

Estudo tribológico de compósitos de PTFE carregados com rejeito de porcelanato.

P.M. Oliveira^{*,1}; A. P. Araújo Neto; J. R. Souza¹; J. T. N. Medeiros¹.

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal – RN,

¹Grupo de Estudos de Tribologia e Integridade Estrutural – GET – UFRN

*plinio_rpg@hotmail.com

RESUMO

O Rio Grande do Norte é um dos maiores produtores de argilas que queimam na forma branca e o descarte de rejeitos decorrentes do processo de polimento das peças cerâmicas de porcelanato destaca-se como uma grande fonte de degradação ambiental. Este problema pode ser reduzido adicionando-se esse material como carga em compósitos, a fim de melhorar as propriedades mecânicas da matriz polimérica. O politetrafluoretileno (PTFE) caracteriza-se como um bom lubrificante sólido, pois possui excelentes propriedades tais como baixo coeficiente de atrito, estabilidade térmica a altas temperaturas e resistência química. Entretanto, o PTFE puro apresenta elevadas taxas de desgaste levando a falhas precoces de vários componentes. Visando a reutilização do rejeito de porcelanato, esse trabalho consiste em avaliar, através de ensaios de rugosidade, esclerometria e molhabilidade, compósitos de PTFE carregado com o rejeito de porcelanato em três composições diferentes (85:15, 75:25 e 65:35). Foi possível notar que a média dos valores de rugosidade aritmética, R_a , é maior para os compósitos com maior porcentagem de RP, além deles apresentarem um menor ângulo de contato e maior energia de superfície para água destilada, ou seja, quanto menor a porcentagem de PTFE mais hidrofílico é o compósito. Os valores de energia de deformação fornecidos pelo ensaio de esclerometria apresentaram-se de forma não linear.

Palavras-Chave: Compósitos, politetrafluoretileno, rugosidade, molhabilidade, esclerometria.

INTRODUÇÃO

O Politetrafluoretileno (PTFE) é bastante utilizado na indústria, pois possui propriedades de antiaderência que se sobressaem diante outros polímeros. Ele possui coeficiente de atrito inferior a $0,1\mu$ e apresenta baixa resistência ao desgaste, na ordem de $5 \times 10^{-14} \text{ m}^2/\text{N}$, segundo S. K. BISWAS, 2005 (1). Sua baixa resistência ao desgaste pode prejudicar a utilização desse polímero em alguns setores industriais. Essa propriedade pode ser melhorada acrescentando ao PTFE cargas minerais, proveniente do beneficiamento de cerâmicas, formando assim um compósito polimérico.

O resíduo do polimento do porcelanato é formado por uma mistura do material cerâmico da peça e de partículas abrasivas do polidor. O polidor é formado, geralmente, por carbetos de silício ou partículas de diamante, aglomerados por cimento de base magnésiana. Este último, composto principalmente por óxido de magnésio e cloreto de magnésio (2). O resíduo de porcelanato resultante desse processo é impedido de retornar diretamente ao processo produtivo do porcelanato, pois, de acordo com a literatura (2,3), a partir de 1.000°C o carbeto de silício decompõe-se em óxido de silício e gás carbônico, que ao ser liberado provoca a formação de trincas e consequente deformação na peça. Sendo assim, relevantes quantidades de rejeitos oriundos do processo de fabricação são geradas, constituindo um dos principais impactos decorrentes da extração de minérios.

De acordo com KOMNITSAS, 1998 e GEREMIAS, 2008, os rejeitos cerâmicos podem provocar alterações ambientais como: supressão de áreas de vegetação, reconfiguração de superfícies topográficas, impacto visual, aceleração de processos erosivos, inviabilidade de uso alternativo do solo, emissão de gases e partículas no ar, contaminação dos recursos hídricos e comprometimento da qualidade de vida da população do seu entorno (4,5). Desta forma, o aproveitamento econômico dos rejeitos, torna-se uma solução efetiva para minimizar os seus efeitos sobre o meio ambiente.

Neste trabalho caracterizou-se o rejeito de porcelanato (RP), avaliando os seus constituintes químicos, a forma e o tamanho de partícula que influenciam diretamente na sua utilização como carga em compósitos de matriz polimérica.

Após caracterização, foram desenvolvidos compósitos PTFE + RP, a fim de possibilitar uma melhor resistência ao desgaste do PTFE e dar uma utilização ambientalmente amigável ao Rejeito, podendo ser utilizado em indústrias petrolíferas e automotivas. Desta forma, analisaram-se a superfície destes compósitos com ensaios de rugosidade, molhabilidade e esclerometria.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do rejeito de porcelanato (RP)

O rejeito de porcelanato foi cedido pela fábrica Elizabeth localizada em João Pessoa - PB. As amostras foram caracterizadas através de granulometria à laser, análises de difração de Raios-X; Fluorescência de Raios-X, MEV e EDS.

Com o intuito de obter informações qualitativas e quantitativas dos elementos constituintes, a Espectrofotometria por Fluorescência de Raios-X, foi realizada utilizando a amostra passante na peneira #325.

A análise de EFRX foi realizada em um equipamento da marca Shimadzu modelo XRF-1800 sequencial, empregada a metodologia de dispersão por comprimento de onda (WD-XRF), sendo sua faixa de detecção do sódio (Na - Z=11) ao urânio (U - Z=92) e radiação $RhK\alpha$ ($\lambda = 0,615\text{\AA}$).

Para a análise de Difração de Raios X foi utilizada partícula inferior a #200 e separada amostra representativa. As amostras foram caracterizadas em um equipamento da marca Shimadzu, modelo XRD 6000 utilizando uma fonte de radiação de Cu-K α com voltagem de 40 kV, corrente de 30 mA e filtro de Ni. Os dados foram coletados na faixa 2 θ de 10 a 100 graus e com uma velocidade de 1grau/min.

A análise granulométrica foi realizada utilizando um difratômetro a laser marca Microtrac, modelo S3500 SDC, em meio líquido (H₂O) para que haja a dispersão das partículas e a contagem. Realizou-se análise em Microscópio Eletrônico de Varredura, como microanálise em EDS, utilizando os seguintes

parâmetros: Tempo de aquisição de 60s, tempo de processamento de 5s, voltagem de aceleração 15 KV.

Desenvolvimento dos compósitos

Foram desenvolvidos compósitos de PTFE + RP. O Rejeito de Porcelanato foi misturado mecanicamente ao PTFE comercial na forma de pó e a mistura foi comprimida a uma pressão de 15000 lbf durante 3 minutos. As amostras foram confeccionadas com as seguintes composições de PTFE + RP respectivamente: 85/15, 75/25 e 65/35 % em peso.

Caracterização das superfícies dos compósitos

A rugosidade foi realizada no Rugosímetro Taylor Hobson modelo Surtronic 25, com sete medições em cada Corpo de Prova (C.P.). O parâmetro investigado foi a Rugosidade Média (Ra).

Para medir o ângulo de contato utilizou-se como fluido a água destilada. Realizaram-se sete medidas (gotas), em cada C.P. O Equipamento utilizado foi desenvolvido pelo Grupo de Estudos de Tribologia e Integridade Estrutural.

O método utilizado é uma técnica tribológica que consiste em, através de um movimento pendular, fazer com que indentadores de ponta cônica atinjam o C.P. com um único risco abrasivo.

O pêndulo é lançado a partir de uma altura inicial gravada por um ponteiro de um transferidor posicionado centralmente em relação ao eixo do pêndulo. Depois de riscar a amostra o pêndulo atinge uma altura final de movimento permitido pela energia restante que não foi dissipada durante risco.

Com o intuito de variar a pressão de contato, utilizaram-se seis indentadores de aço carbono AISI 1045, com diferentes ângulos de ponta (30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 120°), temperados e revenidos, com dureza média de 39 ± 13 HRC. A pressão de contato foi associada com a energia de deformação necessária para promover o risco.

Os materiais poliméricos são sujeitos a danos por desgaste abrasivo e esclerométrico. Estes processos reduzem a resistência mecânica, introduzindo as lacunas. Medidas de dureza com uma única passagem esclerométrica são

amplamente utilizados para mapear a resistência ao risco de polímeros como uma função da carga normal aplicada, imposta deformação e velocidade de deslizamento.

Hadal e colaboradores usaram a dureza esclerometrica para determinar a resistência à deformação dos materiais, os testes foram realizados com um penetrador de diamante com um ângulo de cone de 120° e aplicando a equação (A).

$$H_s = \frac{W_s}{3\pi d^2} \quad (A)$$

Onde H_s é a dureza esclerometrica, W_s é a carga aplicada e D a profundidade do risco. Eles concluíram que essa relação é uma indicação direta da resistência à deformação esclerometrica.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ERX

A representatividade em termos percentuais dos elementos presentes na amostra do Rejeito de Porcelanato é mostrada na Tabela I.

Tabela I. Caracterização química do rejeito de porcelanato

Óxidos	Média Final
SiO ₂	69,9 %
Al ₂ O ₃	12,2 %
MgO	9,22 %
K ₂ O	3,84 %
Na ₂ O	1,73 %
CaO	1,69 %
Fe ₂ O ₃	0,503 %
Cl	0,407 %
TiO ₂	0,277 %
P ₂ O ₅	0,145 %
MnO	0,0571 %
ZrO ₂	0,0199 %
BaO	0,0179 %

A caracterização química das amostras do rejeito de porcelanato mostra que os principais óxidos presentes são SiO₂ (em média 69,8806%), Al₂O₃ (em média 12,1954%) e o MgO (em média 9,2235%) o que corresponde a mais de 91% do total dos óxidos apresentados. De acordo com VIDIGAL *et al.* foi

possível verificar que a alumina tem como origem o porcelanato. Enquanto que o óxido de magnésio está associado à base magnesiânica presente no polidor, e a sílica é oriunda do porcelanato e do abrasivo advindo do polidor (2,3).

DRX

A Figura 1 apresenta os resultados do difratograma obtido para a amostra de rejeito de porcelanato por DRX.

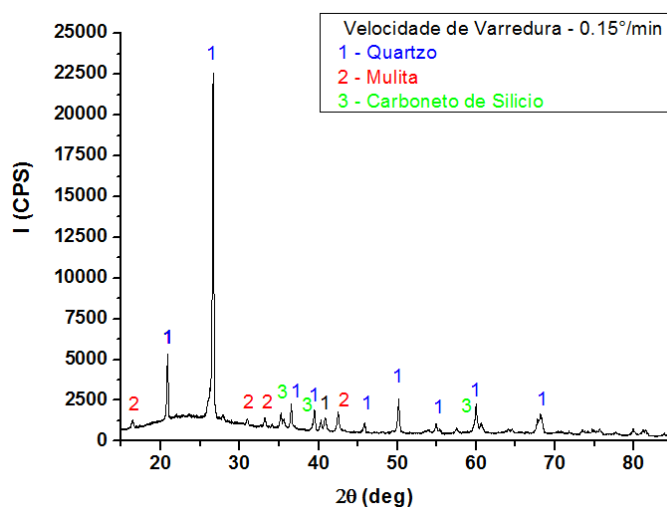


Figura 1. Resultado do DRX

Este resultado mostra a predominância da mulita e quartzo, maiores picos, respectivamente e, minoritariamente, calcita, representadas pelos picos menores. De acordo com Silva (7), o porcelanato é um material constituído por grande quantidade de fase vítrea, esta fase advém da elevada quantidade de fundentes utilizada na sua produção como do rápido ciclo de queima, e fases cristalinas que podem ser detectadas por meio da técnica de difração de raios X. A fase vítrea conterá os óxidos fundentes presentes no porcelanato (Fe_2O_3 , Na_2O e K_2O), o que justifica a presença de óxidos fundentes no resíduo (8). Como o resíduo apresenta as mesmas fases do porcelanato, ele poderá ser usado como matéria prima na produção do porcelanato, pois fornecerá a densificação de revestimentos cerâmicos. De acordo com MARQUES (2), devido ao elevado teor de sílica existente no resíduo, será favorecida a formação de fases vítreas ricas em sílica, que possuem viscosidade mais

elevada que aquelas com menores teores de sílica, o que possibilitará a minimização de efeitos de pirodeformação, que são geralmente observados em materiais submetidos a queima rápida e que possuem elevadas quantidades de fundentes em sua formulação. Confirmando então o potencial de utilização do resíduo na própria formulação de porcelanatos.

Granulometria à Laser

A Figura 2 apresenta os resultados da granulometria à laser.

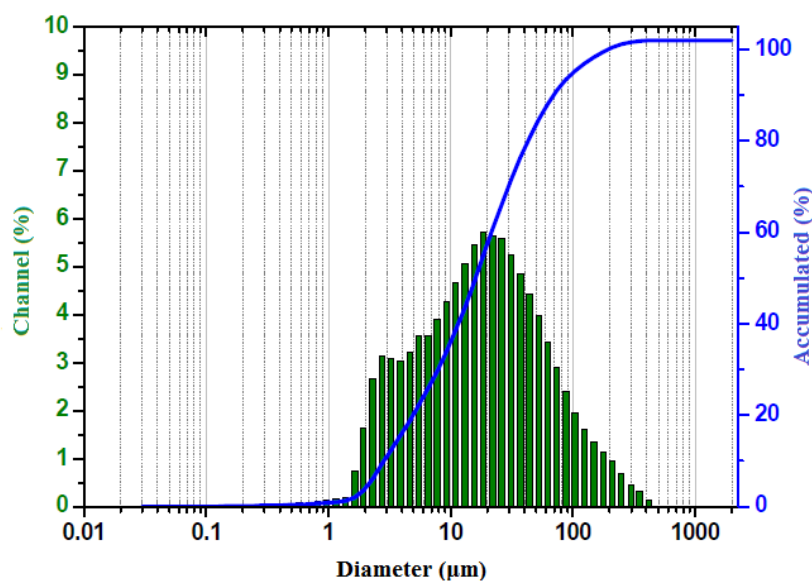


Figure 2. Distribuição de tamanho de partículas a laser do rejeito de porcelanato

A amostra apresenta uma larga distribuição de tamanhos de partículas compreendida na faixa de aproximadamente 1,0 até um pouco mais de 400 µm, tendo em sua maior quantidade partículas com tamanho em média 20 µm. O material apresentou uma monodispersão, onde não houve aglomeração de partículas na hora do ensaio de granulometria apesar de tratar-se de partículas com uma alta energia de superfície. Essa grande faixa de partículas que foi detectada deve-se ao fato de termos vários elementos diferentes e fases diferentes como foi visto nas análises de DRX e EFRX.

EDS

Através da microanálise detectou-se a presença de elementos como: sódio, alumínio, silício, potássio, ferro, magnésio, gálio (Figura 3).

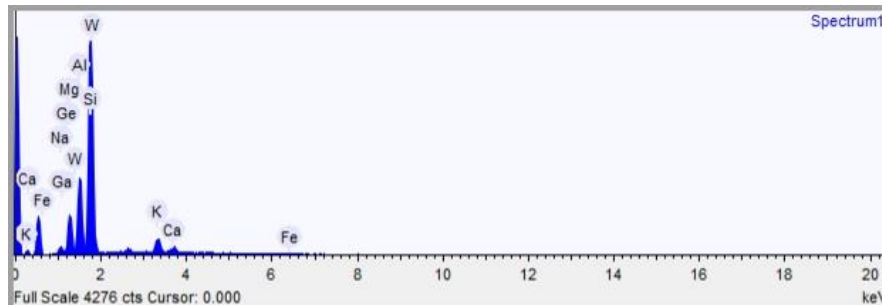


Figure 3. Resultado do EDS para a amostra do rejeito de porcelanato

Rugosidade

De acordo com PIRATELLI, 2011, a rugosidade média (Ra) corresponde à média aritmética das distancias dos perfis até a linha media dividido pelo percurso de medição (9). Os resultados de rugosidade média avaliados para as três composições de PTFE + PO estão apresentados através de *Box and Plot* na Figura 4.

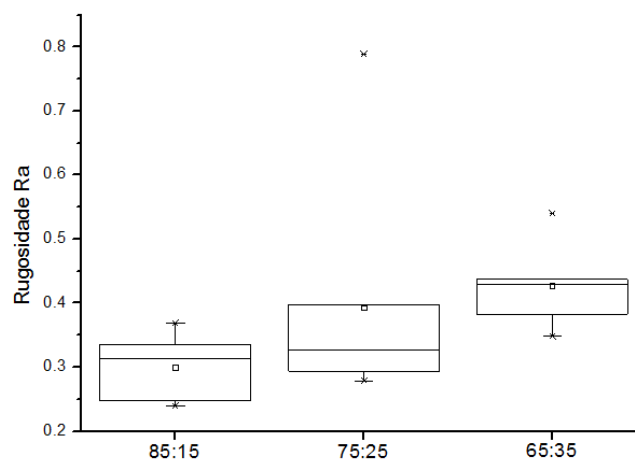


Figura 4. Valores médios de rugosidade Ra para cada compósito

Notou-se que a rugosidade media é maior quanto maior for a porcentagem de rejeito de porcelanato no compósito.

Molhabilidade

O ângulo de contato e a energia de superfície para cada composição de PTFE + PO utilizando Água Destilada se encontram na Figura 5.

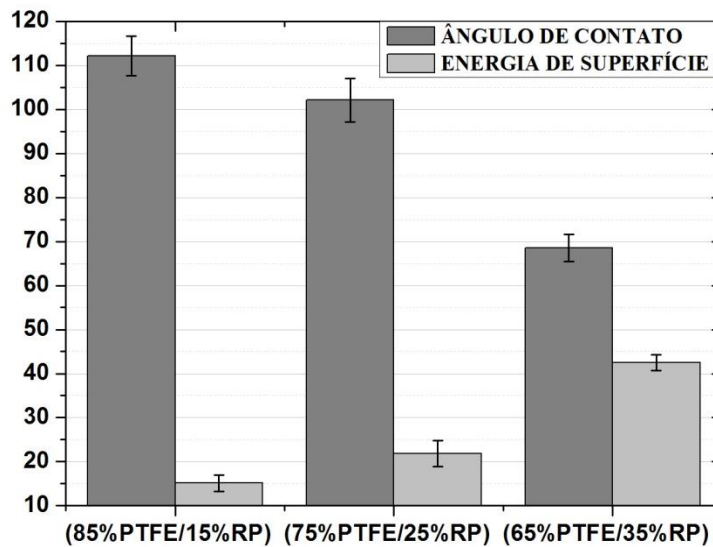


Figura 5. Resultados de ângulo de contato e energia de superfície

Pode-se notar que os compósitos com 15% e 25% de RP comportaram-se como hidrofóbicos, pois para esses casos os ângulos de contato foram maiores que 90°. Em contrapartida, para a composição 65:35% em peso, observou-se valores de ângulo de contato inferiores a 90°, caracterizando uma superfície hidrofílica. Verificou-se que a energia de superfície aumenta com o acréscimo da porcentagem em peso de carga de RP.

Esclerometria

A Figura 6 apresenta os valores de energia de deformação obtidos pelo ensaio de esclerometria.

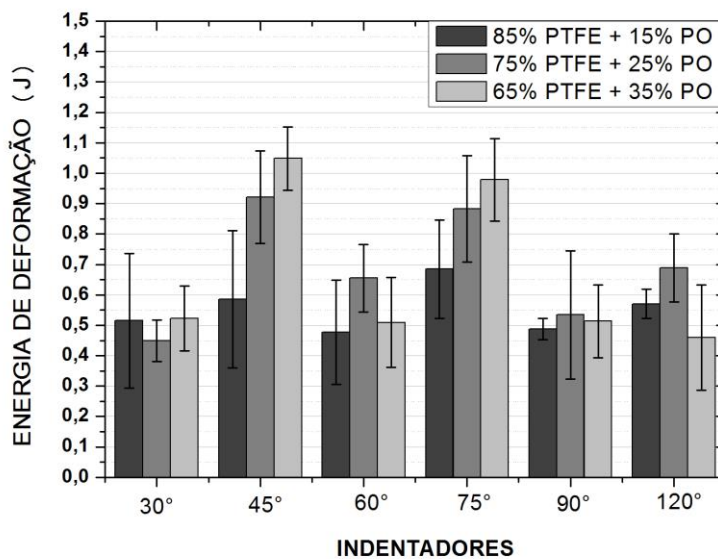


Figura 6. Valores de energia de deformação para cada indentador usado

Como se pode observar no gráfico, os valores de energia de deformação apresentaram-se de forma não linear.

CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que o acréscimo da porcentagem em peso de rejeito de porcelanato causa uma diminuição do ângulo de contato e aumento da rugosidade aritmética, ou seja, quanto maior a porcentagem de RP mais hidrofílico se comporta o compósito. Esse resultado está de acordo com o trabalho de MORRA *et al.* (1990), que enfatiza que a histerese do ângulo de contato é uma ferramenta de suma importância para gerar subsídios a respeito da rugosidade e energia de superfícies e o efeito da rugosidade é o de aumentar a molhabilidade do sólido (10, 11).

O ensaio de esclerometria não apresentou resultados lineares para todos os indentadores, apenas para os indentadores de 45° e 75°, onde se pode notar que com o aumento da porcentagem de rejeito maior é a energia necessária para o indentador deformar a superfície do corpo de prova.

REFERÊNCIAS

- 1 Ashby, M. F., 2005, "Materials Selection in Mechanical Engineering". Oxford, Elsevier, 3rd Ed. 605 p. Biswas, S.K., Kalyani, V., 1992, "Friction and wear of PTFE - a review", Wear, 158, 193-211. India.
- 2 MARQUES, L. N., et al. Re-aproveitamento do resíduo do polimento de porcelanato para utilização em massa cerâmica. Revista Eletrônica de Materiais e Processos. v.2, p. 34-42. 2007. ISSN 1809-8797.
- 3 ROSSO, J; CUNHA, E. S. ROJAS-RAMÍREZ, R. A. Características técnicas e polimento de porcelanatos. Cerâmica Industrial, v. 10, n. 4, p. 11-14, 2005.
- 4 GEREMIAS, R., ROGÉRIO L., VALFREDO T. F., ROSANGELA C. P., 2010, "Rejeito de mineração de carvão como adsorvente para remoção da acidez, Fe (III), Al (III) e Mn (II) em drenagem ácida", Quím. Nova vol.33 no.8 São Paulo, Brasil. Khedkar J., Negulescu I., Meletis E.I., 2002 "Sliding wear behavior of PTFE composites", Wear, Vol. 252, pp. 361– 369.
- 5 KOMNITSAS, K.; KONTOPOULOS, A.; Lazar, I.; Cambridge, M.; Miner. Eng. 1998, 1, 1179.
- 6 VIDIGAL, R. N.; Pinheiro, I. P.; Calado, C. R. Reutilização do resíduo proveniente do polimento do porcelanato por meio de substituição do agente abrasivo presente no polidor.
- 7 SILVA, J. R. R. Caracterização físico-química de massas cerâmicas e suas influências nas propriedades finais dos revestimentos cerâmicos. 2005. 66f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- 8 SILVA, G. J. B. Estudo do comportamento do concreto de cimento Portland produzido com adição a do resíduo de polimento do porcelanato. 2005. 107f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- 9 PIRATELLI, A. "Rugosidade Superficial" 3º Seminário de Metrologia, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil.
- 10 MORRA, M., OCCHIELLO, E; GARBASSI, F., Knowledge about Polymer Surfaces from Contact Angle Measurements. Advances in Colloid and Interface Science , 32, 1990 .
- 11 MORRA, M., OCCHIELLO, E. and GARBASSI, F. (1990), Knowledge about Polymer Surfaces from Contact AngleMeasurements, Advances in Colloid and Interface Science , 32, p.79.

ABSTRACT

The Brazilian northeast is one of the largest producers of clays that burn in the white form and disposal of tailings from the process of polishing the ceramic pieces of porcelain stands out as a major source of environmental degradation. This problem can be reduced by adding such material as filler in composites, in

order to improve the mechanical properties of the polymeric matrix. Polytetrafluoroethylene (PTFE) is characterized as a good solid lubricant, because it has excellent properties such as low coefficient of friction ($0.01 < \mu < 0.1$), thermal stability at high temperatures and chemical resistance. However, the pure PTFE has high wear rates (greater than $10\text{-}13\text{m}^2/\text{N}$) leading to early failures of various components. To reuse the Tailings of Porcelain (TP), composites of PTFE + TP were developed in three different compositions (85:15, 75:25 and 65:35). For this investigation the particle size distribution and some chemical characteristics of the tailings by testing XRD, XRF, SEM and EDS were performed, registering a large amount of silica, aluminum and other metals. Roughness, wettability and sclerometry also were performed. It was noted that the values of arithmetic average roughness, R_a , is higher for composites with higher percentage of TP, in addition they have a lower contact angle and higher surface energy to distilled water, characterized as hydrophilic. The results of energy of deformation provided by the sclerometry test were non-linear.

Key-words: Composites, polytetrafluoroethylene, roughness, wettability, sclerometry