

A velocidade onde o ensaio começa a apresentar vibração é de aproximadamente 105 mm/s (25Hz no inversor). Velocidades mais altas levam a vibrações importantes do sistema no momento de inversão do movimento, onde a velocidade de deslocamento instantânea diminui até chegar a zero. Velocidades mais baixas fogem dessa zona de vibração. Dessa forma, quanto menor a velocidade, mais distante estar-se-á do efeito da vibração. Porém, quando se diminui esse valor, existe uma perda no torque do motor e é necessária também uma análise em virtude da carga a ser utilizada, otimizando esse parâmetro.

Com uma velocidade de 63 mm/s a carga máxima fica restrita a 400 N. Assim, para estudos de cargas mais altas, uma velocidade maior deve ser utilizada.

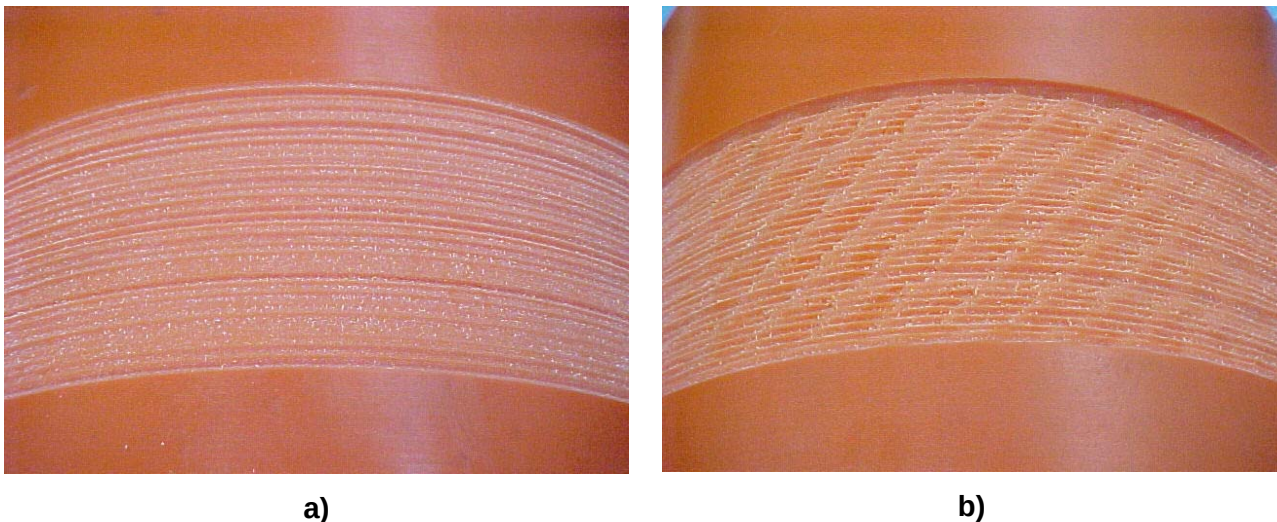


Figura 4.34 – Aspecto macroscópico de amostras de PU-Ref ensaiadas no SIMMC; a) Velocidade média de deslocamento 63 mm/s (15 Hz no inversor), ausência de vibração; b) Velocidade média de deslocamento 126 mm/s (30 Hz no inversor), com vibração.

A velocidade adotada no presente trabalho foi a de 83 mm/s, o que equivale a 20Hz no inversor de frequência. Essa velocidade permite uma utilização de maiores cargas e com um nível de vibração aceitável.

4.5.2 – Seleção da carga de teste

A **figura 4.35** mostra a perda de massa em gramas para intervalos de 1000 ciclos para as cargas de 500N, 650N e 800N. As **figuras 4.36, 4.37 e 4.38** mostram fotos nos vários estágios de desgaste, destacando as características de cada período.

Para esses ensaios foi adotada a velocidade média 83 mm/s como mencionado na seção anterior. Essa velocidade foi escolhida por estar abaixo da zona de vibração e preservar uma boa capacidade de torque do motor, permitindo assim, investigar valores de cargas maiores.

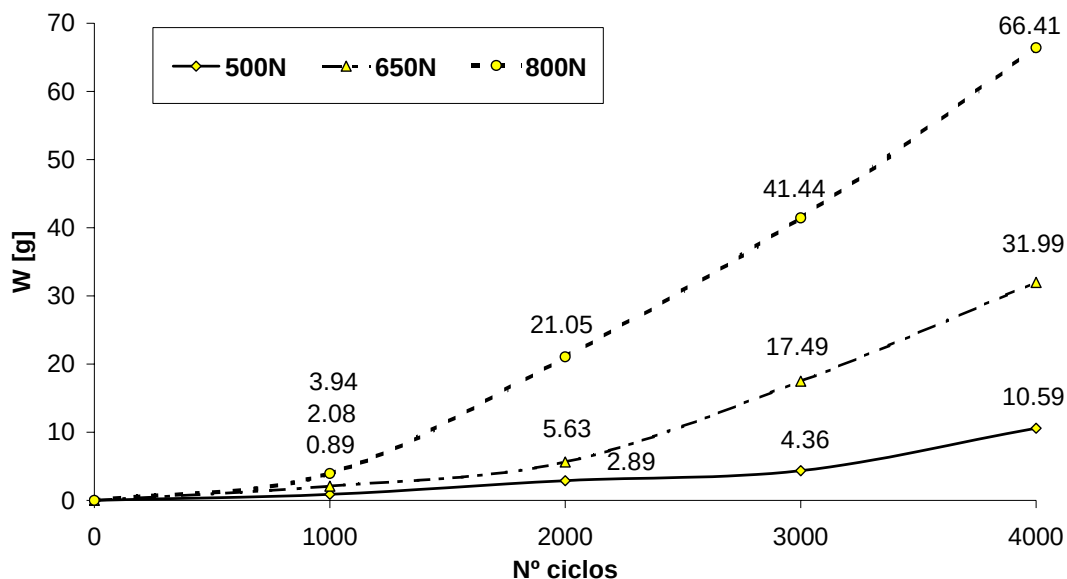


Figura 4.35 – Ensaio SIMMC investigação da carga. Material E-585A1, cargas de 500N, 650N e 800N, velocidade média de deslocamento 83 mm/s.

A **figura 4.36** apresenta o aspecto da região desgastada em alguns diferentes estágios do ensaio para a carga de 500N. Fica evidente que existe uma homogeneidade na retirada de material, mesmo após 4000 ciclos. Isso não é observado para as cargas de 650N e 800N.

O aspecto da superfície de desgaste em diferentes momentos, para a carga de 650N é apresentada na **figura 4.37**. Nota-se que o desgaste não mais se processa de forma homogênea a partir de um certo número de ciclos.

Para a carga de 800N, a **figura 4.38** retrata a região de desgaste, onde se percebe que, antes dos 2000 ciclos, o desgaste já não é homogêneo.



Figura 4.36 – Aspecto macroscópico de uma amostra confeccionada em E-585A1, ensaiada no SIMMC, carga de 500 N, velocidade média de deslocamento 83 mm/s; a) vista geral após 2000 ciclos; b) perfil após 2000 ciclos; c) início da região de desgaste após 4000 ciclos.

Ao associar o aspecto do desgaste observado em cada intervalo do ensaio com a perda de massa, percebe-se nas duas situações (desgaste homogêneo e não homogêneo), que a perda de massa se comporta de forma linear em relação ao número de ciclos, porém com taxas (inclinações) diferentes para cada configuração, ver **figura 4.35**.

Para todas as cargas é observado esse comportamento, porém, nota-se, que essa condição é atingida mais cedo (em menores números de ciclos) com o aumento da carga.

Na situação não homogênea de desgaste, existe a perda de material em forma de cavacos, mais evidentes na **figura 4.38b**. Esses são fragmentados de uma forma que não é representativa do desgaste observado na prática. Esse fenômeno contribui para uma maior dispersão dos resultados além de não retratar o experimentado em campo.

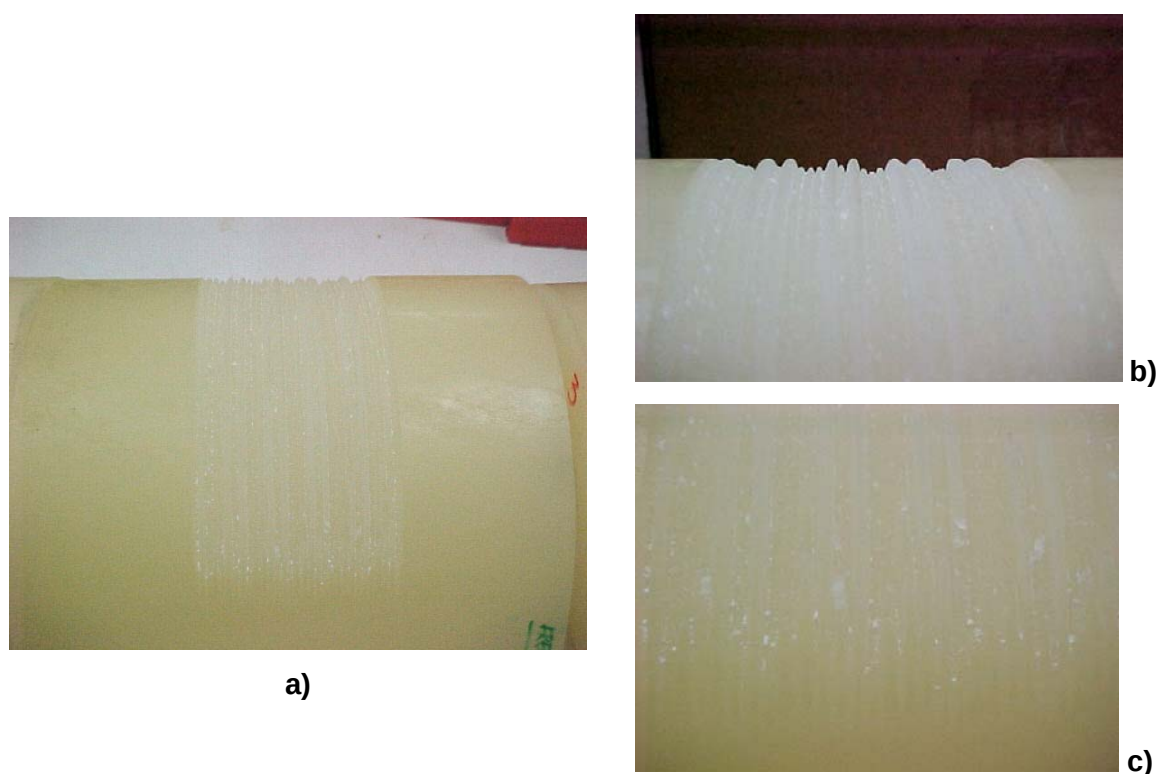


Figura 4.37 – Aspecto macroscópico de amostra de E-585A1 ensaiada no SIMMC, carga de 650N, velocidade média de deslocamento 83 mm/s; a) vista geral após 2000 ciclos; b) detalhe de a); c) início da região de desgaste após 4000 ciclos.

Para cada carga, a passagem de um desgaste homogêneo para uma condição envolvendo falha mecânica se dá num estágio do ensaio. Quanto maior é carga, mais rapidamente ocorre essa mudança (baixos números de ciclos). Para a carga de 500N, **figura 4.35** e **figura 4.36**, esse estágio é atingido após 3000 ciclos, enquanto para a carga de 650N, esse momento está próximo a valores de 2000 ciclos, **figura 4.35** e **figura 4.37**. Para a carga de 800N, **figura 4.35** e **figura 4.38**, esse estágio é atingido nos primeiros 1000 ciclos.

Apesar de, para as três cargas, obterem-se resultados de desgaste numa condição homogênea de retirada de material, a carga de 500N parece ser a melhor configuração para realização do ensaio de desgaste. Entretanto, é necessário que o número de ciclos máximo do ensaio esteja abaixo dos 3000 ciclos, ver **figura 4.35**.

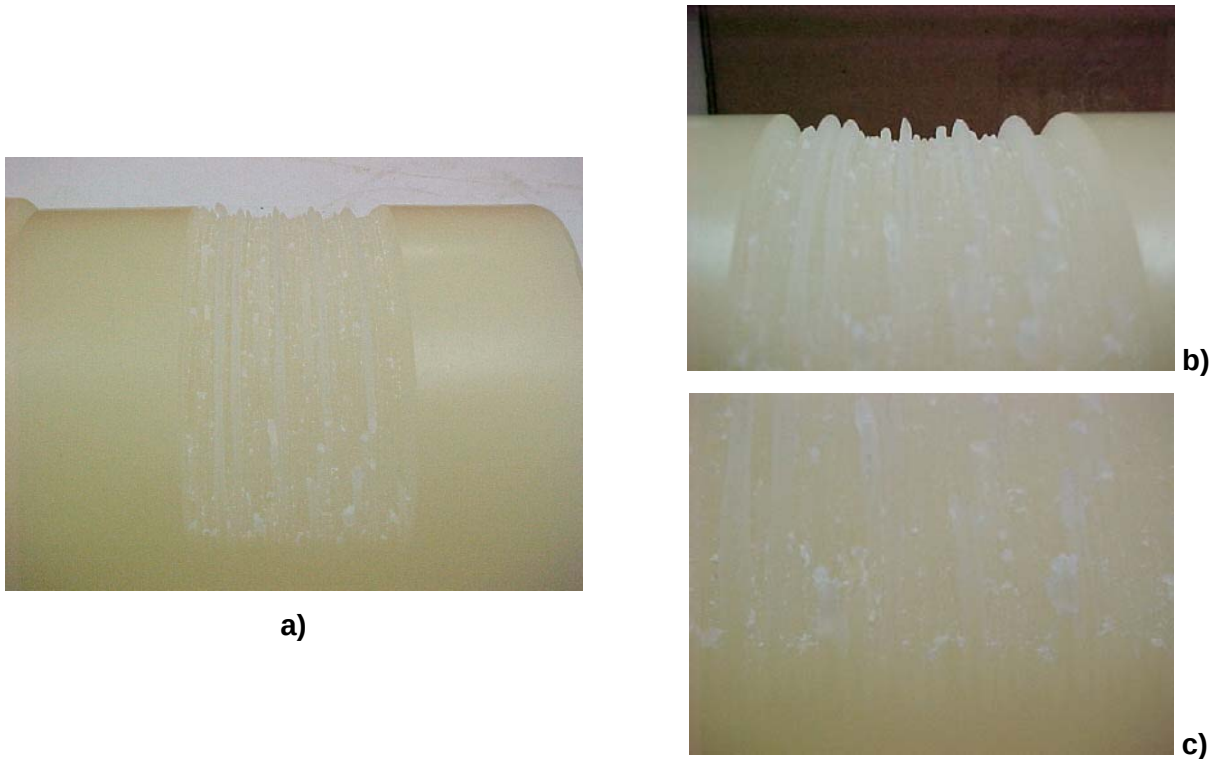


Figura 4.38 – Aspecto macroscópico de amostra de E-585A1 ensaiada no SIMMC, carga de 800N, velocidade média de deslocamento 83 mm/s; a) vista geral após 2000 ciclos; b) detalhe de a); c) início da região de desgaste após 4000 ciclos.

4.5.3 – Seleção do número de ciclos

A análise da quantidade de ciclos a ser utilizada no ensaio foi baseada na região do gráfico que compreende a configuração homogênea de desgaste, discutida no item anterior. Observando a **figura 4.35**, esse valor está localizado nos primeiros 3000 ciclos para a carga de 500N. Porém, pode-se observar que existe uma região, no início do ensaio (primeiros 1000 ciclos), onde a inclinação da reta é diferente, muito provavelmente pelo efeito *amaciamento* (regime não permanente de desgaste).

4.5.4 – Estudo do *amaciamento*

A **figura 4.39** mostra a perda de massa em função do tempo para o material de referência. Observa-se, que nos primeiros 700 ciclos existem variações aleatórias da perda de massa, retratando a presença de uma fase de regime não permanente no início do ensaio. Após esse

valor, a taxa de desgaste permanece constante, sendo dada pela inclinação da reta. A **figura 4.40** retrata a mesma análise para o material E-585A1.

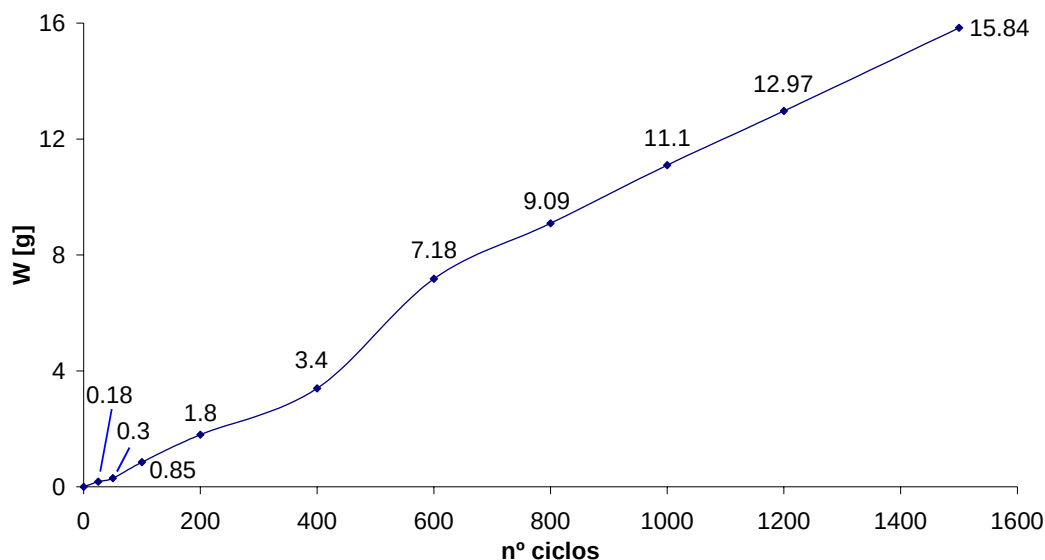


Figura 4.39 – Evolução da perda de massa acumulada no ensaio SIMMC, material PU-Ref, 350N, velocidade média de deslocamento 63 mm/s.

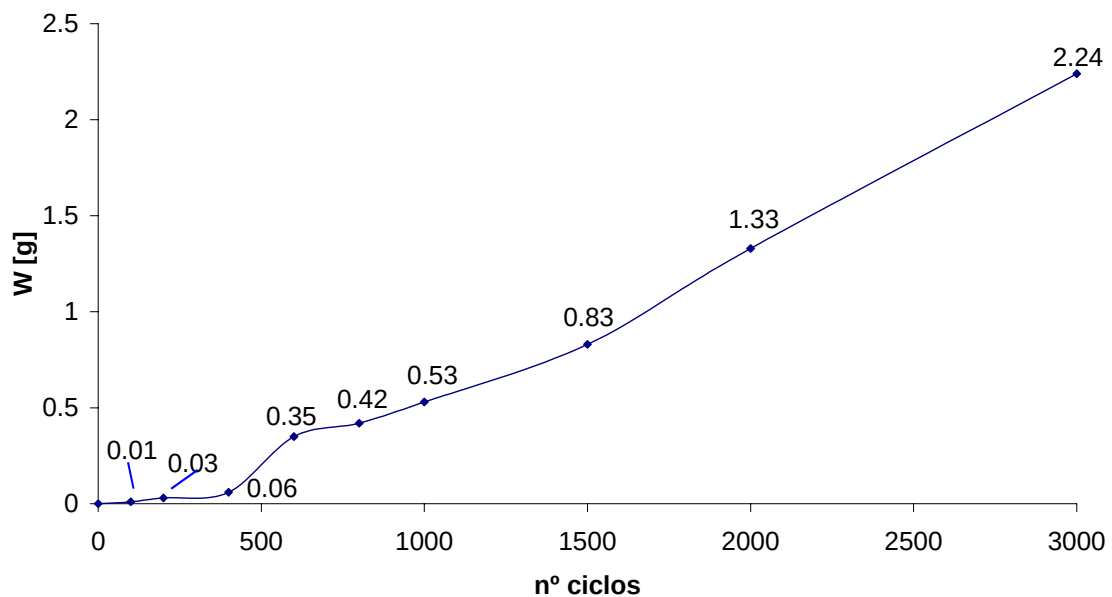


Figura 4.40 – Dinâmica da perda de massa no ensaio SIMMC, material E-585A1, 350N, velocidade média de deslocamento 83 mm/s.

Observa-se nas **figuras 4.39 e 4.40**, que existe um regime não permanente de desgaste e ele é percebido por volta dos primeiros 800 ciclos.

Essa fase de variação da taxa de desgaste não é interessante para uma comparação entre materiais. Portanto, se faz necessário um condicionamento inicial da amostra antes da realização do ensaio (pré-teste). Esse condicionamento foi feito em todas as amostras, tendo sido adotada a realização de 1000 ciclos antes da execução dos ensaios finais, sob as mesmas condições de temperatura, de velocidade e de carga, definidas para o ensaio. Após esse esses 1000 ciclos, as amostras foram limpas com ar comprimido e pesadas numa balança da marca Bel, modelo MARK 4100, com carga máxima de 4100g e resolução de 10 mg.

4.6 – Ensaio de Desgaste - SIMMC

Os ensaios realizados no SIMMC tiveram a configuração de carga e velocidade indicada pelos ensaios das seções anteriores, a saber: carga 500N, velocidade média de deslocamento 83 mm/s e temperatura 4°C. Como pré-teste, foi realizado um ensaio com 1000 ciclos de duração, com objetivo de levar o tribosistema a condição de regime permanente de desgaste. Logo após, as amostras foram pesadas, e realizados mais 1000 ciclos. A diferença de massa medida nesses últimos 1000 ciclos foi utilizada para o cálculo da taxa de desgaste.

Essa taxa foi calculada através da divisão do volume retirado durante o ensaio (perda de massa [g] dividido pela densidade [g/mm^3]) pelo comprimento total deslizado. Optou-se por esse cálculo para que o valor da taxa de desgaste seja específico e não esteja ligado diretamente ao diâmetro da calha.

A **figura 4.41** mostra a taxa de desgaste para o ensaio SIMMC para as amostras testadas. Esses valores também podem ser observados na **tabela 4.8**. O material E-595A1 teve o pior desempenho, enquanto o material E-585A1 foi o melhor no desempenho.

Os materiais E-575A1, E-590A1 e PU-Ref tiveram praticamente o mesmo desempenho, considerando os desvios-padrão.

Pode-se observar que a classificação segundo a resistência ao desgaste é um pouco diferente daquela observada no ensaio de desgaste DIN 53.516. Para compreender melhor essa diferença é necessária uma investigação mais profunda dos mecanismos de desgaste e das propriedades que estão envolvidas nessas solicitações.

A **figura 4.42** mostra o aspecto da superfície desgastada após o ensaio SIMMC para a amostra E-575A1 em vários aumentos. Em baixos aumentos, **figura 4.42a**, percebe-se uma

localização preferencial do desgaste, resultando numa formação com altos e baixos, ou picos e vales. Isso é uma consequência do fato de que a cinemática imposta pelo sistema não foi suficiente para fazerem os penetradores “varrerem” igualmente toda a superfície da calha na região de teste.

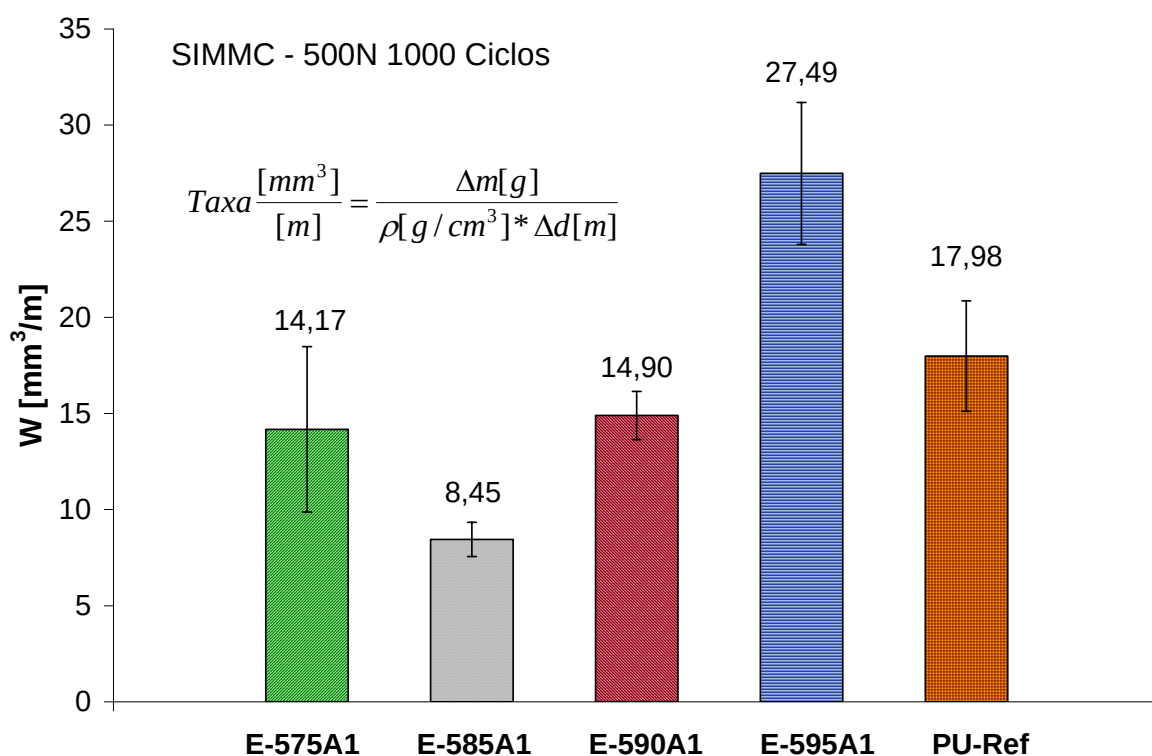


Figura 4.41 – Taxa de desgaste para os vários materiais testados. Ensaio SIMMC, 500N, velocidade média de deslocamento 83 mm/s, 1000 ciclos.

Observa-se ainda, que o mecanismo de desgaste predominante é o microtrincamento, com destacamento de porções de material por fratura frágil. Percebe-se na **figura 4.42b** a formação de um fragmento de desgaste. A **figura 4.42c** mostra uma região onde houve o destacamento de um fragmento de desgaste. A **figura 4.42d** revela o aspecto de uma região onde houve o destacamento de material. Essa superfície tem aspecto semelhante ao da fratura frágil, observado na **figura 4.17b**.

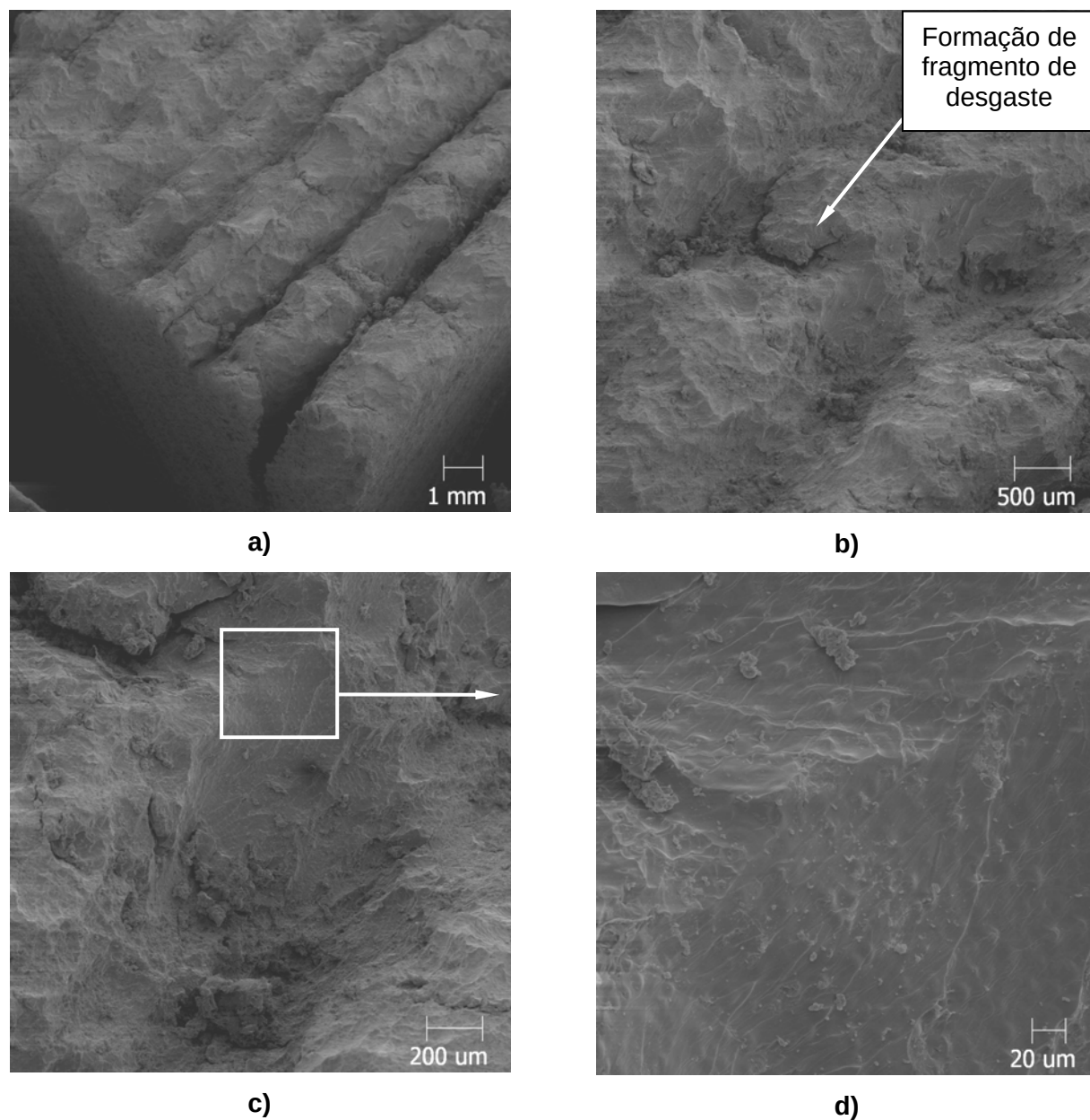


Figura 4.42 – Aspecto típico de superfície desgastada após o ensaio SIMMC para a mostra E-575A1. a) aspecto geral; b) detalhe de uma trinca; c) detalhe de uma região com destacamento de material; d) detalhe de “c”, MEV.

A **figura 4.43** mostra o aspecto da superfície desgastada após o ensaio SIMMC para a amostra E-585A1 em vários aumentos. Existe uma menor disposição em formar e propagar trincas, conseqüentemente, analisando micrografia dos materiais testados, para os mesmos aumentos, os fragmentos de desgaste parecem ser menores.

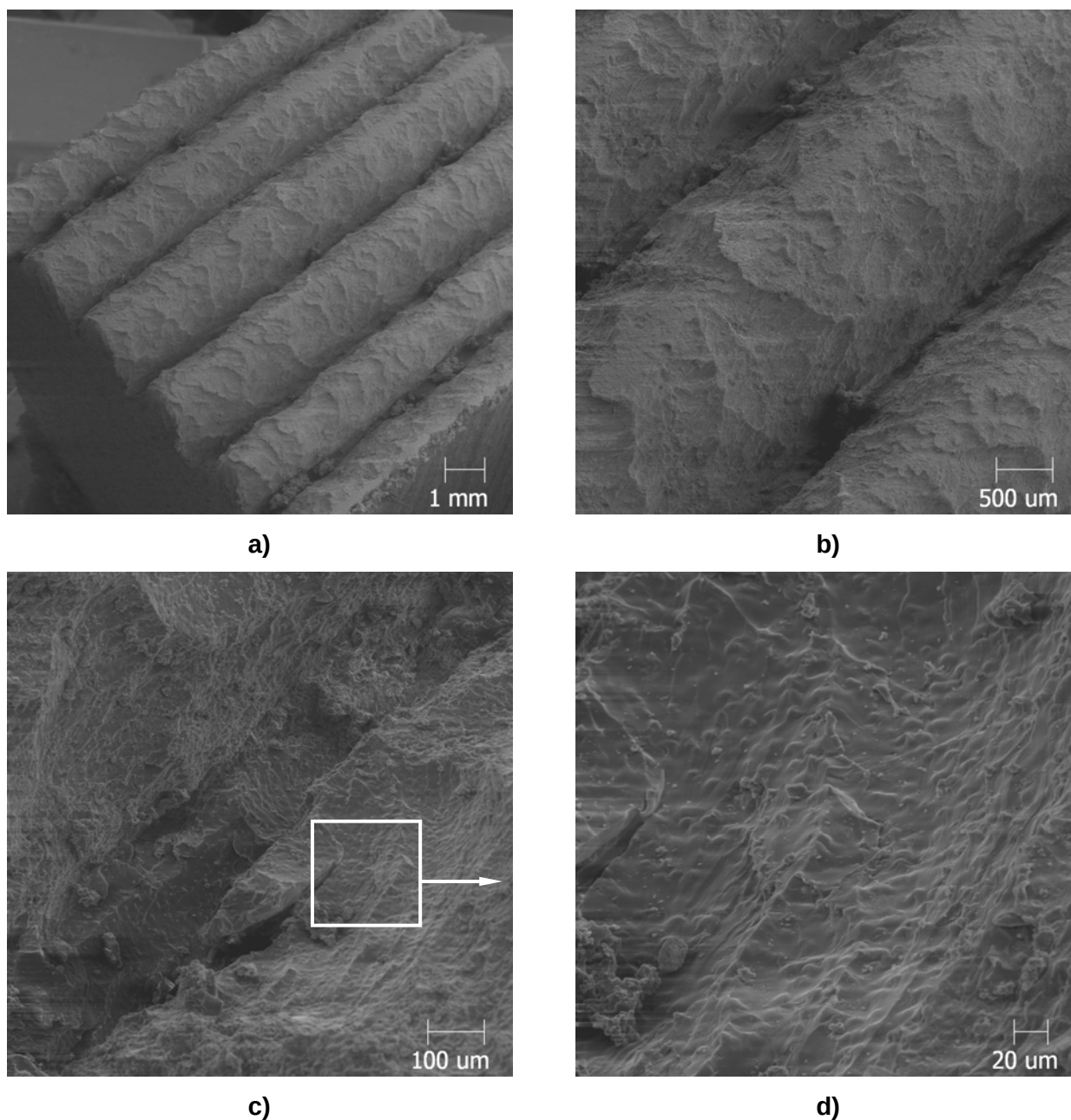


Figura 4.43 – Aspecto típico de superfície desgastada após o ensaio SIMMC para a mostra E-585A1. a) vista geral; b) detalhe dos sulcos no material; c) vales dos sulcos; d) detalhe de “c”, MEV.

A **figura 4.44** mostra o aspecto da superfície desgastada após o ensaio SIMMC para a amostra E-590A1 em vários aumentos. Na **figura 4.44d**, nota-se novamente o aspecto típico de uma fratura frágil, como observado na **figura 4.18**.

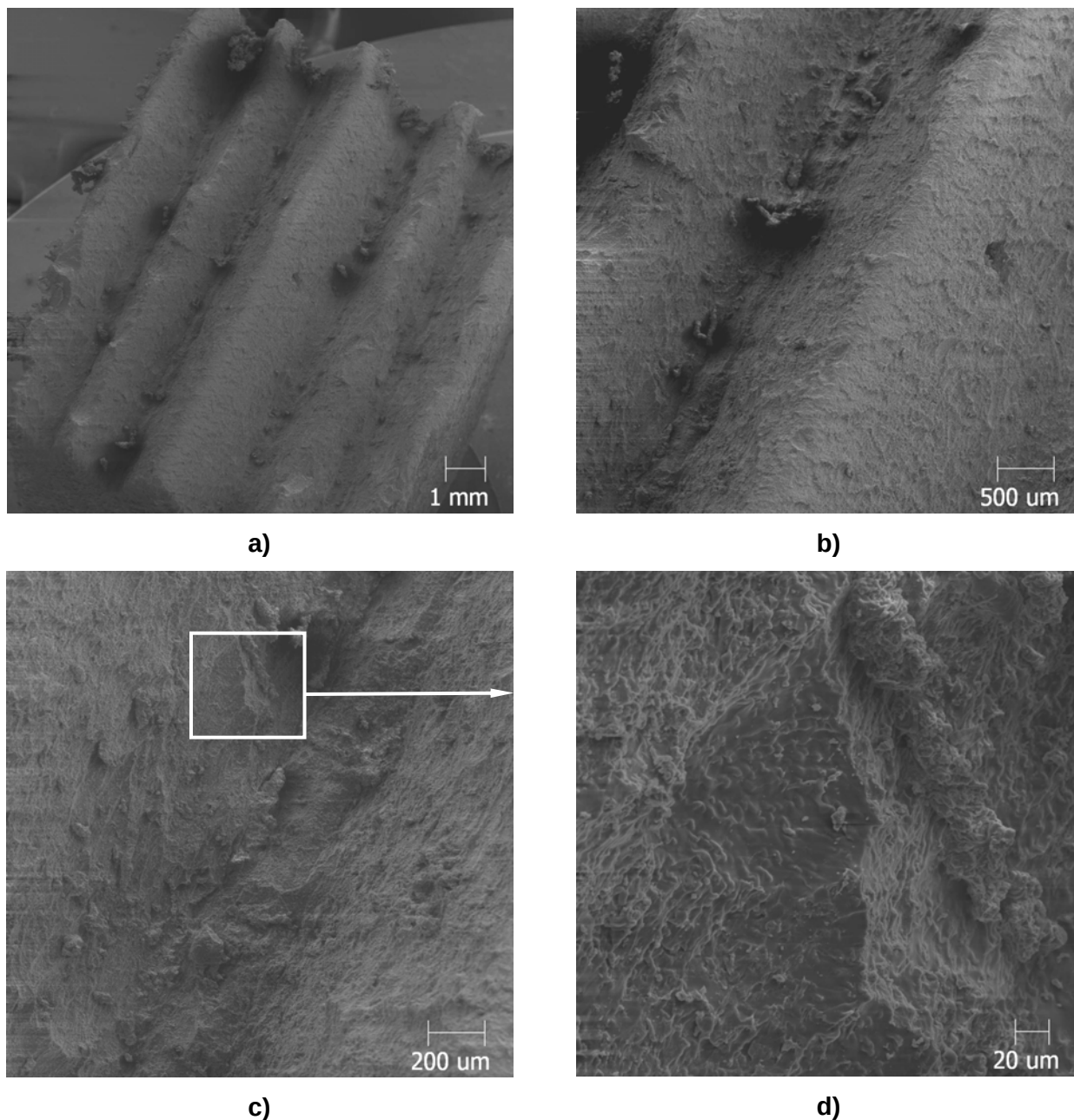


Figura 4.44 – Aspecto típico de superfície desgastada após o ensaio SIMMC para a mostra E-590A1. a) vista geral; b) detalhe dos sulcos no material; c) detalhe de um vale; d) detalhe de “c”, MEV.

A **figura 4.45**, por sua vez, apresenta o aspecto da superfície desgastada após o ensaio SIMMC para a amostra E-595A1, em vários aumentos. Da mesma forma, a **figura 4.46** mostra o aspecto da superfície desgastada após o ensaio SIMMC para a amostra PU – Ref.