

Análise microestrutural de amostras de rejeito de mineração reconstituídas por diferentes técnicas

Rose Carvalho Rocha Elias

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, rcre.1904@gmail.com

Marina Bellaver Corte

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, marina@puc-rio.br

Elaine Cristina Gomes Barreto

Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil, elainecgbarreto@gmail.com

Tácio Mauro Pereira de Campos

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, tacio@puc-rio.br

RESUMO: Frequentemente enfrenta-se grandes desafios na recuperação de amostras intactas de rejeitos com características mais arenosas para a realização de ensaios laboratoriais. Tais dificuldades muitas vezes limitam a caracterização desses materiais ao uso de amostras reconstituídas, cuja capacidade de reproduzir o comportamento *in situ* dos rejeitos está inerentemente ligada à capacidade de reproduzir a estrutura do material. Assim, a pesquisa buscou avaliar uma amostra de rejeito de minério de ferro filtrado, reconstituído por três diferentes técnicas: Compactação Úmida (MT), Pluviação Úmida (WP) e Deposição de lama (SD), avaliando a alteração na resposta da microestrutura do material frente às diferentes técnicas de moldagem. Realizou-se análise de microtomografia computadorizada de raios X do material preparado com distintos índices de vazios, sendo: 0,70, 0,75 e 0,80. Como conclusão, observou-se variações significativas entre os métodos de preparação de amostras do estudo, no que tange à disposição das partículas no meio, espaços vazios e influência da saturação do corpo de prova. A técnica de MT tende a formar grumos durante o processo de compactação com soquete, já a técnica SD apresentou densificação e uniformidade na distribuição dos grãos e espaços vazios independente do teor de umidade e, por fim, a técnica WP, que devido ao seu processo de sedimentação natural, tende a formar espaços vazios não uniformes, porém, não se observa formação de grumos nas amostras.

PALAVRAS-CHAVE: Rejeito de minério de ferro filtrado; Análise microestrutural; Reconstituição de amostras.

ABSTRACT: Great challenges are often faced in recovering intact samples of tailings with more sandy characteristics for carrying out laboratory tests and these difficulties often limit the characterization of these materials to the use of reconstituted specimen, whose ability to reproduce the in-situ behavior of tailings is inherently linked to the ability to reproduce the structure of the material. Thus, the research sought to evaluate a sample of filtered iron ore waste, reconstituted by three sample reconstitution techniques: Moist Tamping (MT), Water Pluviation (WP) and Slurry Deposition (SD), evaluating the change in the response of microstructure of the material in relation to different molding techniques. X-ray microcomputed tomography analysis was performed on the prepared specimen with different void ratios: 0.70, 0.75 and 0.80. In conclusion, it was observed significant variations between the sample preparation methods in the study, regarding the arrangement of particles in the medium, empty spaces and the influence of the saturation of the specimen. The MT technique tends to form lumps during the socket compaction process, the SD technique showed densification and uniformity in the distribution of grains and voids regardless of the moisture content and, finally, the WP technique, which due to its natural sedimentation process, tends to form non-uniform voids, however, no lump formation is observed in the samples.

KEYWORDS: Filtered iron tailings; microstructural analysis; specimen reconstitution techniques.

1 INTRODUÇÃO

Métodos de reconstituição de amostras em solos não coesivos tem sido estudados no mundo todo em razão da necessidade de se reproduzir amostras representativas das condições *in situ*, com uniformidade e reprodução de qualidade. Observa-se que não há uma metodologia única para a reconstituição de amostras granulares, por esse motivo verifica-se que a matriz do material depositado e/ou compactado, bem como a influência no comportamento geomecânico, poderão sofrer influência do tipo de preparação. Várias técnicas de reconstituição de amostras foram desenvolvidas ao longo dos anos e tem-se observado que variações na matriz do solo são diretamente influenciadas pela microestrutura. Realizar ensaios de mineralogia e de caracterização morfológica das partículas tem sido uma alternativa a fim de se verificar a possível influência da microestrutura no comportamento dos materiais em ensaios.

A presente pesquisa buscou investigar métodos de reconstituição de corpos de prova em um rejeito arenoso de minério de ferro filtrado, reproduzido pelas técnicas de Compactação com Soquete (*Moist Tamping*, MT), Deposição de lama (*Slurry Deposition*, SD) e Pluviação Úmida (*Water Pluviation*, WP), buscando reproduzir a matriz do material em conjunto com a caracterização microestrutural em condições controladas de laboratório. Estudos realizados utilizando tais técnicas tem indicado que MT, devido ao processo de compactação com soquete, tende a formar uma estrutura tida como favo de mel. Isso também pode ocorrer com a técnica WP, devido ao seu processo de sedimentação natural. Em contrapartida, a técnica SD tem apresentado resultados mais uniformes em nível microestrutural, com estrutura mais densa e menos porosa.

Após a preparação das amostras, a avaliação da matriz do rejeito foi realizada através da microtomografia computadorizada de raios X, identificando a forma dos grãos e o seu arranjo estrutural. Outros critérios também foram utilizados, como a busca pelo peso específico desejado, uniformidade no índice de vazios e evitar ao máximo a segregação de partículas, conforme orienta Kuerbis e Vaid (1988).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Descrição das técnicas de reconstituição de amostras

Segundo Corrêa (2018), as técnicas mais populares de reconstituição utilizadas para areias contendo finos são: compactação com soquete (MT), pluviação no ar e em água (AP/WP), e suas variantes, tais como técnicas de deposição de lama (SD). Todas essas técnicas são aplicáveis para areias contendo finos e materiais artificiais com granulometria similar (CARRARO e PREZZI, 2007).

O método de compactação úmida (MT) ou compactação com soquete foi formalizado por Ladd (1978), motivado pela necessidade de estudos sobre o comportamento de liquefação das areias, uma vez que o mesmo é capaz de ser preparado suficientemente fofo, conforme também apresentado no trabalho de Castro (1969), para exibir liquefação estática e permitir a medição bem sucedida da *Critical State Line* – Linha do estado crítico (CSL) (BEEN, JEFFERIES e HACHEY, 1992).

O método MT é frequentemente empregado na reconstituição de amostras de areia, possibilitando a moldagem de corpos de prova com diferentes valores de índice de vazios, dependendo da energia de compactação utilizada. Essa abordagem viabiliza a atuação das forças capilares entre os grãos do solo, conforme destacado por Vaid, Sivathayalan e Stedman (1999). No entanto, vale ressaltar que esses mesmos autores também mencionam a possibilidade de não uniformidade na densidade das amostras quando utilizado o método.

O primeiro método de reconstituição de amostras voltado para rejeitos de mineração lançados foi apresentado por Donaldson (1965), que despejou uma pasta espessa em um molde dividido revestido por uma membrana, em seguida, adensou o corpo de prova, depois removeu os suportes e, assim que a amostra conseguiu manter seu formato, prosseguiu com o ensaio de resistência ao cisalhamento (REID, FANNI e FOURIE, 2022). O método de deposição de lama (SD) conhecido atualmente, onde o solo é imerso em água, agitado e deixado assentar em um molde, foi proposto pela primeira vez por Kuerbis e Vaid (1988) mas foi continuamente modificado ao longo dos anos. Posteriormente, Carraro e Prezzi (2007) conseguiram desenvolver um método que produziu corpos de prova homogêneos de areias bem graduadas e areias siltosas.

O procedimento SD sugerido por Carraro e Prezzi (2007) e, mais recentemente, por Abreu (2016) para preparação de corpos de provas consiste no preenchimento do cilindro bipartido de dimensões de 5,0 cm x 10,0 cm (D x H) com água e posterior deposição do material seco dentro do molde. Após vedar o topo do molde,

prossegue-se com a agitação da amostra movimentando o tubo de acrílico contendo a polpa virando-o de cabeça para baixo por um período 5 minutos. Após a agitação, a amostra se mantém em repouso por 20 minutos para deposição da mistura.

As primeiras informações disponibilizadas na literatura a respeito da técnica de pluviação foi publicada por Bishop e Henkel (1962). Ela consistia na preparação de corpos de prova de solos sem coesão preparados pelo método de Pluviação Úmida (WP) e Pluviação a seco (AP). Na técnica, foi utilizado um aparato contendo um molde bipartido envolvendo uma membrana de borracha presa à base da célula e o topo do molde, selado com um tampão de borracha e um funil. O método se assemelha à sedimentação natural em água, observados em ambientes aluviais. Vaid e Negussey (1988) citam que a altura de queda nesta técnica não possui influência significativa na densidade da amostra, uma vez que a areia atinge uma velocidade terminal de queda a distâncias relativamente curtas. Desta forma, é possível se obter corpos de prova relativamente uniformes e em estado geralmente fofo.

Bruschi (2023) avaliou a resistência ao cisalhamento de amostras de rejeito filtrado preparados por diferentes técnicas de reconstituição de amostras e alterações na gradação devido à compressão e ao cisalhamento foram observados através do ensaio de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Neste estudo, chegou a conclusão de que as características de moldagem pareceram ter influenciado significativamente na resposta tensão-deformação dos ensaios triaxiais realizados, indicando necessidade de se aprofundar nos estudos acerca das técnicas de reconstituição de amostras de rejeito.

2.2 Influência da microestrutura na preparação de corpos de prova

Os primeiros estudos relacionados à matriz do solo e propriedades de materiais granulares foram desenvolvidos por Oda (1972). Amostras de areia foram secas em estufa, depositadas em um molde cilíndrico (5,0 cm x 10,0 cm, D x H) e, posteriormente, compactadas de forma direta (técnica MT) e de forma indireta (com o soquete batendo na parede do molde). No estudo de Oda, observou-se que as características das relações de configuração de partículas não esféricas são determinadas não apenas pela forma das partículas, mas também pelo método de compactação.

Chang (2011) realizou uma pesquisa que buscou avaliar as estruturas de amostras de rejeito reconstituídas comparadas com as das amostras indeformadas coletadas em campo, em uma barragem de rejeitos de ouro em Joanesburgo, África do Sul. As amostras foram reconstituídas com o método SD e MT. Como resultado, as amostras indeformadas e as reconstituídas por SD tinham semelhantes arranjos estruturais das partículas, com partículas planas presentes ao redor e entre as partículas maiores, enquanto a amostra produzida com a compactação úmida criou uma matriz onde conjunto de partículas estavam dispersos ao redor de partículas maiores, muitas vezes impedindo seu contato, conforme observado nos resultados obtidos por meio de MEV da Figura 1 e a representação gráfica dos respectivos arranjos estruturais na Figura 2.

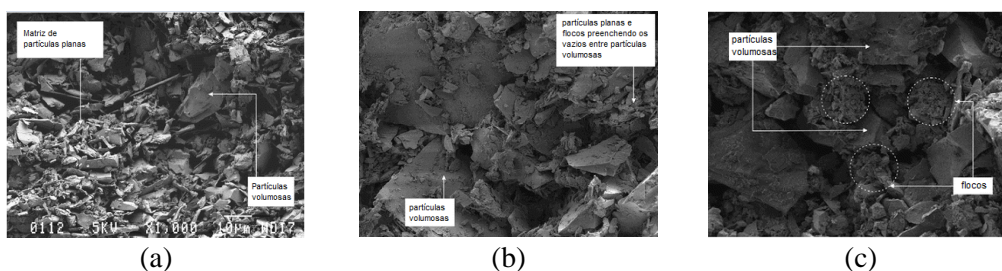


Figura 1. Resultados de MEV realizados em amostras de rejeitos: (a) Indeformada; (b) SD; (c) MT. Fonte: adaptado de (CHANG, 2011).

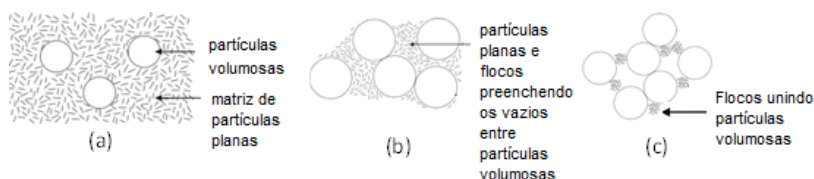


Figura 2. Representação dos arranjos estruturais de amostras de rejeitos: (a) Indeformada; (b) SD; (c) MT. Fonte: adaptado de (CHANG, 2011).

Recentemente, Quinteros e Carraro (2023) compararam amostras reconstituídas e indeformadas de uma areia fluvial bem graduada (teor de finos $\approx 5\%$) recuperada por congelamento do solo. As amostras foram reconstituídas por pluviação a seco (AP), compactação com soquete (MT), pluviação úmida (WP) e deposição de lama (SD). O tecido foi avaliado por meio microtomografia computadorizada por raios X. Os autores realizaram uma análise quantitativa de imagens para descrições de matriz de solo e concluíram que o arranjo estrutural obtido com o método SD ofereceu a melhor aproximação da amostra indeformada de areia.

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 Materiais

O material em estudo se trata de um rejeito de minério de ferro filtrado advindo de uma mineradora localizada no quadrilátero ferrífero de Minas Gerais. Os resultados da caracterização física indicam que o material possui curva granulométrica bem graduada, sendo classificado como areia siltosa não plástica. O valor da densidade relativa dos grãos (Gs) foi de 2,99 considerando o material passante na peneira #40.

3.2 Procedimentos adotados

Os intervalos de índices de vazios para a reconstituição das amostras foram definidos com base nas prescrições segundo ABNT (2020) NBR 16843 - Solo - Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos e ABNT (1990) NBR 12004 - Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos. Obteve-se um valor de índice de vazios mínimo de 0,64 e índice de vazios máximo de 0,85. Desta forma, definiu-se o intervalo de índice de vazios para a reconstituição das amostras de 0,7; 0,75 e 0,8 de forma a se obter compacidades relativas exequíveis em todos os métodos de preparação de amostras do estudo (CR variando de 24% a 71%). Valores muito próximos dos limites de CR condicionaria a um estado extremamente fofo ou extremamente compacto, inviabilizando a execução do ensaio. Outro ponto de atenção é quanto à limitação das normas supracitadas à areias limpas, podendo ocorrer maiores variações nos resultados para o rejeito em estudo.

Inicialmente realizou-se a reconstituição das amostras de rejeito pela técnica de MT seguindo os procedimentos desenvolvidos por Castro (1969) e Casagrande (1979). O processo consistiu na mistura do rejeito seco em estufa a 60°C e previamente destorroado na peneira #4,8 mm, misturado com água destilada no teor de umidade ótimo ($w = 12,72\%$) antes da compactação. Foi utilizado molde tripartido com diâmetro de 3,81 cm e altura de 7,78 cm, no qual foram utilizadas 3 camadas contendo a mesma quantidade da mistura de água e rejeito, em alturas igualmente controladas com paquímetro. O controle de umidade foi feito com pesagem do rejeito úmido antes do ensaio e, após o ensaio e após a secagem da mistura em estufa.

A segunda técnica adotada, denominada SD, foi realizada seguindo as orientações sugeridas por Carraro e Prezzi (2007). O processo consistiu na preparação do molde com o rejeito previamente seco em estufa a 60°C e destorroado na peneira #4,8 mm. Posteriormente, colocou-se 140 ml de água destilada, enchendo o molde. Fechou-se a tampa do aparato e prosseguiu-se com a homogeneização do corpo de prova por 5 minutos. Após, o corpo de prova ficou em repouso decantando. Por fim, a coluna de material formada dentro do molde foi preparada para se obter o corpo de prova de ensaio.

A última técnica, WP, seguiu as orientações sugeridas por Vaid e Negussey (1988). O ensaio foi realizado utilizando os mesmos materiais do método SD, com modificação apenas na etapa final, onde foi instalado o funil com vedação em borracha. Inicialmente realizou-se a mistura do rejeito (previamente seco em estufa a 60°C e destorroado na peneira #4,8 mm) com 250 ml de água destilada, em um béquer. Em seguida, colocou-se a água da mistura com material sobrenadante dentro do aparato. Após, o tampão foi instalado para colocação dos sólidos dentro do funil. Na sequência, removeu-se o tampão e deixou-se a mistura decantar por 10 minutos.

Buscando reduzir ao máximo a perturbação do corpo de prova durante a extração das amostras para análise microestrutural, foi desenvolvido um apetrecho que fosse facilmente instalado dentro do molde utilizado para as técnicas de reconstituição de amostra – SD e WP. Para a reconstituição utilizando a técnica Moist Tamping (MT), optou-se apenas por posicionar o molde em acrílico na região central do corpo de prova, antes do lançamento e compactação da segunda camada. Esse molde em acrílico em formato circular possuiu dimensões médias de 11 mm de diâmetro e 15 mm de altura. Logo após a moldagem dos corpos de prova para

análise microestrutural, as amostras foram instantaneamente congeladas com nitrogênio líquido (-170° C) para a realização do ensaio de Microtomografia Computadorizada de raios X.

A Figura 3 apresenta a condição final dos corpos de prova reconstituídos por cada técnica, sendo (a) MT, (b) SD e (c) WP respectivamente.

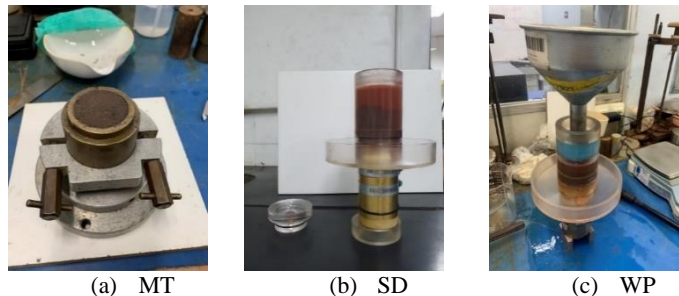


Figura 3. Amostras reconstituídas por diferentes técnicas.

3.3 Microtomografia computadorizada de raios X

A microtomografia computadorizada é uma técnica de imageamento radiográfico que busca caracterizar a microestrutura interna de um material em três dimensões em uma resolução espacial de nível micrométrico (BARRETO, 2021). Essa técnica possibilita uma melhor visualização do comportamento e alterações da estrutura do solo como forma, tamanho e distribuição dos poros, os quais auxiliam na compreensão de muitos fenômenos na área de ciência do solo (PASSONI, 2013).

O ensaio consiste na emissão de feixes uniformes de Raios X em posição fixa e com geometria cônica diretamente sobre a amostra fixada sobre uma base giratória. Parte da energia é absorvida pela amostra e parte atravessa o objeto, de acordo com a densidade do material. À medida em que a base de suporte do equipamento gira, é possível se obter múltiplas projeções radiográficas, capturadas em diferentes ângulos. A partir das projeções verticais adquiridas com a rotação 360° da amostra, o software do equipamento gera uma pilha de imagens brutas seccionadas na horizontal em fatias 2D, em escala de cinza, formando um objeto digital 3D.

Prosseguiu-se com o ensaio posicionando uma amostra por vez no interior do microtomógrafo para aquisição das imagens. A resolução tomográfica é obtida através da relação entre a distância da fonte, distância do detector, escolha da lente de aumento e razão BIN (binning), relacionado pela seguinte equação.

$$R = \frac{S}{S+D} F \quad (1)$$

Onde:

R – resolução tomográfica;

S – distância da fonte;

D – distância do detector;

F – parâmetro que leva em conta o detector, lente e razão BIN, sendo 68,926 μm para BIN 2 e F = 3,3684 μm para BIN 1 (lente de 4x).

O pixel size é determinado pela largura do feixe e pelo passo linear que o suporte das amostras realiza para obter uma varredura completa na região de interesse. O tamanho do voxel é obtido pelo tamanho do pixel no detector de imagem. O binning é o processo de se combinar um conjunto de pixels em um pixel. Para razão BIN 1, os pixels não são combinados e atribui-se esse valor a um único pixel, gerando-se imagens de tamanho 2048x2048x2048 voxels. Com razão BIN 2, calcula-se a média de 4 pixels (matriz 2x2) gerando-se imagens de tamanho 1024x1024x1024 voxels.

Neste trabalho, cada amostra foi tomografada em alta resolução usando a lente 4X e tamanho de voxel = 2,0094 μm. A imagem foi reconstruída com 2048² pixels por fatia e em escala de cinza de 16 bit. Foram analisadas no total 9 amostras congeladas e reconstituídas pelos métodos apresentados, com variação de índice de vazios de 0,7; 0,75 e 0,8 em cada método e os resultados são apresentados nos tópicos a seguir.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Avaliação da influência da microestrutura na reconstituição de amostras

As amostras são advindas das técnicas de reconstituição abordadas neste trabalho, variando o índice de vazios inicial em 0,7, 0,75 e 0,8 através da relação de massa de rejeito seco e água para a mistura. O teor de umidade final foi obtido através da confirmação da umidade por cápsulas retiradas das amostras reconstituídas na região central do corpo de prova, observando-se um teor de umidade final próximo do calculado inicialmente para a técnica MT e divergências obtidas para as demais técnicas. Isso se deve a dois fatores principais, sendo o primeiro a quantidade de água não controlada acrescentada durante a execução do ensaio para limpeza da parede do aparato do SD e do funil do WP e o segundo relacionado à perda de massa e umidade após a retirada da membrana para extração dos corpos de prova para a análise de microestrutura. Essas questões também interferiram no índice de vazios final para esses métodos, pois após a extração do corpo de prova do molde, as amostras adensavam instantaneamente.

Na Figura 4, é apresentado o resultado da vista ortogonal de uma das amostras analisadas através do ensaio de microtomografia computadorizada de raios X. Nela, é possível observar as tonalidades cinza clara a branca relacionadas aos minerais de maior densidade, como o minério de ferro, a tonalidade cinza médio relacionada a minerais de menor densidade como a sílica proveniente do quartzo e as tonalidades cinza escuro a preto ligadas à distribuição de vazios (ausência de matéria para atenuação dos raios X).

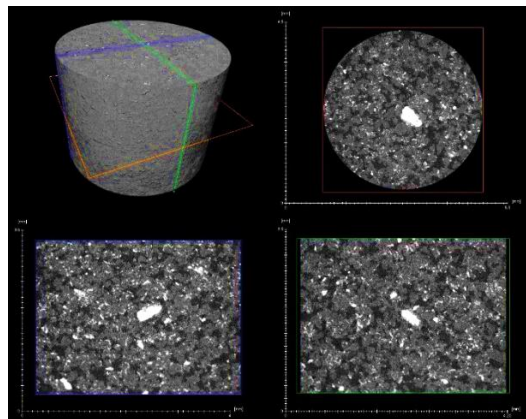


Figura 4. Microtomografia computadorizada - Vistas ortogonais de uma das amostras – Técnica MT, $e=0,7$.

Os resultados obtidos dos ensaios de microtomografia computadorizada de raios X indicaram homogeneidade ao longo do perfil vertical das amostras para todas as técnicas de reconstituição, quando se avalia as projeções em três vistas ortogonais. Essa constatação visual indica uma boa repetibilidade dos métodos para análise microestrutural, não sendo observada segregação de partículas ou variação de densidade ao longo do perfil da amostra. Apesar disso, a possibilidade de ocorrência de segregação deve ser melhor avaliada, com retirada de amostras para análise microestrutural em outras partes de um mesmo corpo de prova em estudo para confirmação.

Realizando-se uma comparação entre os métodos de reconstituição de amostras e considerando o mesmo índice de vazios inicial, algumas observações interessantes podem ser identificadas nas imagens da Figura 5 (a) MT, (b) SD, e (c) WP.

Para a técnica MT, foi possível observar formação de grumos devido ao processo de compactação estática, que tendem a se manter mesmo com o aumento do índice de vazios inicial da amostra. Essa condição pode ser denominada “favo de mel” e “metaestável” segundo apresentado no trabalho de Corrêa (2018). Isso também pode estar relacionado ao teor de umidade da amostra, compactada próxima da umidade ótima do material, que gera capilaridade entre os grãos, contribuindo para o aumento de forças de contato e formação dos grumos.

Com a técnica SD, mesmo com a variação do índice de vazios, observou-se uniformidade na distribuição dos grãos e contato interpartículas para todas as amostras nos ensaios de microestrutura bem como a formação de amostras reconstituídas menos porosas e mais densas que as dos demais métodos. Isso pode estar associado ao processo de agitação da mistura, que gera homogeneização do corpo de prova. Nesse ensaio, há também a

possibilidade de perda de água e massa durante a movimentação do aparato, mesmo utilizando vedação com *o-rings* e isso também pode influenciar na variação da densidade final obtida nos resultados.

Por fim, a técnica WP não apresentou distribuição de partículas e espaços vazios tão homogênea quanto a técnica SD, porém a formação de grumos foi menos pronunciada que a técnica MT, indicando, para esse material e nas condições de execução do ensaio descritas neste trabalho, ser uma técnica intermediária com relação a variações em índice de vazios e densificação das partículas. Essa condição dos espaços vazios é inerente à própria técnica, devido ao processo de sedimentação natural das partículas sem qualquer esforço de compactação.

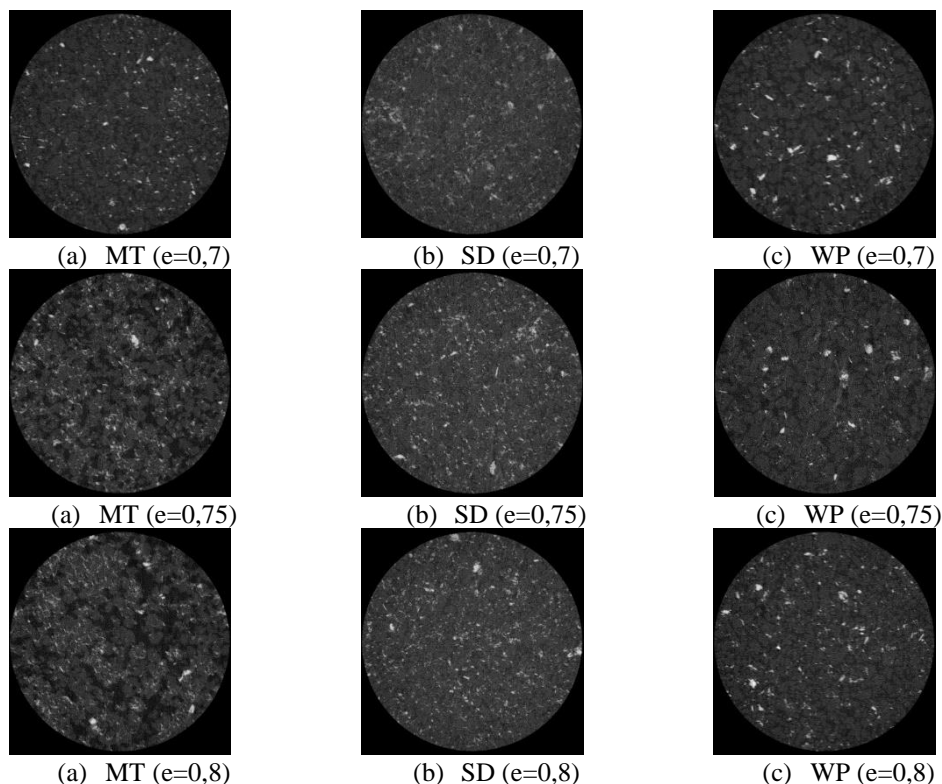


Figura 5. Microtomografia computadorizada de Raios X - Comparação entre amostras com $e=0,7$, $0,78$ e $0,8$ (condição da amostra fofa, medianamente compacta e compacta respectivamente).

5 CONCLUSÕES

Buscando complementar estudos na área de mecânica de rejeitos arenosos, o presente trabalho focou na avaliação da microestrutura de amostras de rejeito de minério de ferro filtrado, reconstituída por diferentes técnicas, buscando compreender os efeitos observados em cada uma das técnicas e como eles podem auxiliar no entendimento de divergências de comportamento encontradas na literatura e prática da mecânica dos solos.

Com base nos resultados apresentados, foi possível observar diferentes arranjos de aglomerados de partículas como resultado de diferentes métodos de preparação e a forte influência do geomaterial na forma das partículas e gradação. Desta forma, seria importante também avaliar a microestrutura de como o rejeito está disposto *in situ*, para que a técnica de reconstituição de amostras mais fiel ao campo fosse identificada.

Conclui-se, finalmente, que o trabalho realizado pode fomentar um melhor direcionamento de estudos de comportamento de geomateriais não coesivos para a análise da matriz de rejeito de cada tipo de amostra reconstituída, avaliando a contribuição de cada uma das técnicas adotadas no trabalho quanto à forma de arranjo estrutural dos grãos e distribuição das partículas e poros no meio.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES e à FAPERJ pelo apoio financeiro e à Geomecânica S.A pela disponibilização dos aparatos para a preparação das amostras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, I. C. E. A. (2016). *Slurry deposition method for reconstituting specimens in triaxial and consolidation tests*. XVIII Brazilian Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering - COBRAMSEG.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1990). NBR 12004. *Determinação do índice de vazios máximo de solos não coesivos*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2020). NBR 16843. *Solo - Determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos*. Rio de Janeiro.
- Barreto, E. C. G. (2021). *Avaliação da influência da presença de microfósseis de diatomáceas no desenvolvimento de argilas de alta sensibilidade*. Tese de Doutorado. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Been, K.; Jefferies, M. G.; Hachey, J. (1992). *Discussion: the critical state of sands*. Géotechnique 42, No. 4, 655–663, <https://doi.org/10.1680/geot.1992.42.4.655>.
- Bishop, A. Q.; Henkel, D. J. (1962). *The measurement of soil properties in the triaxial test*.
- Bruschi, G. J. E. A. (2023). *Mechanical and microstructural response of iron ore tailings under low and high pressures considering a wide range of molding characteristics*. Mining, <https://doi.org/10.3390/>.
- Carraro, J. A.; Prezzi, M. (2007). *A New Slurry-Based Method of Preparation of Specimens of Sand Containing Fines*. Geotechnical Testing Journal, Vol. 31, No. 1.
- Casagrande, A. (1979). *Liquefaction and cyclic deformation of sands - a critical review*. Argentina 5th Pan-American, p.81-133.
- Castro, G. (1969). *Liquefaction of Sands*. Ph.D. Thesis, Harvard University., Cambridge, MA.
- Chang, N. G. (2011). *The effect of fabric on the behaviour of gold tailings*. Géotechnique 61: 187–197.
- Corrêa, M. M. (2018). *Impacto da reconstituição de amostras de laboratório na avaliação do potencial de liquefação em depósitos de rejeito*. Dissertação de Mestrado, Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.
- Donaldson, G. W. (1965). *The effects of capillary action on the consolidation and shear strength of silt in a hydraulic fill dam*. International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
- Kurbis, R.; Vaid, Y. P. (1988). *Sand Sample preparation-The Slurry Deposition Method*. Soils Found. Vol. 28, No. (4). 107–118 p.
- Ladd, R. S. (1978). *Preparing Test Specimens Using Undercompaction*. Geotech. Test. J., Vol.1, p. 16–23.
- Oda, M. (1972). *Initial Fabrics and Their Relations to Mechanical Properties of Granular Material*. Soils Found. Vol. 12, No. 1, pp. 17–36.
- Passoni, S. (2013). *Microtomografia de raios X na caracterização micromorfológica de solo submetido a diferentes manejos*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, RS.
- Quinteros, V. S.; Carraro, J. A. H. (2023). *The initial fabric of undisturbed and reconstituted fluvial sand*. Géotechnique 73(1), 1-15.
- Reid, D.; Fanni, R.; Fourie, A. B. (2022). *Slurry deposition preparation method for tailings characterization - history, debates, techniques and benefits*. Tailings 2022.
- Vaid, Y. P.; Negussey, D. (1988). *Advanced Triaxial Testing of Soil and Rock*. Preparation of Reconstituted Sand Specimens, Philadelphia.
- Vaid, Y. P.; Sivathayalan, S.; Stedman, D. (1999). *Influence of Specimen-Reconstituting Method on the Undrained Response of Sand*. Geotech. Test. J., Vol. 22, No. 3, p.187–196.