complementada pela monitoração dos sinais elétricos e pela medição dos parâmetros geométricos dos cordões.
- Estudar as deflexões sofridas pelo arco no processo MIG/MAG duplo arame ao soldar com um arame austenítico e outro de liga de cobalto, utilizando a filmadora de alta velocidade. Com o entendimento do fenômeno, espera-se encontrar novas potencialidades para esta metodologia como, por exemplo, o emprego de menor número de passes para soldagens em chanfro de materiais dissimilares.
- Na soldagem MIG/MAG duplo arame, investigar diferentes combinações de ligas e o potencial da adição de um terceiro arame não energizado, com a finalidade de uma combinação de materiais suficientemente resistentes à erosão e cavitação, com alta produtividade.

- Estudar o comportamento das ligas de cobalto em outros processos de soldagem de uso na indústria de reparos, como o MIG/MAG convencional e Arame Tubular, submetendo as amostras à erosão e cavitação.
- Analisar a microestrutura obtida antes e após os ensaios de erosão, determinando as fases presentes e as transformações envolvidas. O intuito é associar os resultados de erosão e cavitação com a microestrutura presente no revestimento.
- Nos ensaios de erosão, variar o ângulo de incidência das partículas, a velocidade de impacto e novas misturas com ligas de maior dureza. O propósito é analisar de forma ampliada, o comportamento de materiais submetidos à erosão, sendo possível uma melhor análise das amostras, principalmente em caso de materiais dúcteis.
- Na erosão, reduzir os intervalos de paradas para medição de massa e aumentar o tempo total de ensaio para 3 horas. Com essa alteração no procedimento, poderá se caracterizar com maior precisão a superação da fase de incubação e ter total certeza sobre a presença do regime estacionário.
- Adequar o porta amostra para a realização de uma avaliação criteriosa em termos de volume perdido durante o processo erosivo. Com esses ajustes, espera-se ter uma determinação mais precisa de perda de material durante a erosão.
- Caracterizar a superfície e verificar a rugosidade das amostras durante as paradas para quantificação da perda de massa, tanto em erosão, como na cavitação. O propósito é monitorar os parâmetros de rugosidade em cada intervalo, visando a obter uma relação da característica da superfície e sua perda de massa.
- Fazer uma análise matemática abrangendo o desgaste e a perda de massa para relacioná-los com os parâmetros de rugosidade e dureza. O intuito é construir modelos capazes de estimar a perda de massa em materiais aplicados em revestimentos, reduzindo a escala de experimentos e os custos envolvidos em pesquisas.
- Estudar a eliminação da camada de amantecimento nos revestimentos de turbinas hidráulicas, através da adoção de misturas de aço inoxidável austenítico e ligas de cobalto, aplicando-os diretamente no metal de base. A finalidade é reduzir o tempo envolvido em reparos e diminuir etapas e custos na recuperação dos componentes cavitados.
- Analisar os efeitos da corrosão nos ensaios de erosão e cavitação. Como a erosão está sendo conduzida em um meio fluido, poderá ocorrer um processo de corrosão associado ao fenômeno puramente mecânico. Visa-se, portanto, a caracterizar a representatividade da corrosão no sistema erosão-cavitação.

## CAPÍTULO X

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLENSTEIN, A. N. et al. Improvement of cavitation erosion resistance for low-temperature plasma nitride Ca-6NM martensitic stainless steel. **Wear**, n. 309, p. 159-165, 2014.

ANGEL, T. Formation of martensite in austenitic stainless steels - effects of deformation, temperature and, composition. **Journal of the Iron and Steel Institute**. v. 177, p. 165-174, 1954.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM ISO 6507-1:2008**, Materiais Metálicos – Ensaio de dureza Vickers Parte 1: Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. **NBR 15814**, Granalha de aço fundido de alto carbono para jateamento. Rio de Janeiro, Brasil, 2010. 9p.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 4287**, Especificação geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil – Termos, definições e parâmetros da rugosidade. Rio de Janeiro, Brasil, 2002. 18p.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO/IEC 17025**, Requisitos gerais para competência de laboratório de ensaios e calibrações. Rio de Janeiro, Brasil, 2005. 20p.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. **ASTM A27/27M-13**: Standard Specification for Steel Castings, Carbon, for General Application. West Conshohocken, 2013.

\_\_\_\_\_. **ASTM D256-93a**: Standard Test Methods for Determining the Pendulum Impact Resistance of Notched Specimens. West Conshohocken, 1993.

\_\_\_\_\_. **ASTM D256-10**: Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics. West Conshohocken, 2010.

\_\_\_\_\_. **ASTM E23-12c**: Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials. West Conshohocken, 2007.

\_\_\_\_\_. **ASTM E384-11**: Standard Test Method for Knoop and Vickers Hardness of Materials. West Conshohocken, 2011.

\_\_\_\_\_. **ASTM G32-10**: Standard Method of Vibratory Cavitation Erosion Test. West Conshohocken, 2010.

\_\_\_\_\_. **ASTM G40-13**: Standard Terminology Relating to Wear and Erosion. West Conshohocken, 2013.

\_\_\_\_\_. **ASTM G76-13**: Standard Test Method for Conducting Erosion Test by Solid Particle Impingement Using Gas Jets. West Conshohocken, 2013.

\_\_\_\_\_. **ASTM G134-95**: Standard Test Method for Erosion of Solid Materials by Cavitating Liquid Jet. West Conshohocken, 2010.

ASM INTERNATIONAL. Metallography and Microstructures. Vol. 9. ASM Handbook, 2004.

BEILER, D. R. **Influência das condições de processo sobre as descontinuidades e resistência à cavitação de revestimentos soldados sobre aço CA-6NM**. 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

BONACORSO, N. G. **Automatização dos Processos de Medição de Superfícies e de Deposição por Soldagem Visando a Recuperação de Rotores de Turbinas Hidráulicas de Grande Porte**. 2004. 96 f. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

CAMACHO, J. R. L. et al. Solid particle erosion of AISI 304, 316 and 420 stainless steels. **Wear**, n. 301, p. 398-405, 2013.

CASAS, W. J. P.; HENKE, S. L.; NOVICK, N. Tenacidade à Fratura do Aço CA6NM Temperado e Revenido e de sua Junta Soldada sem TTPS. **Soldagem & Inspeção**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 25-31, jan./mar. 2008. Trimestral. ISSN 0104-9224 (printed).

CARMONA, G. D. **Aplicação de revestimento duro utilizando o processo arame tubular com e sem adição de arame não energizado para diferentes tipos de consumíveis**. 2011. 120 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

COSTA, M. V. A. **Avaliação da Incerteza de Medição da Rugosidade utilizando o Método de Monte Carlo**. 2012. 60 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

CORREA, C. A., YAMAKAWA, R. S., HAGE JR., E. Determinação de Temperatura de Transição Dúctil-frágil de Plásticos Através de Testes de Impacto Instrumentado. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, p.76-84, Jan/Mar 1999.

CRUZ JÚNIOR, L. P. S. et al. Influência da Variação do Tecimento, Ângulo de Ataque e Velocidade de Alimentação sobre a Geometria de Cordões de Revestimento pelo Processo MIG-DWOA. In: **6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, 2011, Caxias do Sul.

DESALE, G. R., et al. Particle size effects on the slurry erosion of aluminium alloy (AA 6063). **Wear**, n. 266, p. 1066–1071, 2009.

DÍAZ, V. V., et al. Resistência a Erosão por Cavitação de Revestimentos Depositados pelo Processo de Soldagem a Plasma com Arco Transferido. **Soldagem & Inspeção**, São Paulo, n. 1, p. 11-18, Jan/Mar 2008. ISSN 0104-9224 (printed).

\_\_\_\_\_. Deposição por Plasma com Arco Transferido. **Soldagem & Inspeção**, São Paulo, n. 1, p. 41-51, Jan/Mar 2010. ISSN 0104-9224 (printed).

\_\_\_\_\_. Resistência a Erosão por Cavitação de Revestimentos Depositados pelo Processo de Soldagem a Plasma com Arco Transferido. **Soldagem & Inspeção**, São Paulo, n. 1, p.11-18, Jan/Mar 2008. ISSN 0104-9224 (printed).

\_\_\_\_\_. Uma contribuição ao Processo de Soldagem Plasma de Arco Transferido (PTA) para Posições Forçadas. **Soldagem & Inspeção**, São Paulo, n. 1, p.33-43, Jan/Mar 2011. ISSN 0104-9224 (printed).

ELEKTRO. **Relatório de Desempenho**, Jan/Mar 2010. Campinas, 2010. 50 p. Relatório.

FEDUMENTI, N. **Efeito da cavitação sobre a corrosão em aços inoxidáveis utilizados em turbinas hidráulicas**. 2010. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

FRANCO DE MORAES, M.A. ; VALDÉS, R. A. Desenvolvimento de planilhas eletrônicas para avaliar a incerteza de medição. In: **VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica CONEM 2012**, 2012, São Luís.

GHOLIPOUR, A.; SHAMANIAN, M.; ASHRAFIZADEH, F. Microstructure and wear behavior of satellite 6 cladding on 17-4 PH stainless steel. **Journal of Alloys and Compounds**, n. 509, p. 4905-4909, 2011.

GONÇALVES, B. H. B.. **Estudo Comparativo da Resistência à Erosão por Cavitação do Metal de Solda depositado por um Arame Tubular tipo 13%Cr – 4%Ni – 0,4%Mo e do Aço Fundido ASTM A 743 CA-6NM**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

GÜLICH, J. F. "**Calculation of metal loss under attack of erosion-corrosion or cavitation erosion**", Proceedings of advances in material technology for fossil power plants, Chicago, p.605-612 (1987).

HATTORI, S.; MIKAMI, N. Cavitation erosion resistance of satellite alloy weld overlays. **Wear**, n. 267, p. 1954-1960, 2009.

INMETRO, **Vocabulário Internacional de Metrologia: Conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados**. Rio de Janeiro, Brasil, 2012, 78p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 180:2000 Plastics - Determination of Izod impact strength.

\_\_\_\_. ISO 179-2:1997 Plastics - Determination of Charpy impact properties.

\_\_\_\_. ISO TAG 4/WG 3, 2008, **Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement**, Geneva Switzerland, 131p.

KARIMI, A. **Cavitation erosion of austenitic stainless steel and effect of boron and nitrogen ion implantation**. Acta Metallurgica, n. 37(4), p.1079-1088, 1989.

KUMAR, S.; RATOL, J. S. **Effects of Tribological Parameters on Slurry Erosion Behaviour of Uncoated and Coated Materials: A Review**. Materials Engineering, California, n. 20, p. 119-131, abr. 2013.

KWOK, C. T., MAN, H. C., CHENG, F. T. **Cavitation Erosion of Duplex and Super Duplex Stainless Steels**. Pergamon, Scripta Materialia. vol. 39, n. 9, p. 1229-1236, 1998.

LEVIN, B. F.; DUPONT, J. N.; MARDER, A. R. Weld overlay coatings for erosion control. **Wear**, n. 181-183, p. 810-820, 1995.

LIMA, L. I. L. **Metodologia para Avaliação da Corrosão da Zona Térmicamente Afetada do Aço Inoxidável Ferrítico AISI 439 Soldado**. 2007. Dissertação (Mestrado), Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

LOBATO, J. C. da S.; BRAGA, E. M. Análise das Juntas Soldadas pelo processo GMAW – Arame Frio. In: **XXXVII Congresso Nacional de Soldagem**, 2011, Natal.

LUZ, T. de S. **Aspectos Operacionais e Metalúrgicos da Soldagem do Aço Inoxidável Ferrítico com 11% de Cromo**. 2009. 233 p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

MAFTOUM, R. A. **Influência do Nitrogênio adicionado por SHTPN na resistência à erosão por cavitação do aço inoxidável martensítico**. 2012. 97 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

MARQUES, P. V. Proteção de Turbinas Hidráulicas contra o Desgaste Cavitacional. **Soldagem & Inspeção**, São Paulo, n. 2, p. 47-59, Abr/Jun. 2003. ISSN 0104-9224 (printed).

MODENESI, P. J. **Soldabilidade dos Aços Inoxidáveis**. São Paulo: ABS, 2001. 100 p., ISBN 8588746026.

MOTA, C. A. M. et al. Soldagem Automatizada MIG-CW Aplicada no Revestimento de Chapas de Aço Carbono 1020 com uma Superliga de Níquel Hastelloy C-276. In: **XXXVII Congresso Nacional de Soldagem**, 2011, Natal.

MOTTA, M. F.. **Aplicação do Processo MIG/MAG Pulsado com Duplo Arame e Potenciais Isolados em Soldagens de Revestimento**. 2002. 153 p. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MOUGO, A. L. et al. Caracterização Microestrutural de uma Superliga de Níquel Depositada pelos Processos GMAW e GMAW com Arame Frio em Chapas e Dutos de Aço Carbono. In: **XXXVII Congresso Nacional de Soldagem**, 2011, Natal.

MULLER, G. M. **Despacho de Máquinas e Geração de Usina Hidrelétrica Individualizada Utilizando Algoritmos Genéticos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

MUSARDO, G. B. **Análise Microestrutural de Revestimentos usados no Reparo de Turbinas Hidráulicas Danificadas pela Cavitação**. 2006. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

NOHARA, K.; ONO, Y.; OHASHI, N. **Composition and Grain Size Dependencies of Strain-induced Martensitic Transformation in Metastable Austenitic Stainless Steels**. Research Laboratories, Kawasaki Steel Corp., sep. 17, 1996.

NSOESIE, S. et al. Analytical modeling of solid-particle erosion of Stellite alloys in combination with experimental investigation. **Wear**, n. 309, p. 226-232, 2014.

OCHOA, D. M. L. **Estudo do Desgaste Erosivo-Corrosivo de Aços Inoxidáveis de Alto Nitrogênio em Meio Lamacento**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

OLIVEIRA, A. R. F. **Desenvolvimento de um Microscópio Confocal de Varredura Laser para Caracterização Topográfica de Superfícies**. 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

PICKERING, F. B. **Proceedings of the Conference on Stainless Steels 84**, Göteborg, Sep. 1984, p. 2., 1984.

PROCOPIAK, L. A. J. **Resistência à Cavitação de Três Revestimentos Soldados**. Dissertação, Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

RAMALHO FILHO, Frederico Allevato. **Métodos para projetos de protótipos: um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

RAO, A. S et al. **Metallic overlay materials for the optimum cavitation performace of hydraulic turbines**, Canadian Eletrical Association, Montreal, Quebec. 1987.

RIBEIRO, H. O. **Desenvolvimento de Ligas para Revestimentos por PTA resistentes à cavitação**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais), Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

RHODES, C.G.; THOMPSON, A.W. The Composition Dependence of Stacking Fault Energy in Austenitic Stainless Steels. Metall. Trans. A, 1977. p. 1901-1906.

RIBEIRO, J. R. S. **Erosímetro**. 20 out 2013. Disponível em <<https://grabcad.com/library/erosimetro-1>>. Acesso em: 30 dez 2013.

ROCHA, M. R. **Estudo da conformabilidade dos aços inoxidáveis austeníticos 304n e 304h e suas correlações com as microestruturas obtidas**. 2006. Tese, Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

RODRIGUES, L. A et al. Estudo das Propriedades Mecânicas e Microestrutura de Soldas em Aço Naval empregando a Técnica FCAW com Adição de Arame Frio. In: XXXVII Congresso Nacional de Soldagem, 2011, Natal. **Anais...** Natal, RN, 2011.

RODRÍGUEZ, B. E. A.; DÍAZ, V. M. Estudio del proceso de soldadura PTA para operaciones de recubrimientos. In: XXXVII Congresso Nacional de Soldagem, 2011, Natal. **Anais...** Natal, RN, 2011.

SANTA, J. F. et al. Cavitation erosion of martensitic and austenitic stainless steel welded coatings. **Wear**, n. 271, p. 1445-1453, 2011.

SCHRAMM R. E.; REED R. P. **Stacking fault energies of seven commercial austenitic stainless steels**. Metall Trans. A, 6, 1975. p. 1345 – 1352.

SCHWEDERSKY, M. B. **Análise da Resistência à Erosão por Cavitação de uma liga FeCrMnNi depositada por PTAP**. 2008. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SCOTTI, A.; PONOMAREV, V. **Soldagem MIG/MAG**. 1. ed. São Paulo: ArtLiber, 2008.

SIMONEAU, R. et al. **Cavitation erosion and deformation mechanisms of Ni and Co austenitic stainless steels**. IREQ, 1989.

SILVA, F. J. da. **Erosão, Corrosão, Erosão-Corrosão e Cavitação do Aço Abnt 8550 Nitretado a Plasma**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Uberlândia, 2008.

SILVA, F. J., et al. Cavitation erosion behavior of ion-nitrited 34 CrAlNi 7 steel with different microstructures. **Wear**, n. 304, p. 183 - 190, 2013.

SILVA, F. G. **Análise da soldagem FCAW com Adição de Arame Frio aplicado a Indústria Naval**. In: 6º Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2010, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande, PB, 2010.

STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W. **Engineering Tribology**. Butterworth-Heinemann, USA, 2001.

STARLING, et al. Estudo Comparativo do Aspecto Superficial do Cordão na Soldagem sobre Chapa Fora de Posição com Diferentes Arames Tubulares. In: XXXVII Congresso Nacional de Soldagem, 2011, Natal. **Anais...** Natal, RN, 2011.

VAZ, C. T. **Avaliação da Resistência à Erosão por Cavitação do metal de soldas produzidas com consumíveis tipo 13%Cr – 4%Ni - 0,4%Mo.** 2004. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.

VICENZI, Juliane **Relação entre Microestrutura e Erosão (a Frio e a Quente) de Revestimentos do Sistema NiCr-Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub> obtidos por Aspersão Térmica.** Tese (Doutorado em engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2007.

WEIYI, L. et al. On ultrahigh velocity micro-particle impact on steels – A multiple impact study. **Wear**, n. 309, p. 52-64, 2014.

WILL, C. R. Estudo comparativo de três ligas austeníticas com cobalto resistentes à cavitação depositadas por plasma pulsado térmico. **Soldagem & Inspeção**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 52-60, jan./mar. 2010. Trimestral. ISSN 0104-9224 (printed).

YAEDU, A. E. **Influência do Substrato na Deposição de Stellite 1 com Plasma de Arco Transferido.** 2003. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, 2003.

ZUM GAHR, K.H. **Microstructure and wear of materials.** Ed. Elsevier, Amsterdam, 1987.

## APÊNDICE A

### RESULTADOS COMPLEMENTARES DO CAPÍTULO IV

Neste apêndice encontram-se as Tabelas completas com os valores de incerteza para o ensaio de erosão dos testes preliminares.

Tabela A.1 – Resultados em termos de erosão pura para o aço ABNT 1020, Amostra 1 e 2

| t (min) | $T_{X_{1020}}$<br>(mg/min) | $IN_{T_{X-1020}}$<br>(mg/min) | $D_{1020}$<br>(mg) | $IN_{D-1020}$<br>(mg) |
|---------|----------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------|
| 20      | 0,46                       | $\pm 0,14$                    | 9,22               | $\pm 2,85$            |
| 40      | 0,46                       | $\pm 0,07$                    | 18,48              | $\pm 4,02$            |
| 60      | 0,35                       | $\pm 0,04$                    | 25,50              | $\pm 3,79$            |
| 80      | 0,37                       | $\pm 0,08$                    | 32,90              | $\pm 4,71$            |
| 100     | 0,31                       | $\pm 0,02$                    | 39,08              | $\pm 4,31$            |
| 120     | 0,31                       | $\pm 0,07$                    | 45,37              | $\pm 4,35$            |

Tabela A.2 – Resultados em termos de erosão pura para o revestimento do teste P33

| t<br>(min) | $T_{X_{P33}}$<br>(mg/min) | $IN_{T_{X-P33}}$<br>(mg/min) | $D_{P33}$<br>(mg) | $IN_{D-P33}$<br>(mg) |
|------------|---------------------------|------------------------------|-------------------|----------------------|
| 20         | 0,21                      | $\pm 0,04$                   | 4,15              | $\pm 0,77$           |
| 40         | 0,20                      | $\pm 0,00$                   | 8,15              | $\pm 0,77$           |
| 60         | 0,23                      | $\pm 0,04$                   | 12,65             | $\pm 0,11$           |
| 80         | 0,26                      | $\pm 0,03$                   | 17,95             | $\pm 0,55$           |
| 100        | 0,22                      | $\pm 0,01$                   | 22,35             | $\pm 0,77$           |
| 120        | 0,19                      | $\pm 0,01$                   | 26,15             | $\pm 0,55$           |

Tabela A.3 – Resultados em termos de erosão pura para o revestimento do teste P34

| t<br>(min) | $T_{X_{P34}}$<br>(mg/min) | $IN_{TX-P34}$<br>(mg/min) | $D_{P34}$<br>(mg) | $IN_{D-P34}$<br>(mg) |
|------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------|
| 20         | 0,43                      | $\pm 0,03$                | 8,60              | $\pm 0,660$          |
| 40         | 0,35                      | $\pm 0,05$                | 15,65             | $\pm 1,651$          |
| 60         | 0,27                      | $\pm 0,02$                | 21,05             | $\pm 2,091$          |
| 80         | 0,23                      | $\pm 0,02$                | 25,55             | $\pm 2,531$          |
| 100        | 0,21                      | $\pm 0,04$                | 29,75             | $\pm 3,412$          |
| 120        | 0,23                      | $\pm 0,04$                | 34,30             | $\pm 4,182$          |

## APÊNDICE B

### RESULTADOS COMPLEMENTARES DO CAPÍTULO V

Neste apêndice encontram-se as Tabelas completas com os valores de incerteza para o ensaio de erosão e cavitação dos testes com o metal de adição em aço inoxidável austenítico.

Tabela B.1 - Resultado de erosão para o teste AF1

| t(min) | T <sub>XAF1</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | T <sub>XAF1</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | T <sub>XAF1</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>Tx-AF1</sub><br>(mg/min) | D <sub>AF1</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>AF1</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>AF1</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-AF1</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,31                                    | 0,30                                    | 0,30                                   | 0,02                             | 6,24                               | 5,92                               | 6,08                              | 0,33                        |
| 40     | 0,27                                    | 0,24                                    | 0,25                                   | 0,03                             | 11,56                              | 10,68                              | 11,12                             | 0,99                        |
| 60     | 0,23                                    | 0,22                                    | 0,23                                   | 0,01                             | 16,12                              | 15,14                              | 15,63                             | 1,10                        |
| 80     | 0,23                                    | 0,22                                    | 0,23                                   | 0,01                             | 20,76                              | 19,54                              | 20,15                             | 1,43                        |
| 100    | 0,40                                    | 0,40                                    | 0,40                                   | 0,00                             | 28,74                              | 27,54                              | 28,14                             | 0,22                        |
| 120    | 0,43                                    | 0,43                                    | 0,43                                   | 0,01                             | 37,42                              | 36,14                              | 36,78                             | 1,43                        |

Tabela B.2 – Resultados de erosão para o teste AF2

| t(min) | T <sub>XAF2</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | T <sub>XAF2</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | T <sub>XAF2</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>Tx-AF2</sub><br>(mg/min) | D <sub>AF2</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>AF2</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>AF2</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-AF2</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,42                                    | 0,41                                    | 0,41                                   | 0,01                             | 8,34                               | 8,20                               | 8,27                              | 0,11                        |
| 40     | 0,40                                    | 0,39                                    | 0,39                                   | 0,02                             | 16,32                              | 15,90                              | 16,11                             | 0,44                        |
| 60     | 0,38                                    | 0,36                                    | 0,37                                   | 0,03                             | 24,02                              | 23,10                              | 23,56                             | 0,99                        |
| 80     | 0,44                                    | 0,42                                    | 0,43                                   | 0,03                             | 32,80                              | 31,40                              | 32,10                             | 1,54                        |
| 100    | 0,36                                    | 0,37                                    | 0,36                                   | 0,00                             | 40,08                              | 38,70                              | 39,39                             | 1,54                        |
| 120    | 0,47                                    | 0,44                                    | 0,46                                   | 0,03                             | 49,52                              | 47,50                              | 48,51                             | 2,20                        |

Tabela B.3 - Resultados médios de erosão para o teste AF1 e AF2

| t(min) | T <sub>XAF1</sub><br>(mg/min) | T <sub>XAF2</sub><br>(mg/min) | T <sub>XAF</sub><br>(mg/min) | IN <sub>Tx-AF</sub><br>(mg/min) | D <sub>AF1</sub><br>(mg) | D <sub>AF2</sub><br>(mg) | D <sub>AF</sub><br>(mg) | IN <sub>D-AF</sub><br>(mg) |
|--------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|
| 20     | 0,30                          | 0,41                          | 0,36                         | 0,12                            | 6,08                     | 8,27                     | 7,17                    | 2,41                       |
| 40     | 0,25                          | 0,39                          | 0,32                         | 0,15                            | 11,12                    | 16,11                    | 13,62                   | 5,49                       |
| 60     | 0,23                          | 0,37                          | 0,30                         | 0,15                            | 15,63                    | 23,56                    | 19,59                   | 8,27                       |
| 80     | 0,23                          | 0,43                          | 0,33                         | 0,22                            | 20,15                    | 32,10                    | 26,12                   | 13,15                      |
| 100    | 0,40                          | 0,36                          | 0,38                         | 0,04                            | 28,14                    | 39,39                    | 33,77                   | 12,38                      |
| 120    | 0,43                          | 0,46                          | 0,44                         | 0,03                            | 36,78                    | 48,51                    | 42,65                   | 12,91                      |

Tabela B.4 – Resultados de erosão para o teste DA1

| t (min) | T <sub>XDA1</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | T <sub>XDA1</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | T <sub>XDA1</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>Tx-DA1</sub><br>(mg/min) | D <sub>DA1</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>DA1</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>DA1</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-DA1</sub><br>(mg) |
|---------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20      | 0,23                                    | 0,26                                    | 0,25                                   | 0,03                             | 4,60                               | 5,20                               | 4,90                              | 0,66                        |
| 40      | 0,21                                    | 0,23                                    | 0,22                                   | 0,02                             | 8,90                               | 9,80                               | 9,35                              | 0,99                        |
| 60      | 0,20                                    | 0,20                                    | 0,20                                   | 0,00                             | 12,90                              | 13,80                              | 13,35                             | 0,99                        |
| 80      | 0,13                                    | 0,15                                    | 0,14                                   | 0,02                             | 15,60                              | 16,90                              | 16,25                             | 1,43                        |
| 100     | 0,14                                    | 0,14                                    | 0,14                                   | 0,00                             | 18,40                              | 19,70                              | 19,05                             | 1,43                        |
| 120     | 0,09                                    | 0,12                                    | 0,11                                   | 0,04                             | 20,10                              | 22,20                              | 21,15                             | 2,31                        |

Tabela B.5 – Resultados de erosão para o teste DA2

| t(min) | T <sub>XDA2</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | T <sub>XDA2</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | T <sub>XDA2</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>Tx-DA2</sub><br>(mg/min) | D <sub>DA2</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>DA2</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>DA2</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-DA2</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,53                                    | 0,48                                    | 0,50                                   | 0,06                             | 10,60                              | 9,50                               | 10,05                             | 1,21                        |
| 40     | 0,34                                    | 0,31                                    | 0,33                                   | 0,03                             | 17,40                              | 15,70                              | 16,55                             | 1,87                        |
| 60     | 0,31                                    | 0,31                                    | 0,31                                   | 0,00                             | 23,60                              | 21,90                              | 22,75                             | 1,87                        |
| 80     | 0,29                                    | 0,28                                    | 0,29                                   | 0,02                             | 29,40                              | 27,50                              | 28,45                             | 2,09                        |
| 100    | 0,26                                    | 0,27                                    | 0,27                                   | 0,01                             | 34,70                              | 32,90                              | 33,80                             | 1,98                        |
| 120    | 0,28                                    | 0,31                                    | 0,29                                   | 0,04                             | 40,20                              | 39,10                              | 39,65                             | 1,21                        |

Tabela B.6 – Resultado de erosão para o teste DA3

| t(min) | TX <sub>DA3</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | TX <sub>DA3</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | TX <sub>DA3</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>TX-DA3</sub><br>(mg/min) | D <sub>DA3</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>DA3</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>DA3</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-DA3</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,41                                    | 0,37                                    | 0,39                                   | 0,05                             | 8,30                               | 7,40                               | 7,85                              | 0,99                        |
| 40     | 0,35                                    | 0,30                                    | 0,32                                   | 0,07                             | 15,40                              | 13,30                              | 14,35                             | 2,31                        |
| 60     | 0,33                                    | 0,29                                    | 0,31                                   | 0,03                             | 21,90                              | 19,20                              | 20,55                             | 2,97                        |
| 80     | 0,36                                    | 0,32                                    | 0,34                                   | 0,05                             | 29,10                              | 25,50                              | 27,30                             | 3,96                        |
| 100    | 0,30                                    | 0,27                                    | 0,28                                   | 0,03                             | 35,00                              | 30,90                              | 32,95                             | 4,51                        |
| 120    | 0,33                                    | 0,32                                    | 0,33                                   | 0,01                             | 41,70                              | 37,40                              | 39,55                             | 4,73                        |

Tabela B.7 - Resultado de erosão para o teste DA4

| t(min) | TX <sub>DA4</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | TX <sub>DA4</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | TX <sub>DA4</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>TX-DA4</sub><br>(mg/min) | D <sub>DA4</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>DA4</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>DA4</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-DA4</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,22                                    | 0,20                                    | 0,21                                   | 0,03                             | 4,40                               | 3,90                               | 4,15                              | 0,55                        |
| 40     | 0,23                                    | 0,22                                    | 0,23                                   | 0,01                             | 9,10                               | 8,40                               | 8,75                              | 0,77                        |
| 60     | 0,20                                    | 0,20                                    | 0,20                                   | 0,00                             | 13,00                              | 12,30                              | 12,65                             | 0,77                        |
| 80     | 0,13                                    | 0,12                                    | 0,13                                   | 0,01                             | 15,70                              | 14,70                              | 15,20                             | 1,10                        |
| 100    | 0,14                                    | 0,13                                    | 0,14                                   | 0,01                             | 18,50                              | 17,40                              | 17,95                             | 1,21                        |
| 120    | 0,20                                    | 0,19                                    | 0,19                                   | 0,01                             | 22,40                              | 21,20                              | 21,80                             | 1,32                        |

Tabela B.8 - Resultado de erosão para o teste DS1

| t(min) | TX <sub>DS1</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | TX <sub>DS1</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | TX <sub>DS1</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>TX-DS1</sub><br>(mg/min) | D <sub>DS1</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>DS1</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>DS1</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-DS1</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,21                                    | 0,21                                    | 0,21                                   | 0,00                             | 4,20                               | 4,22                               | 4,21                              | 0,02                        |
| 40     | 0,32                                    | 0,32                                    | 0,32                                   | 0,00                             | 10,60                              | 10,62                              | 10,61                             | 0,02                        |
| 60     | 0,43                                    | 0,42                                    | 0,42                                   | 0,01                             | 19,10                              | 19,02                              | 19,06                             | 0,44                        |
| 80     | 0,39                                    | 0,39                                    | 0,39                                   | 0,00                             | 26,90                              | 26,84                              | 26,87                             | 0,07                        |
| 100    | 0,38                                    | 0,38                                    | 0,38                                   | 0,00                             | 34,50                              | 34,38                              | 34,44                             | 0,13                        |
| 120    | 0,36                                    | 0,35                                    | 0,35                                   | 0,01                             | 41,60                              | 41,36                              | 41,48                             | 0,26                        |

Tabela B.9 - Resultado de erosão para o teste DS2

| t(min) | T <sub>XDS2</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | T <sub>XDS2</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | T <sub>XDS2</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>Tx-DS2</sub><br>(mg/min) | D <sub>DS2</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>DS2</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>DS2</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-DS2</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,22                                    | 0,22                                    | 0,22                                   | 0,00                             | 4,44                               | 4,40                               | 4,42                              | 0,04                        |
| 40     | 0,18                                    | 0,17                                    | 0,17                                   | 0,01                             | 8,00                               | 7,80                               | 7,90                              | 0,22                        |
| 60     | 0,23                                    | 0,22                                    | 0,22                                   | 0,01                             | 12,50                              | 12,10                              | 12,30                             | 0,44                        |
| 80     | 0,19                                    | 0,19                                    | 0,19                                   | 0,00                             | 16,26                              | 15,90                              | 16,08                             | 0,40                        |
| 100    | 0,26                                    | 0,27                                    | 0,26                                   | 0,01                             | 21,48                              | 21,20                              | 21,34                             | 0,31                        |
| 120    | 0,27                                    | 0,26                                    | 0,26                                   | 0,01                             | 26,88                              | 26,40                              | 26,64                             | 0,53                        |

Tabela B.10 – Desempenho da amostra AF1 à cavitação

| Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_AF1</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_AF1</sub><br>(mg) | Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_AF1</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_AF1</sub><br>(mg) |
|--------------|------------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------|
| 1            | 0,142                              | 0,142                        | 11           | 1,054                              | 7,478                        |
| 2            | 0,266                              | 0,408                        | 12           | 0,972                              | 8,450                        |
| 3            | 0,104                              | 0,512                        | 13           | 1,188                              | 9,638                        |
| 4            | 0,260                              | 0,772                        | 14           | 1,036                              | 10,674                       |
| 5            | 0,740                              | 1,512                        | 15           | 1,212                              | 11,886                       |
| 6            | 1,142                              | 2,654                        | 16           | 0,918                              | 12,804                       |
| 7            | 0,930                              | 3,584                        | 17           | 0,978                              | 13,782                       |
| 8            | 1,032                              | 4,616                        | 18           | 1,318                              | 15,100                       |
| 9            | 0,970                              | 5,586                        | 19           | 1,062                              | 16,162                       |
| 10           | 0,838                              | 6,424                        | 20           | 1,070                              | 17,232                       |

Tabela B.11 – Desempenho da amostra AF2 à cavitação

| Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_AF2</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_AF2</sub><br>(mg) | Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_AF2</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_AF2</sub><br>(mg) |
|--------------|------------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------|
| 1            | 0,024                              | 0,024                        | 11           | 0,682                              | 8,176                        |
| 2            | 0,192                              | 0,216                        | 12           | 0,874                              | 9,050                        |
| 3            | 0,160                              | 0,376                        | 13           | 1,160                              | 10,210                       |
| 4            | 0,256                              | 0,632                        | 14           | 1,150                              | 11,360                       |
| 5            | 0,896                              | 1,528                        | 15           | 1,308                              | 12,668                       |
| 6            | 0,990                              | 2,518                        | 16           | 1,112                              | 13,780                       |
| 7            | 1,226                              | 3,744                        | 17           | 1,140                              | 14,920                       |
| 8            | 1,270                              | 5,014                        | 18           | 0,896                              | 15,816                       |
| 9            | 1,222                              | 6,236                        | 19           | 0,920                              | 16,736                       |
| 10           | 1,258                              | 7,494                        | 20           | 0,920                              | 17,656                       |

Tabela B.12 – Desempenho da amostra DA4 à cavitação

| Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_DA4</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_DA4</sub><br>(mg) | Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_DA4</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_DA4</sub><br>(mg) |
|--------------|------------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------|
| 1            | 0,350                              | 0,350                        | 11           | 1,642                              | 6,452                        |
| 2            | 0,036                              | 0,386                        | 12           | 1,182                              | 7,634                        |
| 3            | 0,168                              | 0,554                        | 13           | 0,642                              | 8,276                        |
| 4            | 0,304                              | 0,858                        | 14           | 1,380                              | 9,656                        |
| 5            | 0,388                              | 1,246                        | 15           | 0,712                              | 10,368                       |
| 6            | 0,414                              | 1,660                        | 16           | 1,584                              | 11,952                       |
| 7            | 0,558                              | 2,218                        | 17           | 1,412                              | 13,364                       |
| 8            | 0,526                              | 2,744                        | 18           | 0,704                              | 14,068                       |
| 9            | 1,012                              | 3,756                        | 19           | 1,060                              | 15,128                       |
| 10           | 1,054                              | 4,810                        | 20           | 1,526                              | 16,654                       |

Tabela B.13 – Desempenho da amostra DS1 à cavitação

| Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_DS1</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_DS1</sub><br>(mg) | Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_DS1</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_DS1</sub><br>(mg) |
|--------------|------------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------|
| 1            | 0,0                                | 0,0                          | 11           | 0,792                              | 7,648                        |
| 2            | 0,732                              | 0,732                        | 12           | 0,782                              | 8,430                        |
| 3            | 0,784                              | 1,516                        | 13           | 0,788                              | 9,218                        |
| 4            | 0,268                              | 1,784                        | 14           | 0,738                              | 9,956                        |
| 5            | 0,424                              | 2,208                        | 15           | 1,070                              | 11,026                       |
| 6            | 0,616                              | 2,824                        | 16           | 0,770                              | 11,796                       |
| 7            | 0,620                              | 3,444                        | 17           | 0,750                              | 12,546                       |
| 8            | 0,856                              | 4,300                        | 18           | 0,764                              | 13,310                       |
| 9            | 0,860                              | 5,160                        | 19           | 1,172                              | 14,482                       |
| 10           | 0,860                              | 6,020                        | 20           | 1,170                              | 15,652                       |

Tabela B.14 – Desempenho da amostra DS2 à cavitação

| Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_DS2</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_DS2</sub><br>(mg) | Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_DS2</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_DS2</sub><br>(mg) |
|--------------|------------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------|
| 1            | 0,078                              | 0,078                        | 11           | 0,696                              | 5,270                        |
| 2            | 0,070                              | 0,148                        | 12           | 0,906                              | 6,176                        |
| 3            | 0,130                              | 0,278                        | 13           | 0,840                              | 7,016                        |
| 4            | 0,124                              | 0,402                        | 14           | 0,822                              | 7,838                        |
| 5            | 0,118                              | 0,520                        | 15           | 0,800                              | 8,638                        |
| 6            | 0,314                              | 0,834                        | 16           | 1,068                              | 9,706                        |
| 7            | 0,886                              | 1,720                        | 17           | 0,682                              | 10,388                       |
| 8            | 0,840                              | 2,560                        | 18           | 0,900                              | 11,288                       |
| 9            | 1,008                              | 3,568                        | 19           | 0,698                              | 11,986                       |
| 10           | 1,006                              | 4,574                        | 20           | 0,816                              | 12,802                       |

## APÊNDICE C

### RESULTADOS COMPLEMENTARES DO CAPÍTULO VI

Neste apêndice encontram-se as Tabelas completas com os valores de incerteza para o ensaio de erosão e cavitação dos testes com o metal de adição em aço inoxidável austenítico e ligas de cobalto.

Tabela C.1 – Resultados de erosão para o teste AF3

| t(min) | T <sub>XAF3</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | T <sub>XAF3</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | T <sub>XAF3</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>Tx-AF3</sub><br>(mg/min) | D <sub>AF3</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>AF3</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>AF3</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-AF3</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,35                                    | 0,34                                    | 0,34                                   | 0,01                             | 6,92                               | 6,80                               | 6,86                              | 0,11                        |
| 40     | 0,33                                    | 0,31                                    | 0,32                                   | 0,02                             | 13,42                              | 12,90                              | 13,16                             | 0,55                        |
| 60     | 0,41                                    | 0,41                                    | 0,41                                   | 0,00                             | 21,68                              | 21,10                              | 21,39                             | 0,55                        |
| 80     | 0,34                                    | 0,33                                    | 0,33                                   | 0,00                             | 28,42                              | 27,70                              | 28,06                             | 0,33                        |
| 100    | 0,32                                    | 0,30                                    | 0,31                                   | 0,03                             | 34,80                              | 33,60                              | 34,20                             | 0,88                        |
| 120    | 0,45                                    | 0,45                                    | 0,45                                   | 0,00                             | 43,82                              | 42,60                              | 43,21                             | 0,66                        |

Tabela C.2 – Resultados de erosão para o teste AF4

| t(min) | T <sub>XAF4</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | T <sub>XAF4</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | T <sub>XAF4</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>Tx-AF4</sub><br>(mg/min) | D <sub>AF4</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>AF4</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>AF4</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-AF4</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,22                                    | 0,22                                    | 0,22                                   | 0,01                             | 5,20                               | 5,00                               | 5,10                              | 0,22                        |
| 40     | 0,21                                    | 0,20                                    | 0,20                                   | 0,01                             | 9,56                               | 9,40                               | 9,48                              | 0,22                        |
| 60     | 0,21                                    | 0,21                                    | 0,21                                   | 0,00                             | 14,50                              | 14,50                              | 14,50                             | 0,00                        |
| 80     | 0,23                                    | 0,23                                    | 0,23                                   | 0,01                             | 20,82                              | 20,90                              | 20,86                             | 0,11                        |
| 100    | 0,24                                    | 0,23                                    | 0,23                                   | 0,01                             | 27,52                              | 27,50                              | 27,51                             | 0,00                        |
| 120    | 0,29                                    | 0,29                                    | 0,29                                   | 0,01                             | 31,20                              | 30,98                              | 31,09                             | 0,22                        |

Tabela C.3 - Resultado de erosão para o teste DA5

| t(min) | TX <sub>DA5</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | TX <sub>DA5</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | TX <sub>DA5</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>TX-DA5</sub><br>(mg/min) | D <sub>DA5</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>DA5</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>DA5</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-DA5</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,21                                    | 0,21                                    | 0,21                                   | 0,01                             | 4,10                               | 4,30                               | 4,20                              | 0,22                        |
| 40     | 0,22                                    | 0,22                                    | 0,22                                   | 0,01                             | 8,60                               | 8,70                               | 8,65                              | 0,11                        |
| 60     | 0,15                                    | 0,14                                    | 0,15                                   | 0,01                             | 11,60                              | 11,60                              | 11,60                             | 0,00                        |
| 80     | 0,28                                    | 0,31                                    | 0,30                                   | 0,04                             | 17,10                              | 17,90                              | 17,50                             | 0,88                        |
| 100    | 0,13                                    | 0,13                                    | 0,13                                   | 0,01                             | 19,80                              | 20,40                              | 20,10                             | 0,66                        |
| 120    | 0,12                                    | 0,11                                    | 0,12                                   | 0,01                             | 22,20                              | 22,70                              | 22,45                             | 0,55                        |

Tabela C.4 - Resultado de erosão para o teste DA6

| t(min) | TX <sub>DA6</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | TX <sub>DA6</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | TX <sub>DA6</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>TX-DA6</sub><br>(mg/min) | D <sub>DA6</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>DA6</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>DA6</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-DA6</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,15                                    | 0,14                                    | 0,15                                   | 0,15                             | 3,10                               | 2,80                               | 2,94                              | 0,33                        |
| 40     | 0,09                                    | 0,06                                    | 0,08                                   | 0,08                             | 4,80                               | 4,10                               | 4,44                              | 0,77                        |
| 60     | 0,11                                    | 0,11                                    | 0,11                                   | 0,11                             | 7,00                               | 6,30                               | 6,66                              | 0,77                        |
| 80     | 0,14                                    | 0,10                                    | 0,12                                   | 0,12                             | 9,80                               | 8,40                               | 9,11                              | 1,54                        |
| 100    | 0,14                                    | 0,12                                    | 0,13                                   | 0,13                             | 12,70                              | 10,80                              | 11,75                             | 2,09                        |
| 120    | 0,14                                    | 0,12                                    | 0,13                                   | 0,13                             | 15,50                              | 13,30                              | 14,39                             | 2,42                        |

Tabela C.5 - Resultado de erosão para o teste DS3

| t(min) | TX <sub>DS3</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | TX <sub>DS3</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | TX <sub>DS3</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>TX-DS3</sub><br>(mg/min) | D <sub>DS3</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>DS3</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>DS3</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-DS3</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,10                                    | 0,10                                    | 0,01                                   | 0,05                             | 1,98                               | 1,90                               | 1,94                              | 0,09                        |
| 40     | 0,12                                    | 0,10                                    | 0,02                                   | 0,02                             | 4,32                               | 3,88                               | 4,10                              | 0,48                        |
| 60     | 0,17                                    | 0,17                                    | 0,00                                   | 0,06                             | 7,66                               | 7,18                               | 7,42                              | 0,53                        |
| 80     | 0,18                                    | 0,18                                    | 0,00                                   | 0,06                             | 11,24                              | 10,68                              | 10,96                             | 0,62                        |
| 100    | 0,22                                    | 0,22                                    | 0,00                                   | 0,06                             | 15,72                              | 15,08                              | 15,40                             | 0,70                        |
| 120    | 0,19                                    | 0,19                                    | 0,00                                   | 0,06                             | 19,46                              | 18,78                              | 19,12                             | 0,75                        |

Tabela C.6 - Resultado de erosão para o teste DS4

| t(min) | T <sub>XDS4</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | T <sub>XDS4</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | T <sub>XDS4</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>Tx-DS4</sub><br>(mg/min) | D <sub>DS4</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>DS4</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>DS4</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-DS4</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,16                                    | 0,16                                    | 0,16                                   | 0,01                             | 3,26                               | 3,20                               | 3,23                              | 0,01                        |
| 40     | 0,16                                    | 0,15                                    | 0,15                                   | 0,01                             | 6,40                               | 6,20                               | 6,30                              | 0,22                        |
| 60     | 0,15                                    | 0,15                                    | 0,15                                   | 0,00                             | 9,32                               | 9,10                               | 9,21                              | 0,24                        |
| 80     | 0,12                                    | 0,12                                    | 0,12                                   | 0,00                             | 11,68                              | 11,40                              | 11,54                             | 0,31                        |
| 100    | 0,14                                    | 0,14                                    | 0,14                                   | 0,00                             | 14,54                              | 14,10                              | 14,32                             | 0,48                        |
| 120    | 0,14                                    | 0,14                                    | 0,14                                   | 0,00                             | 17,44                              | 16,90                              | 17,17                             | 0,55                        |

Tabela C.7 – Desempenho da amostra AF3 à cavitação

| Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_AF3</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_AF3</sub><br>(mg) | Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_AF3</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_AF3</sub><br>(mg) |
|--------------|------------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------|
| 1            | 0,006                              | 0,006                        | 21           | 0,540                              | 9,702                        |
| 2            | 0,324                              | 0,330                        | 22           | 0,692                              | 10,394                       |
| 3            | 0,436                              | 0,766                        | 23           | 0,540                              | 10,934                       |
| 4            | 0,294                              | 1,060                        | 24           | 0,492                              | 11,426                       |
| 5            | 0,368                              | 1,428                        | 25           | 0,624                              | 12,050                       |
| 6            | 0,620                              | 2,048                        | 26           | 0,456                              | 12,506                       |
| 7            | 0,346                              | 2,394                        | 27           | 0,234                              | 12,740                       |
| 8            | 0,560                              | 2,954                        | 28           | 0,498                              | 13,238                       |
| 9            | 0,560                              | 3,514                        | 29           | 0,778                              | 14,016                       |
| 10           | 0,560                              | 4,074                        | 30           | 0,324                              | 14,340                       |
| 11           | 0,736                              | 4,810                        | 31           | 0,336                              | 14,676                       |
| 12           | 0,368                              | 5,178                        | 32           | 0,330                              | 15,006                       |
| 13           | 0,370                              | 5,548                        | 33           | 0,882                              | 15,888                       |
| 14           | 0,776                              | 6,324                        | 34           | 0,420                              | 16,308                       |
| 15           | 0,330                              | 6,654                        | 35           | 0,158                              | 16,466                       |
| 16           | 0,466                              | 7,120                        | 36           | 0,352                              | 16,818                       |
| 17           | 0,480                              | 7,600                        | 37           | 0,726                              | 17,544                       |
| 18           | 0,480                              | 8,080                        | 38           | 0,296                              | 17,840                       |
| 19           | 0,542                              | 8,622                        | 39           | 0,290                              | 18,130                       |
| 20           | 0,540                              | 9,162                        | 40           | 0,290                              | 18,420                       |

Tabela C.8 – Desempenho da amostra AF4 à cavitação

| Tempo<br>(h) | TX <sub>CAV_AF4</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_AF4</sub><br>(mg) | Tempo<br>(h) | TX <sub>CAV_AF4</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_AF4</sub><br>(mg) |
|--------------|------------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------|
| 1            | 0,032                              | 0,032                        | 21           | 0,864                              | 13,480                       |
| 2            | 0,030                              | 0,062                        | 22           | 0,888                              | 14,368                       |
| 3            | 0,046                              | 0,108                        | 23           | 0,900                              | 15,268                       |
| 4            | 0,154                              | 0,262                        | 24           | 0,892                              | 16,160                       |
| 5            | 0,426                              | 0,688                        | 25           | 0,880                              | 17,040                       |
| 6            | 0,432                              | 1,120                        | 26           | 0,880                              | 17,920                       |
| 7            | 0,436                              | 1,556                        | 27           | 1,324                              | 19,244                       |
| 8            | 0,914                              | 2,470                        | 28           | 1,310                              | 20,554                       |
| 9            | 0,928                              | 3,398                        | 29           | 1,310                              | 21,864                       |
| 10           | 0,976                              | 4,374                        | 30           | 0,800                              | 22,664                       |
| 11           | 0,870                              | 5,244                        | 31           | 1,036                              | 23,700                       |
| 12           | 0,846                              | 6,090                        | 32           | 1,050                              | 24,750                       |
| 13           | 0,942                              | 7,032                        | 33           | 1,050                              | 25,800                       |
| 14           | 0,924                              | 7,956                        | 34           | 0,702                              | 26,502                       |
| 15           | 0,750                              | 8,706                        | 35           | 0,710                              | 27,212                       |
| 16           | 0,886                              | 9,592                        | 36           | 0,710                              | 27,922                       |
| 17           | 0,738                              | 10,330                       | 37           | 0,794                              | 28,716                       |
| 18           | 0,832                              | 11,162                       | 38           | 0,800                              | 29,516                       |
| 19           | 0,722                              | 11,884                       | 39           | 0,582                              | 30,098                       |
| 20           | 0,732                              | 12,616                       | 40           | 0,580                              | 30,678                       |

Tabela C.9 – Desempenho da amostra DA5 à cavitação

| Tempo<br>(h) | TX <sub>CAV_DA5</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_DA5</sub><br>(mg) | Tempo<br>(h) | TX <sub>CAV_DA5</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_DA5</sub><br>(mg) |
|--------------|------------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------|
| 1            | 0,206                              | 0,206                        | 21           | 0,916                              | 16,610                       |
| 2            | 0,168                              | 0,374                        | 22           | 1,058                              | 17,668                       |
| 3            | 0,132                              | 0,506                        | 23           | 1,166                              | 18,834                       |
| 4            | 0,094                              | 0,600                        | 24           | 0,866                              | 19,700                       |
| 5            | 0,292                              | 0,892                        | 25           | 1,096                              | 20,796                       |
| 6            | 0,466                              | 1,358                        | 26           | 1,102                              | 21,898                       |
| 7            | 0,848                              | 2,206                        | 27           | 0,958                              | 22,856                       |
| 8            | 0,654                              | 2,860                        | 28           | 0,864                              | 23,720                       |
| 9            | 0,906                              | 3,766                        | 29           | 1,094                              | 24,814                       |
| 10           | 1,176                              | 4,942                        | 30           | 1,232                              | 26,046                       |
| 11           | 1,180                              | 6,122                        | 31           | 0,816                              | 26,862                       |
| 12           | 1,158                              | 7,280                        | 32           | 1,108                              | 27,970                       |
| 13           | 0,890                              | 8,170                        | 33           | 0,858                              | 28,828                       |
| 14           | 1,228                              | 9,398                        | 34           | 0,870                              | 29,698                       |
| 15           | 1,072                              | 10,470                       | 35           | 0,808                              | 30,506                       |
| 16           | 1,138                              | 11,608                       | 36           | 0,890                              | 31,396                       |
| 17           | 1,032                              | 12,640                       | 37           | 0,522                              | 31,918                       |
| 18           | 1,048                              | 13,688                       | 38           | 0,798                              | 32,716                       |
| 19           | 1,188                              | 14,876                       | 39           | 0,774                              | 33,490                       |
| 20           | 0,818                              | 15,694                       | 40           | 0,882                              | 34,372                       |

Tabela C.10 – Desempenho da amostra DA6 à cavitação

| Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_DA6</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_DA6</sub><br>(mg) | Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_DA6</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_DA6</sub><br>(mg) |
|--------------|------------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------|
| 1            | 0,126                              | 0,126                        | 21           | 0,420                              | 4,288                        |
| 2            | 0,096                              | 0,222                        | 22           | 0,360                              | 4,648                        |
| 3            | 0,098                              | 0,320                        | 23           | 0,512                              | 5,160                        |
| 4            | 0,070                              | 0,390                        | 24           | 0,548                              | 5,708                        |
| 5            | 0,062                              | 0,452                        | 25           | 0,502                              | 6,210                        |
| 6            | 0,048                              | 0,500                        | 26           | 0,368                              | 6,578                        |
| 7            | 0,078                              | 0,578                        | 27           | 0,432                              | 7,010                        |
| 8            | 0,064                              | 0,642                        | 28           | 0,444                              | 7,454                        |
| 9            | 0,132                              | 0,774                        | 29           | 0,518                              | 7,972                        |
| 10           | 0,092                              | 0,866                        | 30           | 0,508                              | 8,480                        |
| 11           | 0,208                              | 1,074                        | 31           | 0,510                              | 8,990                        |
| 12           | 0,106                              | 1,180                        | 32           | 0,304                              | 9,294                        |
| 13           | 0,236                              | 1,416                        | 33           | 0,534                              | 9,828                        |
| 14           | 0,244                              | 1,660                        | 34           | 0,466                              | 10,294                       |
| 15           | 0,290                              | 1,950                        | 35           | 0,412                              | 10,706                       |
| 16           | 0,342                              | 2,292                        | 36           | 0,484                              | 11,190                       |
| 17           | 0,340                              | 2,632                        | 37           | 0,584                              | 11,774                       |
| 18           | 0,250                              | 2,882                        | 38           | 0,224                              | 11,998                       |
| 19           | 0,474                              | 3,356                        | 39           | 0,414                              | 12,412                       |
| 20           | 0,512                              | 3,868                        | 40           | 0,380                              | 12,792                       |

## APÊNDICE D

### RESULTADOS COMPLEMENTARES DO CAPÍTULO VII

Neste apêndice encontram-se as Tabelas completas com os valores de incerteza para o ensaio de erosão e cavitação dos testes com o metal de adição em ligas de cobalto.

Tabela D.1 – Resultados de erosão para o teste AF5

| t(min) | T <sub>XAF5</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | T <sub>XAF5</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | T <sub>XAF5</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>Tx-AF5</sub><br>(mg/min) | D <sub>AF5</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>AF5</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>AF5</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-AF5</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,22                                    | 0,22                                    | 0,22                                   | 0,01                             | 4,40                               | 4,30                               | 4,35                              | 0,11                        |
| 40     | 0,21                                    | 0,20                                    | 0,20                                   | 0,01                             | 8,50                               | 8,32                               | 8,41                              | 0,22                        |
| 60     | 0,21                                    | 0,21                                    | 0,21                                   | 0,00                             | 12,70                              | 12,52                              | 12,61                             | 0,22                        |
| 80     | 0,23                                    | 0,23                                    | 0,23                                   | 0,01                             | 17,30                              | 17,04                              | 17,17                             | 0,33                        |
| 100    | 0,24                                    | 0,23                                    | 0,23                                   | 0,01                             | 22,00                              | 21,64                              | 21,82                             | 0,44                        |
| 120    | 0,29                                    | 0,29                                    | 0,29                                   | 0,01                             | 27,80                              | 27,38                              | 27,59                             | 0,44                        |

Tabela D.2 – Resultados de erosão para o teste AF6

| t(min) | T <sub>XAF6</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | T <sub>XAF6</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | T <sub>XAF6</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>Tx-AF6</sub><br>(mg/min) | D <sub>AF6</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>AF6</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>AF6</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-AF6</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,13                                    | 0,12                                    | 0,13                                   | 0,01                             | 2,60                               | 2,48                               | 2,54                              | 0,11                        |
| 40     | 0,12                                    | 0,11                                    | 0,12                                   | 0,02                             | 5,08                               | 4,62                               | 4,85                              | 0,55                        |
| 60     | 0,15                                    | 0,13                                    | 0,14                                   | 0,02                             | 7,98                               | 7,16                               | 7,57                              | 0,88                        |
| 80     | 0,17                                    | 0,16                                    | 0,16                                   | 0,01                             | 11,28                              | 10,36                              | 10,82                             | 0,99                        |
| 100    | 0,18                                    | 0,18                                    | 0,18                                   | 0,01                             | 14,78                              | 14,00                              | 14,39                             | 0,88                        |
| 120    | 0,20                                    | 0,19                                    | 0,20                                   | 0,01                             | 18,78                              | 17,82                              | 18,30                             | 1,10                        |

Tabela D.3 – Resultados de erosão para o teste AF7

| t(min) | T <sub>XAF7</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | T <sub>XAF7</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | T <sub>XAF7</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>Tx-AF7</sub><br>(mg/min) | D <sub>AF7</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>AF7</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>AF7</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-AF7</sub><br>(mg) |
|--------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,15                                    | 0,14                                    | 0,14                                   | 0,01                             | 2,90                               | 2,78                               | 2,84                              | 0,11                        |
| 40     | 0,08                                    | 0,08                                    | 0,08                                   | 0,01                             | 4,50                               | 4,28                               | 4,39                              | 0,22                        |
| 60     | 0,07                                    | 0,07                                    | 0,07                                   | 0,01                             | 5,90                               | 5,58                               | 5,74                              | 0,33                        |
| 80     | 0,06                                    | 0,05                                    | 0,05                                   | 0,01                             | 7,00                               | 6,54                               | 6,77                              | 0,55                        |
| 100    | 0,06                                    | 0,05                                    | 0,05                                   | 0,01                             | 8,10                               | 7,56                               | 7,83                              | 0,55                        |
| 120    | 0,03                                    | 0,02                                    | 0,03                                   | 0,02                             | 8,78                               | 7,98                               | 8,38                              | 0,88                        |

Tabela D.4 - Resultado de erosão para o teste DS5

| t(min) | T <sub>DS5</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | T <sub>DS5</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | T <sub>DS5</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>Tx-DS5</sub><br>(mg/min) | D <sub>DS5</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>DS5</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>DS5</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-DS5</sub><br>(mg) |
|--------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,17                                   | 0,17                                   | 0,17                                  | 0,01                             | 3,42                               | 3,30                               | 3,36                              | 0,13                        |
| 40     | 0,11                                   | 0,10                                   | 0,10                                  | 0,01                             | 5,56                               | 5,30                               | 5,43                              | 0,29                        |
| 60     | 0,09                                   | 0,08                                   | 0,08                                  | 0,01                             | 7,34                               | 6,90                               | 7,12                              | 0,48                        |
| 80     | 0,08                                   | 0,08                                   | 0,08                                  | 0,00                             | 8,86                               | 8,40                               | 8,63                              | 0,51                        |
| 100    | 0,05                                   | 0,05                                   | 0,05                                  | 0,01                             | 9,92                               | 9,40                               | 9,66                              | 0,57                        |
| 120    | 0,06                                   | 0,06                                   | 0,06                                  | 0,01                             | 11,18                              | 10,60                              | 10,89                             | 0,64                        |

Tabela D.5 - Resultado de erosão para o teste DS6

| t(min) | T <sub>DS6</sub><br>Lado A<br>(mg/min) | T <sub>DS6</sub><br>Lado B<br>(mg/min) | T <sub>DS6</sub><br>MÉDIA<br>(mg/min) | IN <sub>Tx-DS6</sub><br>(mg/min) | D <sub>DS6</sub><br>Lado A<br>(mg) | D <sub>DS6</sub><br>Lado B<br>(mg) | D <sub>DS6</sub><br>MÉDIA<br>(mg) | IN <sub>D-DS6</sub><br>(mg) |
|--------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 20     | 0,15                                   | 0,15                                   | 0,15                                  | 0,00                             | 2,92                               | 2,90                               | 2,91                              | 0,02                        |
| 40     | 0,17                                   | 0,17                                   | 0,17                                  | 0,01                             | 6,30                               | 6,20                               | 6,25                              | 0,11                        |
| 60     | 0,21                                   | 0,21                                   | 0,21                                  | 0,00                             | 10,44                              | 10,30                              | 10,37                             | 0,15                        |
| 80     | 0,21                                   | 0,19                                   | 0,20                                  | 0,02                             | 14,57                              | 14,10                              | 14,34                             | 0,52                        |
| 100    | 0,17                                   | 0,16                                   | 0,17                                  | 0,01                             | 18,02                              | 17,30                              | 17,66                             | 0,79                        |
| 120    | 0,12                                   | 0,12                                   | 0,12                                  | 0,00                             | 20,32                              | 19,60                              | 19,96                             | 0,79                        |

Tabela D.6 – Desempenho da amostra AF5 à cavitação

| Tempo<br>(h) | TX <sub>CAV_AF5</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_AF5</sub><br>(mg) | Tempo<br>(h) | TX <sub>CAV_AF5</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_AF5</sub><br>(mg) |
|--------------|------------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------|
| 1            | 0,184                              | 0,184                        | 21           | 0,036                              | 1,036                        |
| 2            | 0,042                              | 0,226                        | 22           | 0,116                              | 1,152                        |
| 3            | 0,028                              | 0,254                        | 23           | 0,030                              | 1,182                        |
| 4            | 0,004                              | 0,258                        | 24           | 0,016                              | 1,198                        |
| 5            | 0,018                              | 0,276                        | 25           | 0,008                              | 1,206                        |
| 6            | 0,050                              | 0,326                        | 26           | 0,000                              | 1,206                        |
| 7            | 0,034                              | 0,360                        | 27           | 0,014                              | 1,220                        |
| 8            | 0,004                              | 0,364                        | 28           | 0,032                              | 1,252                        |
| 9            | 0,000                              | 0,364                        | 29           | 0,030                              | 1,282                        |
| 10           | 0,152                              | 0,516                        | 30           | 0,012                              | 1,294                        |
| 11           | 0,082                              | 0,598                        | 31           | 0,000                              | 1,294                        |
| 12           | 0,132                              | 0,730                        | 32           | 0,010                              | 1,304                        |
| 13           | 0,002                              | 0,732                        | 33           | 0,004                              | 1,308                        |
| 14           | 0,002                              | 0,734                        | 34           | 0,008                              | 1,316                        |
| 15           | 0,028                              | 0,762                        | 35           | 0,000                              | 1,316                        |
| 16           | 0,016                              | 0,778                        | 36           | 0,006                              | 1,322                        |
| 17           | 0,012                              | 0,790                        | 37           | 0,000                              | 1,322                        |
| 18           | 0,020                              | 0,810                        | 38           | 0,000                              | 1,322                        |
| 19           | 0,020                              | 0,830                        | 39           | 0,038                              | 1,360                        |
| 20           | 0,170                              | 1,000                        | 40           | 0,040                              | 1,400                        |

Tabela D.7 – Desempenho da amostra AF6 à cavitação

| Tempo<br>(h) | TX <sub>CAV_AF6</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_AF6</sub><br>(mg) | Tempo<br>(h) | TX <sub>CAV_AF6</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_AF6</sub><br>(mg) |
|--------------|------------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------|
| 1            | 0,078                              | 0,078                        | 21           | 0,000                              | 1,854                        |
| 2            | 0,000                              | 0,078                        | 22           | 0,186                              | 2,040                        |
| 3            | 0,074                              | 0,152                        | 23           | 0,182                              | 2,222                        |
| 4            | 0,046                              | 0,198                        | 24           | 0,184                              | 2,406                        |
| 5            | 0,004                              | 0,202                        | 25           | 0,180                              | 2,586                        |
| 6            | 0,064                              | 0,266                        | 26           | 0,080                              | 2,666                        |
| 7            | 0,014                              | 0,280                        | 27           | 0,062                              | 2,728                        |
| 8            | 0,128                              | 0,408                        | 28           | 0,058                              | 2,786                        |
| 9            | 0,072                              | 0,480                        | 29           | 0,146                              | 2,932                        |
| 10           | 0,042                              | 0,522                        | 30           | 0,100                              | 3,032                        |
| 11           | 0,042                              | 0,564                        | 31           | 0,012                              | 3,044                        |
| 12           | 0,004                              | 0,568                        | 32           | 0,122                              | 3,166                        |
| 13           | 0,094                              | 0,662                        | 33           | 0,006                              | 3,172                        |
| 14           | 0,050                              | 0,712                        | 34           | 0,000                              | 3,172                        |
| 15           | 0,148                              | 0,860                        | 35           | 0,000                              | 3,172                        |
| 16           | 0,318                              | 1,178                        | 36           | 0,000                              | 3,172                        |
| 17           | 0,408                              | 1,586                        | 37           | 0,000                              | 3,172                        |
| 18           | 0,120                              | 1,706                        | 38           | 0,010                              | 3,182                        |
| 19           | 0,022                              | 1,728                        | 39           | 0,012                              | 3,194                        |
| 20           | 0,126                              | 1,854                        | 40           | 0,010                              | 3,204                        |

Tabela D.8 – Desempenho da amostra AF7 à cavitação

| Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_AF7</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_AF7</sub><br>(mg) | Tempo<br>(h) | T <sub>XCAV_AF7</sub><br>(mg/hora) | D <sub>CAV_AF7</sub><br>(mg) |
|--------------|------------------------------------|------------------------------|--------------|------------------------------------|------------------------------|
| 1            | 0,000                              | 0,000                        | 21           | 0,026                              | 1,204                        |
| 2            | 0,000                              | 0,000                        | 22           | 0,018                              | 1,222                        |
| 3            | 0,000                              | 0,000                        | 23           | 0,016                              | 1,238                        |
| 4            | 0,000                              | 0,000                        | 24           | 0,014                              | 1,252                        |
| 5            | 0,000                              | 0,000                        | 25           | 0,000                              | 1,252                        |
| 6            | 0,000                              | 0,000                        | 26           | 0,060                              | 1,312                        |
| 7            | 0,098                              | 0,098                        | 27           | 0,062                              | 1,374                        |
| 8            | 0,242                              | 0,340                        | 28           | 0,014                              | 1,388                        |
| 9            | 0,146                              | 0,486                        | 29           | 0,004                              | 1,392                        |
| 10           | 0,002                              | 0,488                        | 30           | 0,140                              | 1,532                        |
| 11           | 0,224                              | 0,712                        | 31           | 0,050                              | 1,582                        |
| 12           | 0,000                              | 0,712                        | 32           | 0,000                              | 1,582                        |
| 13           | 0,006                              | 0,718                        | 33           | 0,000                              | 1,582                        |
| 14           | 0,040                              | 0,758                        | 34           | 0,000                              | 1,582                        |
| 15           | 0,010                              | 0,768                        | 35           | 0,060                              | 1,642                        |
| 16           | 0,218                              | 0,986                        | 36           | 0,000                              | 1,642                        |
| 17           | 0,092                              | 1,078                        | 37           | 0,000                              | 1,642                        |
| 18           | 0,050                              | 1,128                        | 38           | 0,064                              | 1,706                        |
| 19           | 0,030                              | 1,158                        | 39           | 0,062                              | 1,768                        |
| 20           | 0,020                              | 1,178                        | 40           | 0,020                              | 1,788                        |

## **ANEXO**

### **CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO**

Neste apêndice encontram-se os Certificados de Calibração dos Equipamentos de Medição utilizados nesta Tese.