

5

Considerações finais

5.1.

Conclusões

5.1.1.

Ensaio triaxial cíclico

O modelo físico da Universidade de Wollongong utilizado nesta pesquisa mostrou ser apropriado para os ensaios em lastro ferroviário, visto que permite a utilização de tamanhos de partículas de escala real, permite o controle das tensões, e a aquisição de dados como deslocamento. No entanto, ele apresenta algumas dificuldades quanto à facilidade de operação, especialmente na montagem das camadas: a colocação e retirada das amostras são demoradas, porque tem interferência das outras partes do equipamento, isto também limita a compactação das camadas. O atuador de carga vertical tem um limite de deslocamento, e precisa ser adicionado um complemento ao pistão para poder atingir um comprimento adequado à deformação do lastro. Durante o carregamento apresenta dificuldade quando a frequência de carregamento se aproxima de 25 Hz, e nesta deve ser constantemente monitorado.

Os resultados no modelo físico indicam que o lastro de granulometria A, (recomendado por Indraratna et al (2004) e que apresenta maior coeficiente de uniformidade) mostrou menor deformação permanente quando comparado ao lastro de granulometria B (segundo a Norma Brasileira). Nos experimentos de laboratório também se verificou que o modulo resiliente do lastro permaneceu quase constante para ambas as granulometrias na mesma frequência de carregamento.

A avaliação das curvas granulométricas antes e após os ensaios indicam que as partículas de lastro na granulometria B foram mais susceptíveis à quebra quando comparado às da granulometria A.

5.1.2. Simulação numérica

O método dos elementos discretos foi utilizado para simular um ensaio de compressão sobre lastro ferroviário, o qual se mostrou apropriado por incorporar as características geométricas aproximadas das partículas e interações entre estas na resposta mecânica do lastro, além disso, o método permite observar o comportamento micromecânico do lastro, que é difícil de observar em ensaios reais convencionais. Uma das dificuldades do método é o esforço computacional para cada simulação, o que deverá ser superado nos próximos anos, com o avanço de novos algoritmos e melhorias nos computadores; contudo, o método mostra-se promissor no estudo do comportamento mecânico do lastro ferroviário.

A vantagem do MED é que permite monitorar cada partícula dentro do conjunto, é possível apreciar forças, deslocamentos, direção dos deslocamentos, energia, velocidade, etc., muito importante para compreender as mudanças do comportamento da camada do lastro, como recalque e quebra.

Testaram-se cinco tipos de granulometria, sendo possível concluir que as cargas externas são suportadas pelas partículas em função do tamanho, isto é que a granulometria tem influência no comportamento mecânico do lastro. A granulometria montada segundo a norma brasileira suportou maior carga durante o ensaio estático, devido à maior quantidade de partículas grandes, mas não foi possível observar o comportamento em longo prazo devido às limitações do programa utilizado em relação ao tempo de computação.

Também foi observado que partículas de maior tamanho sofrem maior força de compressão, o que pode causar maiores tensões internas e, por conseguinte, quebra quando ultrapassados certos valores de tensão.

Não foi possível modelar a carga cíclica de forma senoidal, optando-se por simular o deslocamento cíclico. Tampouco foi possível simular a quebra das partículas, devido às limitações do programa de computação utilizado.

Certos valores foram estimados, como o peso específico dos grãos (Gs) da partícula, e também o módulo de cisalhamento G. Isto tem influencia quando o programa faz os cálculos de forças e deslocamentos.

O programa EDEM 2.6 permite fazer muitas simulações com diferentes granulometrias e propriedades do material, permitindo poupar tempo comparado à realização dos ensaios no modelo físico, no entanto às simulações numéricas deveriam ser calibradas tomando como referência ensaios reais. Neste estudo, não foi possível fazer isto devido às limitações da versão do programa, e

também porque não se dispunha de resultados de ensaios reais com paredes rígidas (sem deslocamento lateral) e carregamento estático para comparação.

5.2. Sugestões para futuras pesquisas

Em virtude da experiência com o manuseio do equipamento triaxial cíclico da Universidade de Wollongong, se propõe a construção de um equipamento similar, porém com algumas modificações: que permita reproduzir a metade de uma seção de ferrovia com três paredes rígidas (duas nos sentido longitudinal e uma no sentido transversal, deixando um lado livre, onde se reproduziria o ombro de lastro, o qual seria livre para se deslocar livremente. Também este equipamento poderia ser móvel e não fixado ao atuador, o que facilitaria a colocação e retirada do lastro ensaiado.

Em relação à simulação numérica, é preciso incorporar a quebra das partículas na modelagem do ensaio, o que poderia ser feito juntando pequenas partículas mediante contatos coesivos. Também é preciso incorporar um algoritmo para simular a carga dinâmica de forma senoidal.

Assim poderá ser validado o modelo numérico com resultados experimentais e também com medições de campo, como as obtidas mediante o uso de viga Benkelman por exemplo.