

3 Ensaio triaxial cíclico

3.1 Introdução

Vários pesquisadores têm utilizado equipamentos com células triaxiais cilíndricas para estudar o comportamento de lastro ferroviários (Tabela 3.1). Porém foi mostrado que ensaios triaxiais axissimétricos ($\sigma_2 = \sigma_3$) nem sempre modelam as condições de campo (Janardhanam & Desai, 1983; Jeffs & Marich, 1987; Ravitharan & Martin, 1994; Sato, 1995). O lastro em um ambiente de via permanente é submetido a um verdadeiro estado triaxial de tensões ($\sigma_2 \neq \sigma_3$), o qual é modelado parcialmente numa configuração triaxial convencional, onde a tensão confinante é uniforme ao redor da circunferência do espécime. Também, numa via permanente, o lastro é carregado só sob o dormente e o lastro do ombro é livre para se deslocar verticalmente ou lateralmente, onde a carga axial no equipamento convencional é aplicada na área completa do corpo de prova, causando uma resposta diminuída do lastro a vibrações.

Tabela 3.1. Locais onde foram realizados ensaios triaxiais de grande escala em estudos de lastro (Apud Merheb et al. 2014).

Pesquisadores	Ano	Diâmetro do corpo de prova	Altura do corpo de prova	Diâmetro máximo das partículas (mm)	Local
Raymond, Davis	1978				Canadá
Raymond, Diyaljee	1979	230	460	38	Canadá
Alva-Hurtado et al.	1981	305	610	30	Estados Unidos
Roner	1985				Estados Unidos
Suiker et al.	2005	254	645	38	Estados Unidos
Sekine et al.	2005	300	600	63,5	Japão
Lackenby et al.	2007	300	600	53	Austrália
Anderson, Fair	2008	236	455	50	Inglaterra
Sevi et al.	2009	419	864	63,5	Estados Unidos
Aursudkij et al.	2009	300	450	50	Inglaterra
Nalsund et al.	2010	300	600	63	Noruega
Ebrahimi et al.	2010	305	610	60	Estados Unidos
Merheb et al.	2014	400	800	60	Brasil

3.2 Equipamento prismoidal triaxial cíclico

Uma vista geral do equipamento prismoidal triaxial cíclico utilizado neste estudo é apresentado na Figura 3.1. O equipamento foi construído para acomodar espécimes prismáticos (600 x 800 x 600 mm) e submetê-los a três tensões ortogonais independentes. Também permite o espalhamento lateral do lastro devido a que as paredes laterais da caixa são não restritas. O equipamento compreende quatro partes principais: a célula prismoidal triaxial, a unidade de carregamento axial, o sistema de controle da pressão confinante e os dispositivos de monitoramento de deslocamentos horizontais e verticais. Diagramas esquemáticos do equipamento são apresentados nas Figuras 3.2 a 3.4.



Figura 3.1. Equipamento triaxial prismoidal cíclico da Universidade de Wollongong na Austrália.

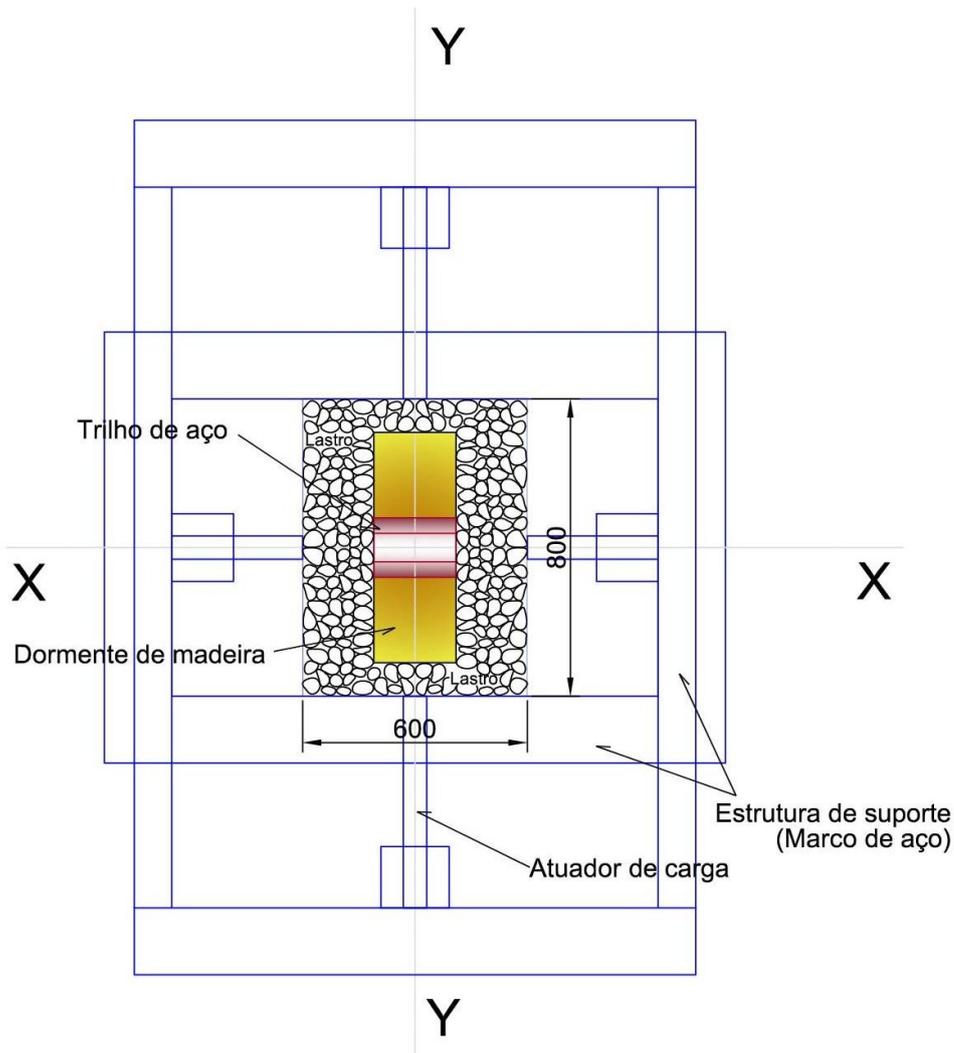


Figura 3.2. Ilustração esquemática em planta da câmara triaxial cíclica (dimensões em mm).

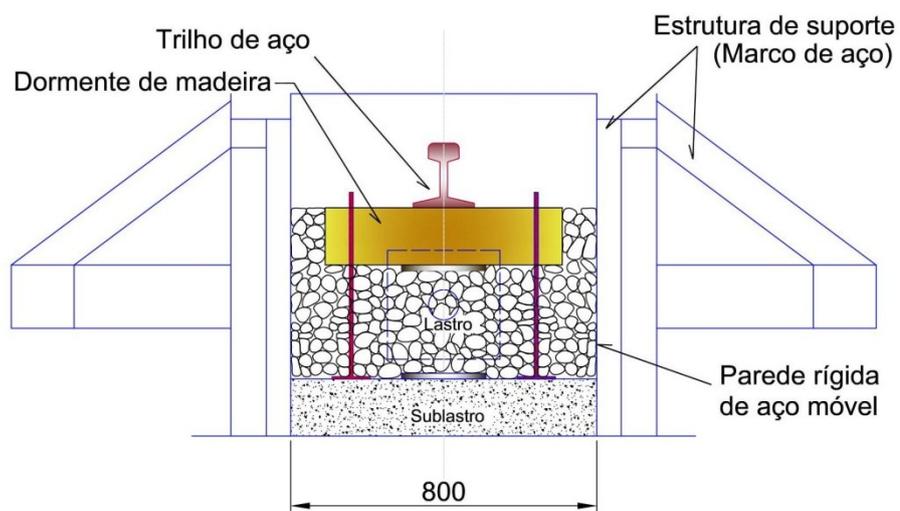


Figura 3.3. Ilustração esquemática na seção Y-Y da câmara triaxial cíclica (dimensões em mm).

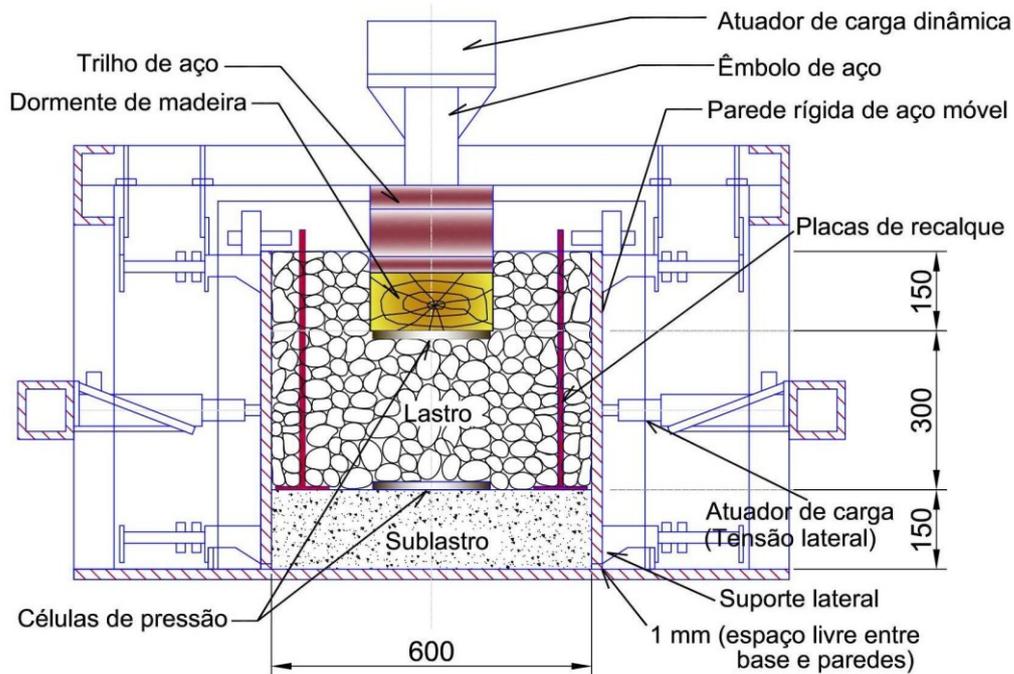


Figura 3.4. Ilustração esquemática na seção X-X da câmara triaxial cíclica (dimensões em mm).

3.2.1 Célula triaxial prismoidal

Compreende uma estrutura de suporte (marco rígido de aço) instalado a uma base de aço de 20 mm de espessura, como mostrado nas figuras 3.2 e 3.3. A caixa de aço foi colocada dentro do marco e apoiada em pinos moveis de suporte lateral. Existe um espaço de 1 mm entre as paredes verticais e a base, pois permite o movimento livre das paredes verticais quando submetidas a força horizontal. A célula pode acomodar corpos de prova com dimensões 600 x 800 x 600 mm. Porém, estas dimensões podem ser diminuídas ou aumentadas dependendo dos requisitos do ensaio. As paredes verticais tem uma espessura de 10 mm para fornecer um contorno relativamente leve, porém rígido o suficiente.

Nas quinas da caixa, foram colocadas oito conexões móveis, duas em cada quina, estas conexões consistem em rodas de rolamento de diâmetro de 50 mm ao longo de um trilho instalado nas paredes Este e Leste (Fig. 3.2 a 3.4) Este sistema simples garante deslocamentos das paredes N (Norte) e S (Sul) simultaneamente com o deslocamento das paredes E (Este) e L (Leste). Adicionalmente, estas conexões fornecem apoio lateral para minimizar o basculamento das paredes. O deslocamento lateral permitido na direção N-S (X-

X ou direção de σ_2) da parede é mais ou menos 50 mm, e na direção E-L (Y-Y ou direção de σ_3) cada parede pode deslocar mais ou menos 50 mm.

3.2.2 Unidade de carregamento axial

A carga axial é fornecida por um atuador dinâmico com uma capacidade máxima de 10 t. A frequência da carga aplicada depende da sua amplitude, permitindo até uma frequência de até 50Hz para uma amplitude muito pequena. O pistão de aço (diâmetro de 100 mm) do atuador dinâmico transmite a tensão principal maior σ_1 , ao corpo de prova de lastro através de um segmento de dormente de madeira.

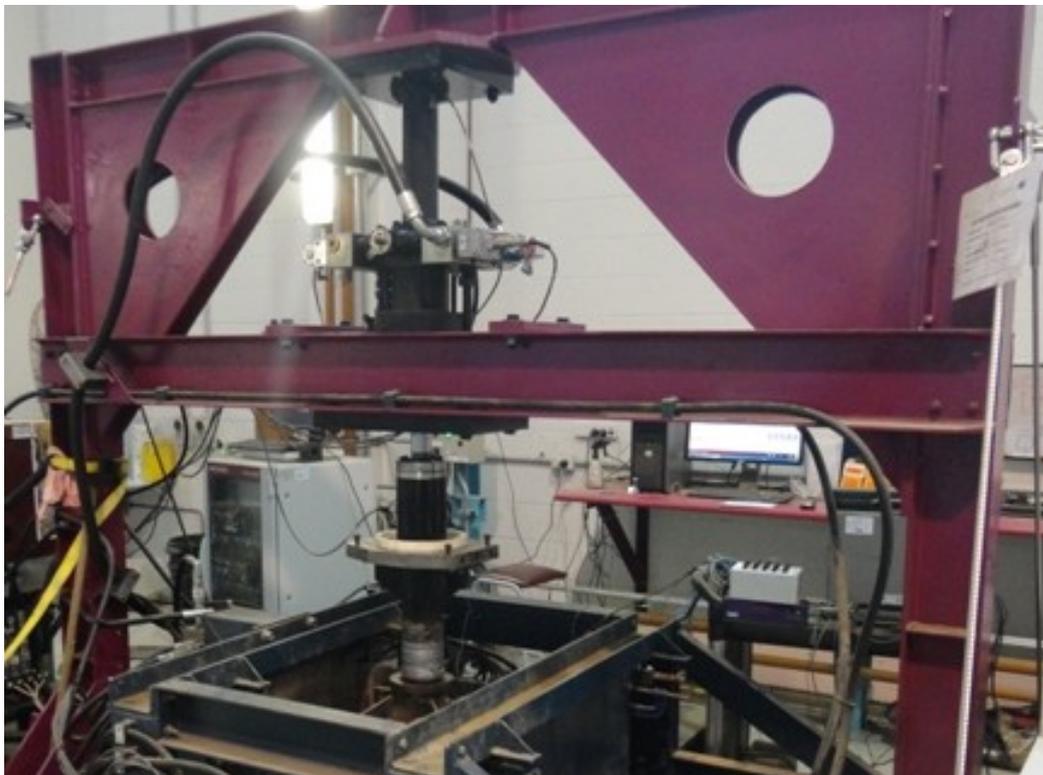


Figura 3.5. Unidade de carregamento axial do equipamento triaxial.

3.2.3 Sistema de controle de pressão confinante.

A pressão confinante é aplicada nas direções leste-oeste (σ_2) e norte-sul (σ_3), através de sistema pneumático controlado pelo computador. Na Figura 3.6 se aprecia a vista lateral do equipamento, com os atuadores de carga lateral acoplados no marco rígido. Nas Figuras 3.7 a 3.9 se apresentam os detalhes do sistema de carregamento lateral, com as mangueiras de ar comprimido.



Figura 3.6. Vista lateral do equipamento

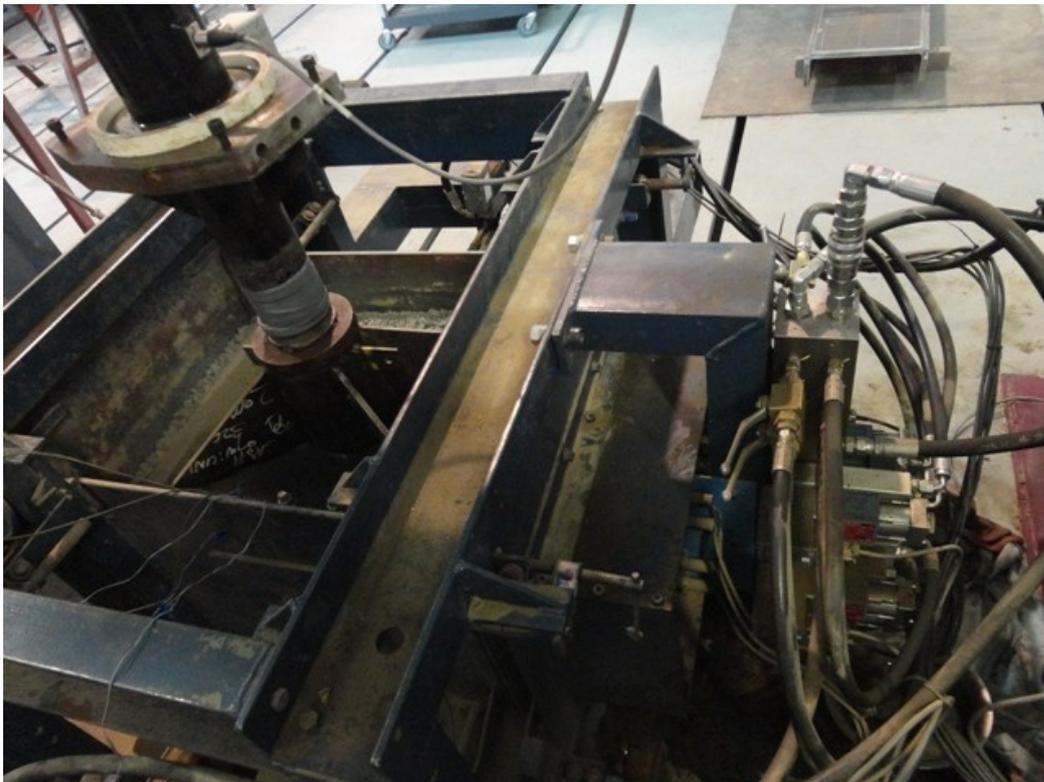


Figura 3.7. Detalhe da unidade de carregamento lateral



Figura 3.8. Detalhe da unidade de carregamento lateral



Figura 3.9. Detalhe da unidade de carregamento lateral

3.2.4

Dispositivos de monitoramento de deslocamento horizontais e verticais.

O deslocamento vertical do dormente e deslocamentos laterais das paredes verticais são medidas por potenciômetros eletrônicos. Duas células de pressão, uma sob o dormente e a outra na interface lastro/sublastro, podem ser colocadas na câmara para monitorar as tensões no lastro. Placas de recalque foram instaladas em cada interface dormente/lastro e lastro/sublastro para medir o deslocamento vertical. Para conseguir alta qualidade de dados em tempo real, a instrumentação é conectada a um registrador de dados suportado por um computador central (Figura 3.10). Também é possível a aquisição de dados de carregamento e deslocamento verticais através do computador que controla o atuador vertical (Figura 3.11). Este equipamento instrumentado pode medir todas as cargas verticais e laterais e seus deslocamentos associadas.

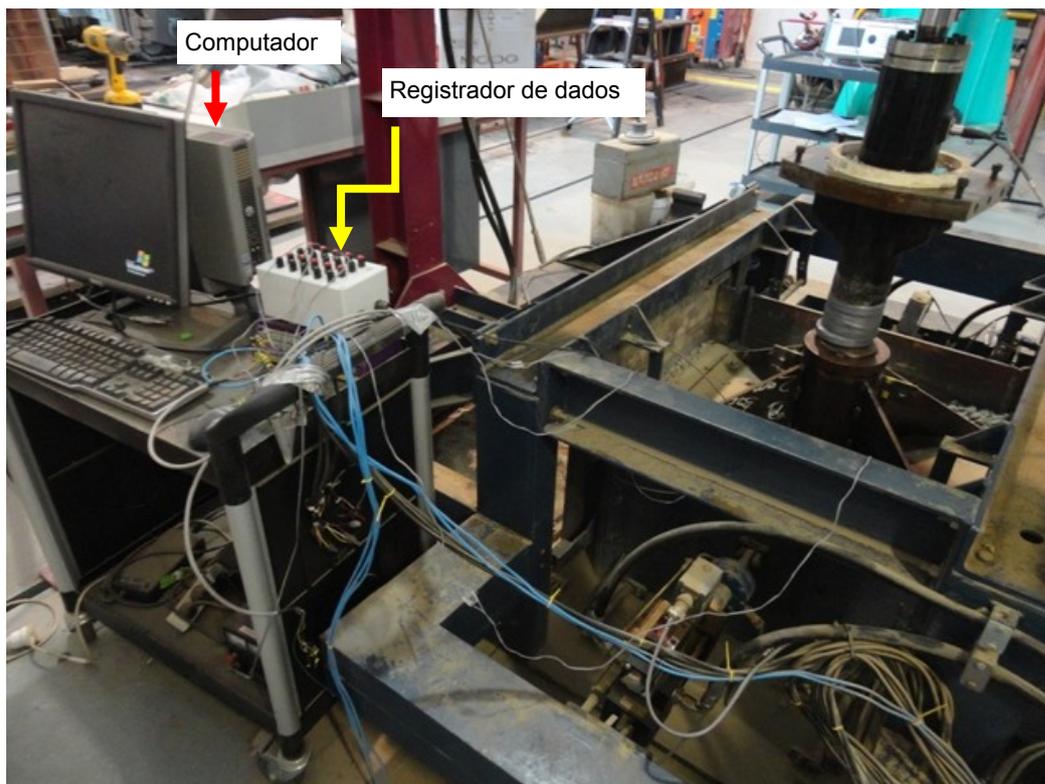


Figura 3.10. Detalhe do computador de aquisição de dados da instrumentação



Figura 3.11. Tela de controle do atuador de carga marca MOOG.

3.3 Materiais

3.3.1 Sublastro

O sublastro usado na presente pesquisa é da mesma rocha mãe que o lastro, ou seja, basalto latito, de partículas grossas, afiadas e angulosas que provém da pedreira “Bombo quarry” localizada a 100 km ao sul de Sydney.

Public Transport Victoria (1997), órgão que gerencia o transporte público de Victoria, na Austrália, normatiza a granulometria do sublastro segundo a Tabela 3.2. A granulometria utilizada está na Figura 3.12 e na Figura 3.13 se mostram duas fotografias da amostra. No item 3.4 Procedimento do ensaio, se apresentam especificações adicionais do sublastro utilizado.

Tabela 3.2. Faixa granulometrica do sublastro recomendado pelo Public Transport Victoria (1997) e a granulometria do sublastro utilizado.

Peneira (mm)	% Passante (por massa)		
	Limite inferior	Limite superior	Gradação do sublastro utilizado nesta pesquisa
53	100		
37,5	95	100	
26,5	75	95	
19	64	90	100
9,5	42	78	70
4,75	28	64	50
2,36	20	50	35
0,425	7	23	15
0,075	2	12	0

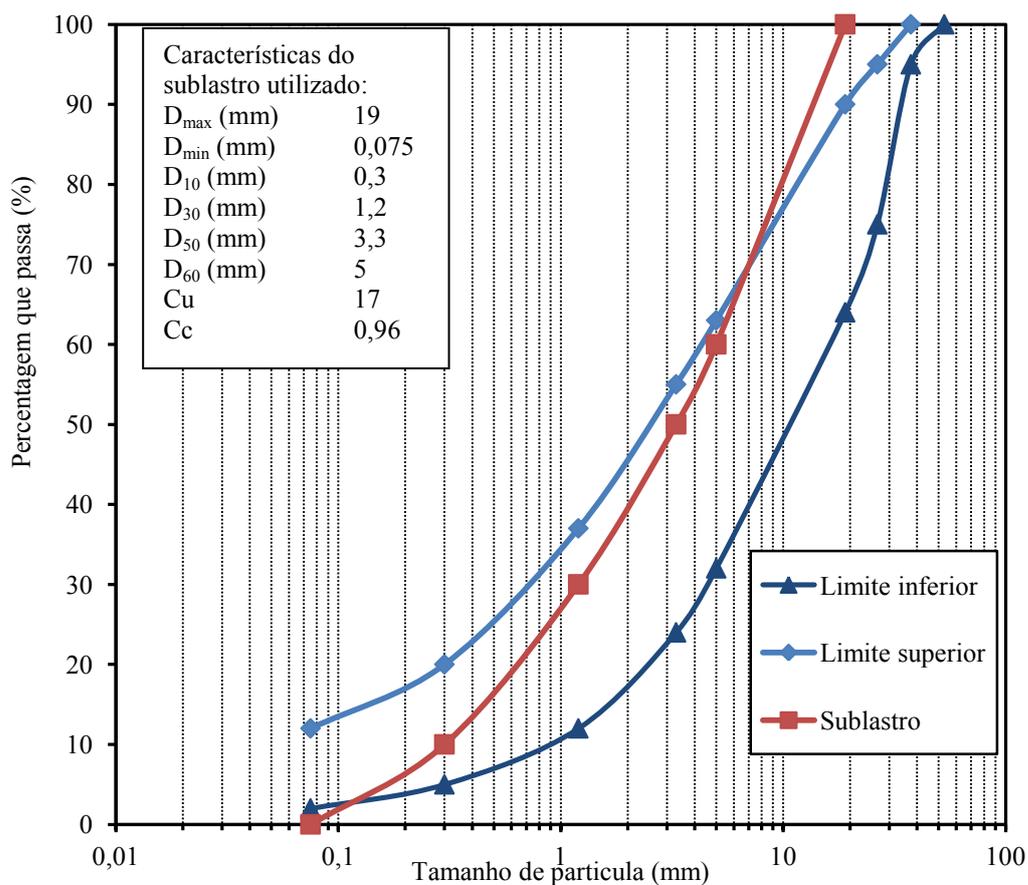


Figura 3.12. Granulometria do sublastro utilizado na presente pesquisa.



(a)



(b)

Figura 3.13. Aparência do sublastro utilizado na presente pesquisa.

3.3.2 Lastro

O lastro usado na presente pesquisa é basalto latito, de partículas grossas, afiadas e angulosas que provem da pedreira “Bombo quarry” localizada a 100 km ao sul de Sydney.

No Laboratório de Análise de Minerais e Rochas (LAMIR) da Universidade Federal de Paraná (UFPR), efetuou-se a análise química mediante fluorescência de raios-X, obtendo-se os resultados mostrados na Tabela 3.3. Adicionalmente a análise mineralógica mediante difração de raios-x se apresenta na figura 3.14 e a composição mineralógica na Tabela 3.4, revelando presença de Plagioclásio, Piroxênio, Feldspato alcalino e Quartzo. Na Figura 3.15 se apresenta o diagrama QPAF para um latito típico, neste diagrama é feita a classificação de rochas plutônicas e vulcânicas de acordo com a composição modal das rochas em questão. A sigla QPAF representa as iniciais dos minerais cujas modas entram na classificação: Q representa quartzo; A representa feldspato alcalino; P representa plagioclásio; e F representa feldspatóide.

Tabela 3.3. Análise química quantitativa total por espectrometria de fluorescência de raios-X.

Composto	(%)
SiO ₂	54,34
Al ₂ O ₃	16,95
Fe ₂ O ₃	9,08
CaO	5,26
MgO	2,95
K ₂ O	4,74
Na ₂ O	3,44
TiO ₂	1
MnO	0,14
P ₂ O ₅	0,72
Perda a Fogo	1,7

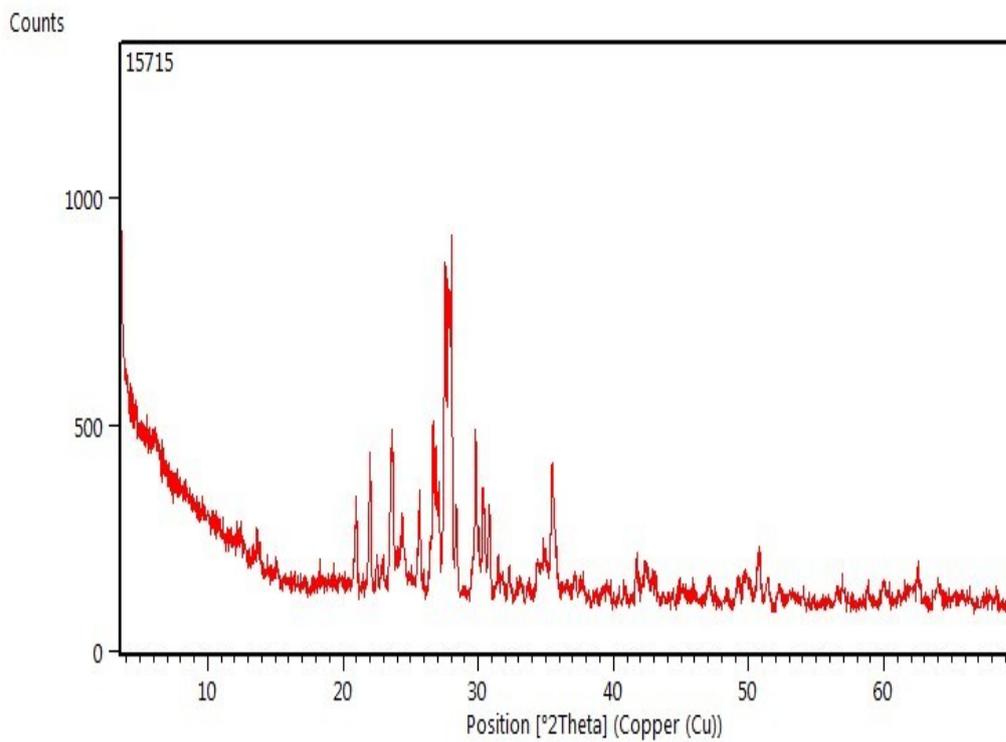


Figura 3.14. Análise mineral qualitativa por difratometria de raios x

Tabela 3.4. Composição Mineralógica, identificados por comparação com os padrões do ICDD (International Centre for Diffraction Data)

Mineral	Fórmula
Plagioclásio (Grupo)	-
Piroxênio (Grupo)	-
Feldspato alcalino (Grupo)	-
Quartzo	SiO ₂
pp Argilomineral Grupo 14Å confirmar com tratamento	-

pp= provável presença

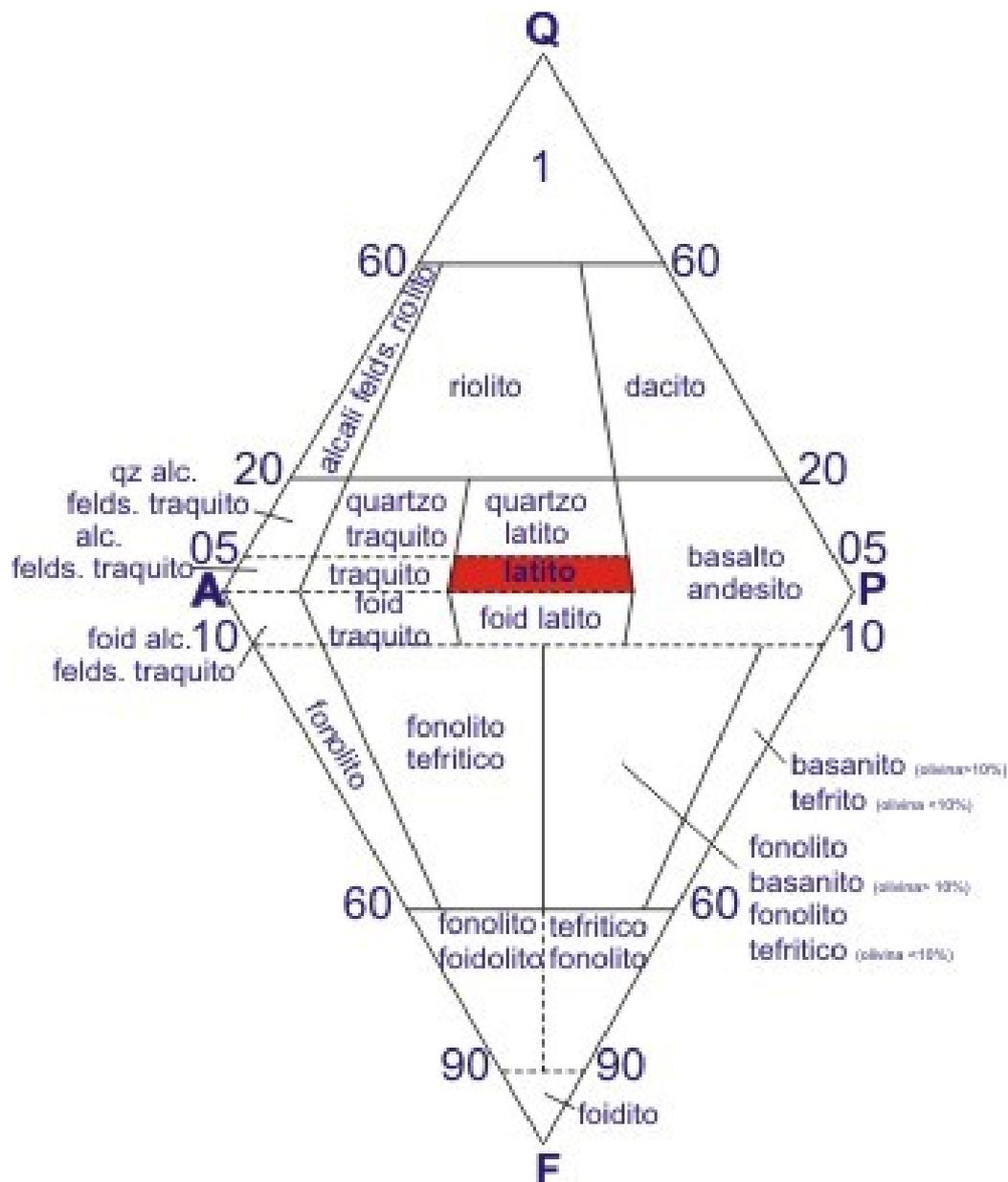


Figura 3.15. Diagrama QAPF de um latito típico (UNESP, 2015)

As propriedades físicas foram avaliadas usando os procedimentos de ensaio normatizados pela AS2758.7 (Standards Australia, 1996). Duas amostras foram preparadas com duas granulometrias diferentes. Uma amostra foi preparada segundo a recomendação de Indraratna et al. (2004) e foi chamada como "Graduação A" (Tabela 3.5 e Figura 3.16) e a outra amostra foi segundo a norma brasileira. NBR 5564 (ABNT, 2012) e foi chamada como "Graduação B" (Tabela 3.6, Figura 3.17).

Tabela 3.5. Granulometria de lastro recomendada por Indraratna et al (2004)

Peneira (mm)	% Passante (por massa)		
	Limite inferior	Limite superior	Gradação A
63	100	-	100
53	85	100	95
37,5	50	70	60
26,5	20	35	30
19	10	20	15
13,2	2	10	0
9,5	0	5	0
4,75	0	2	0
0,075	0	0	0

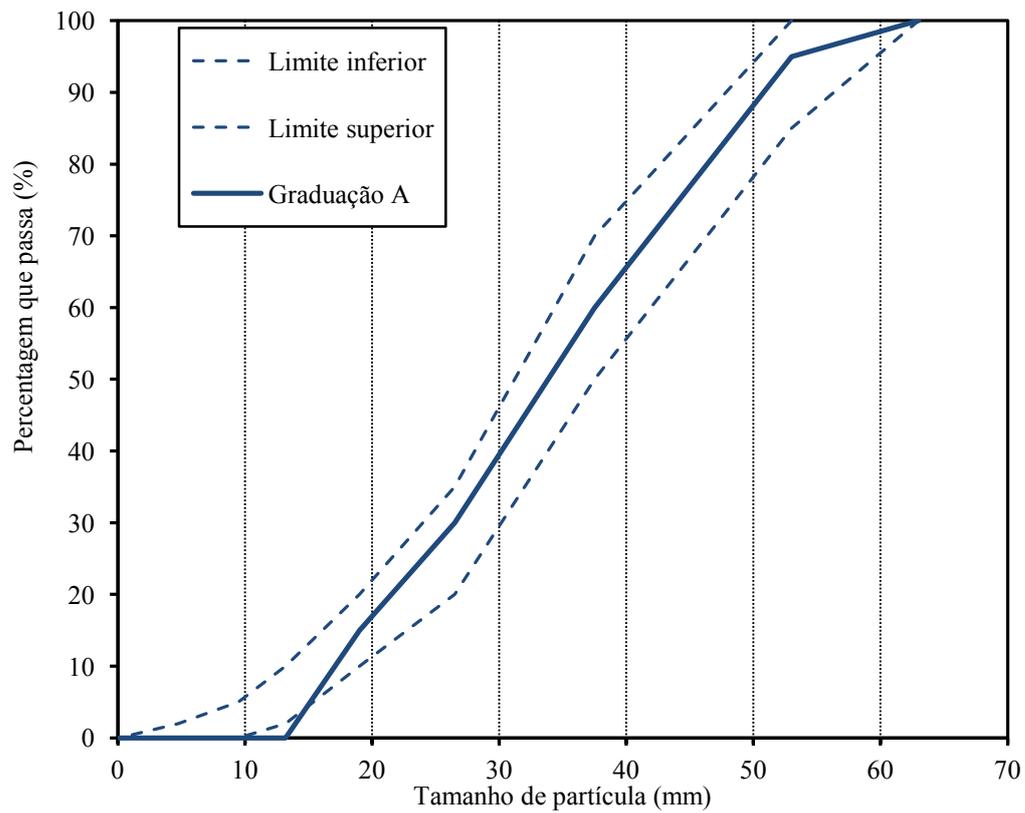


Figura 3.16. Gradação A

Tabela 3.6 – Granulometria de lastro segundo a norma brasileira (NBR 5564:2012))

Peneira (mm)	% Passante (em massa)		
	Limite inferior	Limite superior	Graduação B
63	100	-	100
53	90	100	95
37,5	35	70	50
26,5	0	15	5
19	0	10	0
13,2	0	5	0
9,5	0	0	0
4,75	0	0	0
0,075	0	0	0

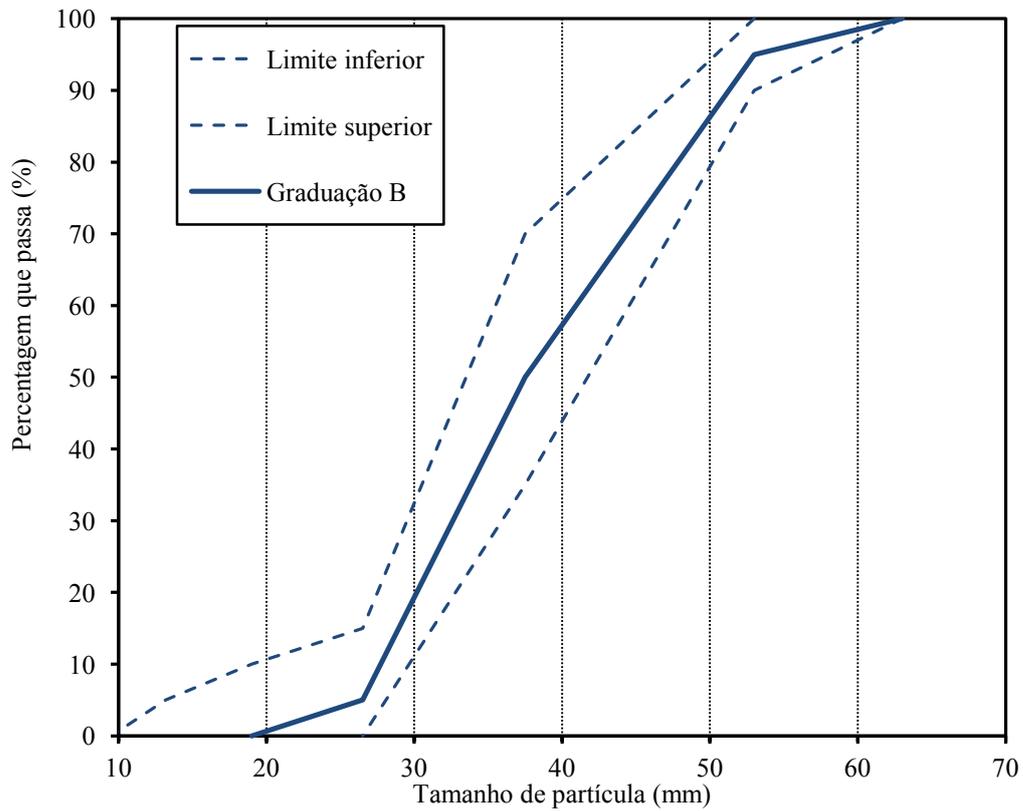


Figura 3.17. Graduação B

Tabela 3.7. Comparação das granulometrias dos materiais utilizados nesta pesquisa.

	Gradação A	Gradação B
Diâmetro máximo	63	63
Diâmetro mínimo	13,2	19
d10	16	27
d30	27	33
d50	33	38
d60	37	41
d90	50	48
Cu	2,31	1,52
Cc	1,23	0,98
Classificação SUCS	GP	GP

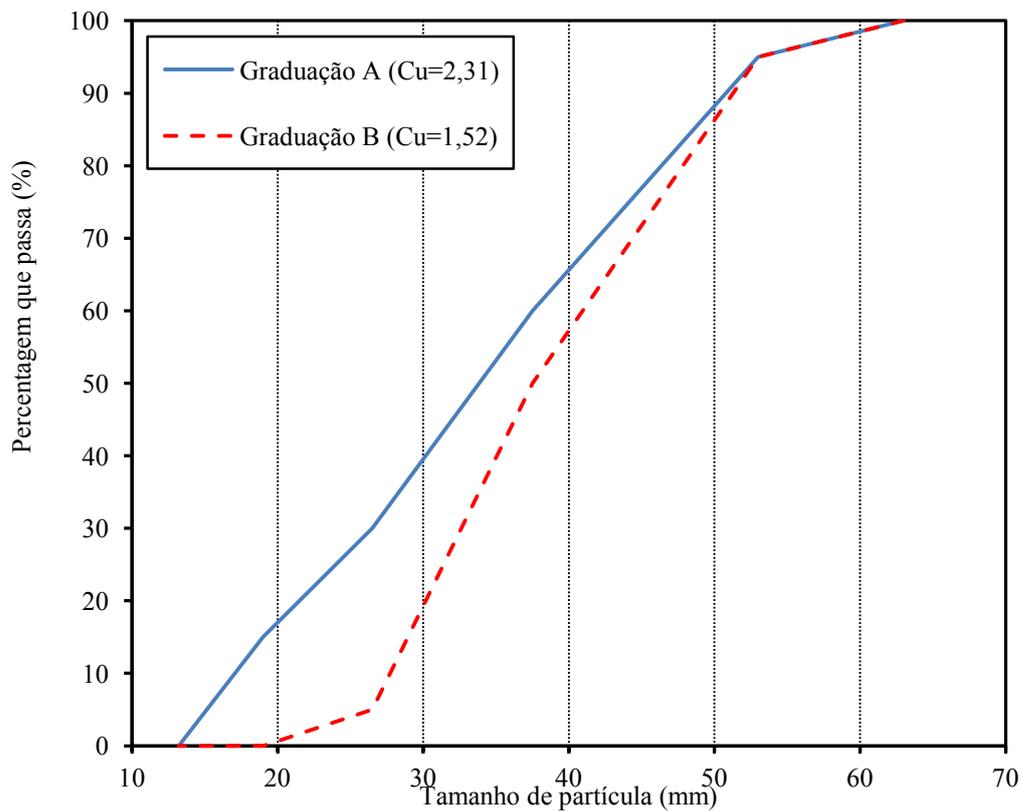


Figura 3.18. Granulometria e coeficiente de uniformidade dos dois lastros utilizados nesta pesquisa.

3.4 Procedimento do Ensaio

3.4.1 Preparação de Amostras.

Primeiramente, os volumes e pesos de lastro e sublastro têm que ser calculados considerando as dimensões da câmara e pesos específicos dos materiais. No caso do sublastro, foi colocado em dois baldes de plástico. No caso do lastro, o material bruto que provém da pedreira (aproximadamente duas toneladas) foi peneirado manualmente, trabalho que levou aproximadamente três semanas. Após foram calculados os pesos correspondentes a cada tamanho de partícula para reproduzir cada granulometria desejada. Posteriormente, os diferentes tamanhos de partículas foram misturados manualmente utilizando uma pá. Na Figura 3.19 se mostra o processo do peneiramento. Na Figura 3.20 se apresentam os diferentes tamanhos de partícula para obter a granulometria desejada.

A idéia foi reproduzir uma pequena seção de ferrovia, incluindo sublastro e lastro, dormente, fixador e trilho, dentro da câmara triaxial para representar uma ferrovia real no laboratório.

Uma camada de pedregulho arenoso de espessura de 150 mm foi usada para representar o sublastro que foi compactado em três camadas de 50 mm de espessura (Figura 3.22). O peso unitário seco foi de $19,61 \text{ kN/m}^3$ (2000 Kg/m^3), o volume utilizado foi de $0,072 \text{ m}^3$ representando um peso de $1,41 \text{ kN}$ (144 Kg). O índice de vazios (e_0) foi de $0,35$.

Depois de finalizada a compactação, foi colocada uma lona plástica para evitar a contaminação do lastro pelas partículas do sublastro, com a finalidade de manter invariável o volume de material de lastro, que seria peneirado após o ensaio de carga repetida para quantificar a eventual quebra do mesmo. Acima do plástico foram colocadas as hastes para medir recalque, assim como a célula de pressão na interface sublastro-lastro (Figura 3.23).

Logo após foi colocada uma camada de lastro (espessura 300 mm) que foi compactada em quatro camadas de espessura 75 mm utilizando um martelo, até atingir uma densidade de campo representativa. O peso unitário seco (γ) da foi de $15,69 \text{ kN/m}^3$ (1600 Kg/m^3), o volume utilizado foi de $0,144 \text{ m}^3$ representando um peso de $2,26 \text{ kN}$ ($230,4 \text{ Kg}$). A razão de vazios (e_0) foi de $0,69$.

Um dormente de madeira de dimensões 620 mm x 220 mm x 150 mm e segmento de trilho foram colocados acima da camada compactada de lastro de

suporte (Figura 3.25), e o espaço entre o dormente e as paredes foi preenchido com lastro de ombro (espessura 150 mm) (Figura 3.26), que foi compactado em duas camadas de espessura 75 mm. O peso unitário seco (γ) foi de 15,69 kN/m³ (1600 Kgf/m³), o volume utilizado foi de 0,05154 m³ representando um peso de 0,8086 kN (82,454 Kgf). O índice de vazios (e_0) foi de 0,69.



Figura 3.19. Peneiramento do lastro nesta pesquisa.



Figura 3.20. Diferentes tamanhos de partícula para obter a graduação A.



Figura 3.21. Câmera triaxial vazia.



Figura 3.22. Compactação de camada de sublastro.



Figura 3.23. Arranjo da instrumentação na interface sublastro-lastro.



Figura 3.24. Vista superior do topo do lastro de suporte antes de colocar o dormente.



Figura 3.25. Colocação do dormente.



Figura 3.26. Enchimento do lastro do ombro.



Figura 3.27. Vista lateral.



Figura 3.28. Topo da câmara triaxial mostrando dormente e trilho.



Figura 3.29. Colocação de LVDTs no dormente.



Figura 3.30. Medição dos deslocamentos verticais.



Figura 3.31. Fim do ensaio.



Figura 3.32. Quebra de partículas.



Figura 3.33. Retirada do material ensaiado.



Figura 3.34. Material fino que provém do lastro ao final do ensaio.



Figura 3.35. Detalhe do material fino



Figura 3.36. Quantidade do material fino

3.4.2 Carregamento

Uma tensão vertical cíclica (σ'_{1cyc}) foi fornecida pelo atuador servo-hidráulico de carga dinâmica e transmitida através de um êmbolo de diâmetro 100 mm ao modelo físico. No ambiente da ferrovia, a pressão confinante é de grande interesse (Lackenby et al. 2007). Sob condições normais de uma ferrovia, um movimento lateral significativo é observado na camada de lastro, fato que é atribuído principalmente à reduzida restrição lateral na borda do dormente (Indraratna et al. 2010, 2011, 2014). Para simular comportamento da ferrovia sob tais confinamentos, pequena pressão lateral perpendicular ao dormente ($\sigma'_2 = 10$ kPa) foi aplicada para simular o confinamento de campo, na direção paralela ao dormente foi restrito o deslocamento (ϵ_3).

Confinamento numa ferrovia real geralmente é fornecido pela altura do lastro do berço e do ombro, juntamente com um embricamento e atrito entre as partículas angulosas e interação entre o dormente e o lastro. Inicialmente um estágio de deformação controlada foi realizado (a taxa constante de 1mm/s) até que o nível médio de tensão desviadora cíclica ($\sigma'_{1mean,cyc}$) fosse atingido. Depois disso, um ensaio de tensão controlada com uma tensão cíclica sinusoidal

cíclica de amplitude $\Delta\sigma'_{1cyc} = \sigma'_{1max,cyc} - \sigma'_{1min,cyc}$ foi realizado. Leituras iniciais de células de carga, potenciômetros, e placas de recalque foram feitas, e então a tensão máxima cíclica ($\sigma'_{1max,cyc}$) correspondente a uma carga de eixo de 25 tons calculada segundo método da American Railway Engineering Association (AREA) (Li e Selig 1998) foi aplicada.

Os ensaios foram conduzidos a uma frequência (f) de 15 Hz, a qual simulou uma velocidade (V) de trem de 110 km/h e a 25 Hz, a qual simulou uma velocidade de trem de 180 km/h. Esta velocidade de trem corresponde a uma roda de diâmetro de 0,97 m, e uma distância entre rodas de vagões comuns de 2,02 m. Para esta velocidade de trem, a tensão média de contato na interface dormente-lastro obtida pelo método AREA foi de 447 kPa (Esveld 2001).

O número total de ciclos de carga aplicados em cada ensaio foi 200.000. O ensaio foi interrompido em vários números preestabelecido de ciclos de carga, e leituras de recalque, deslocamento lateral das paredes e intensidades de carga foram registradas. Dois ensaios foram feitos para pesquisar a resposta de carregamento cíclico no lastro ferroviário. A deformação do modelo de ferrovia foi analisada através destes testes, onde o efeito da granulometria foi estudado em termos de deformação permanente e controle de quebra.

3.5 Programa Experimental

Com o intuito de pesquisar a influência da granulometria, fizeram-se quatro ensaios com duas granulometrias distintas, e duas frequências de carregamento. Na Tabela 3.8, mostra-se o resumo dos ensaios realizados. Nas Figuras 3.37 a 3.40, mostram-se os detalhes do carregamento cíclico.

Tabela 3.8. Resumo dos ensaios realizados.

Ensaio	Granulometria	Frequência (Hz)	Numero de ciclos (N)
1	A	15	200.000
2	B	15	200.000
3	A	25	200.000
4	B	25	200.000

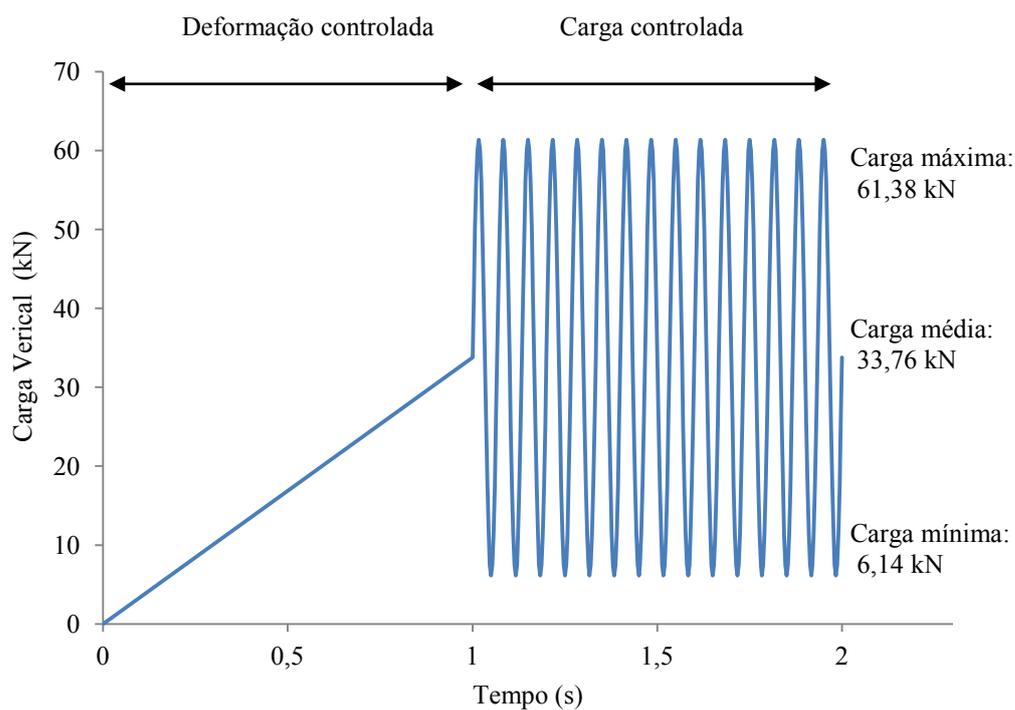


Figura 3.37. Detalhe do carregamento cíclico, $f=15$ Hz (carga do atuador).

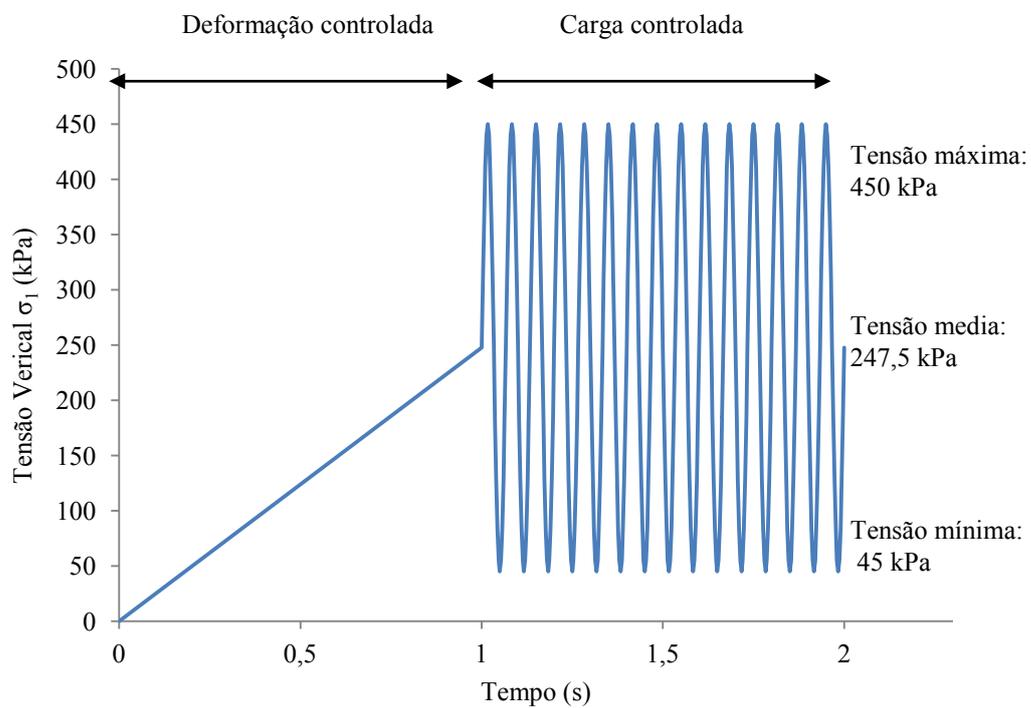


Figura 3.38. Detalhe do carregamento cíclico, $f=15$ Hz (tensão no contato dormente-lastro).

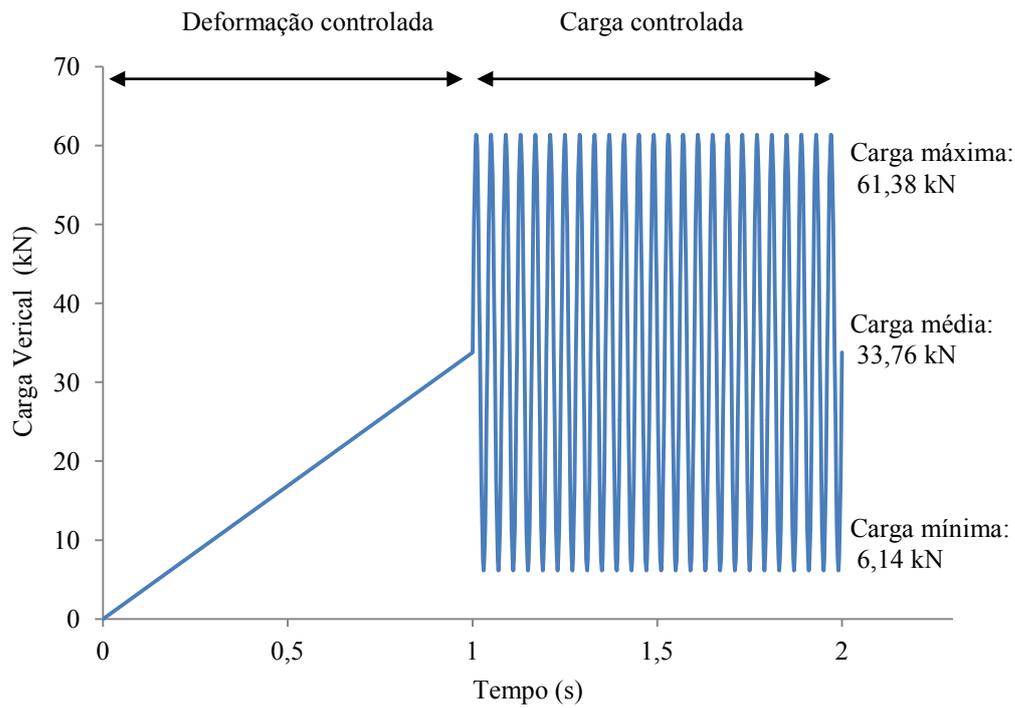


Figura 3.39. Detalhe do carregamento cíclico, $f=25$ Hz (carga do atuador),

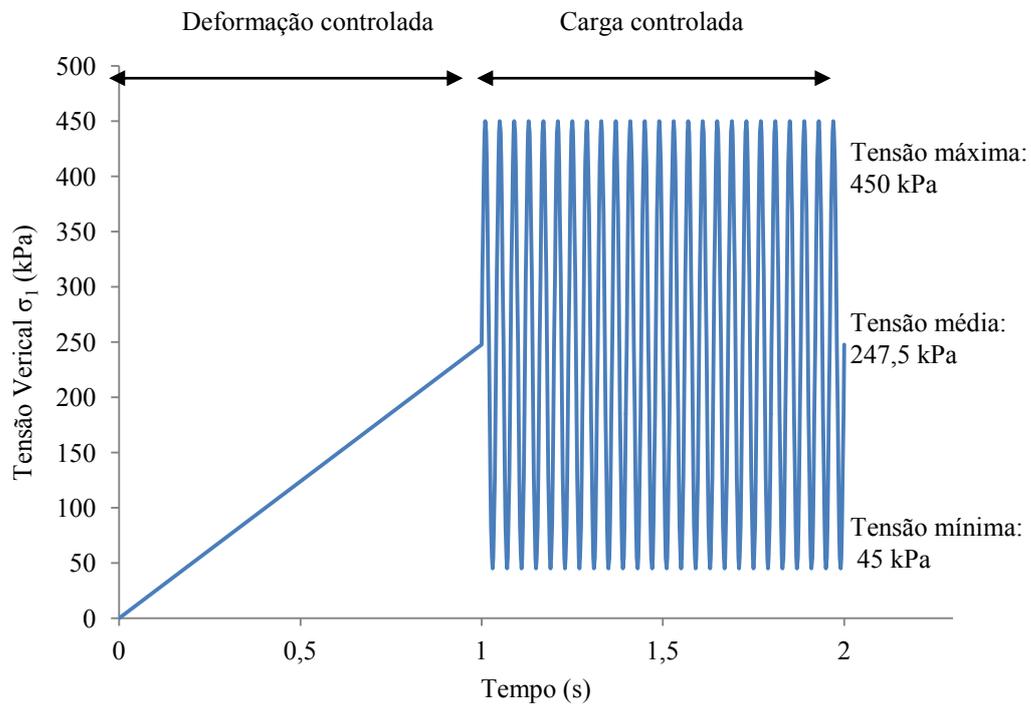


Figura 3.40. Detalhe do carregamento cíclico, $f=25$ Hz (tensão no contato dormente-lastro),

3.6 Resultados experimentais

Neste item são apresentados os resultados e as análises dos ensaios descritos, para as amostras de lastro estudadas. Como o objetivo desta tese é avaliar a granulometria do lastro para um melhor desempenho na via permanente, as amostras foram testadas no equipamento prismoidal triaxial cíclico. Esses ensaios tiveram por objetivo uma melhor compreensão do comportamento do material em estudo.

3.6.1 Características de Recalque

Os deslocamentos verticais do lastro foram computados excluindo o deslocamento da camada de sublastro, e são mostrados nas Figuras 3.41 a 3.44. A camada de lastro de granulometria A teve menor deformação permanente que o da granulometria B, e as taxas de deformação foram diminuindo com a acumulação de ciclos de carga em ambos os casos. Em ambos os casos o deslocamento aumentou com o incremento da frequência de carregamento.

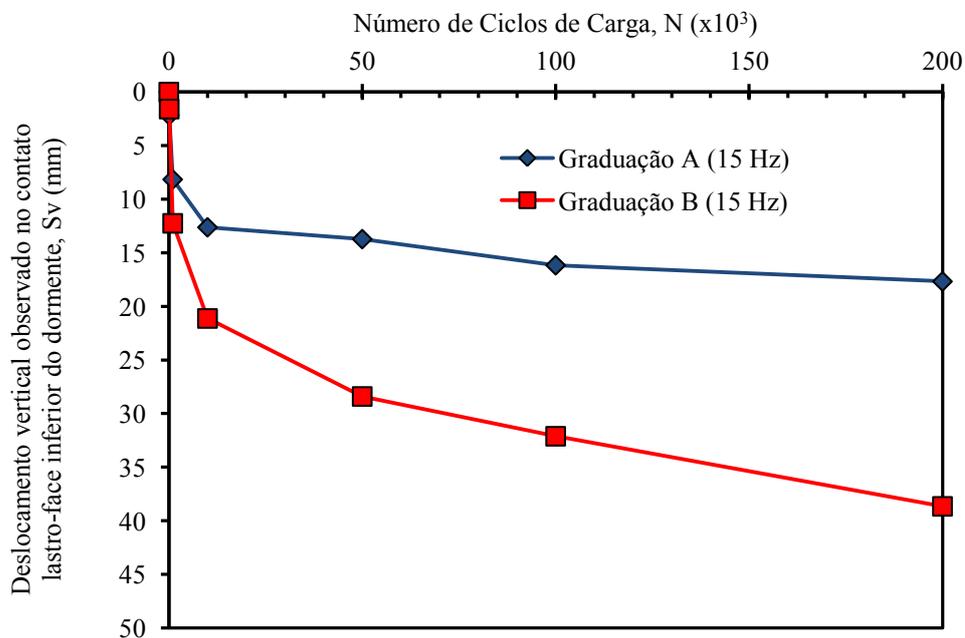


Figura 3.41. Comparação do deslocamento vertical no contato lastro-face inferior do dormente para ambas as graduações na frequência 15 Hz.

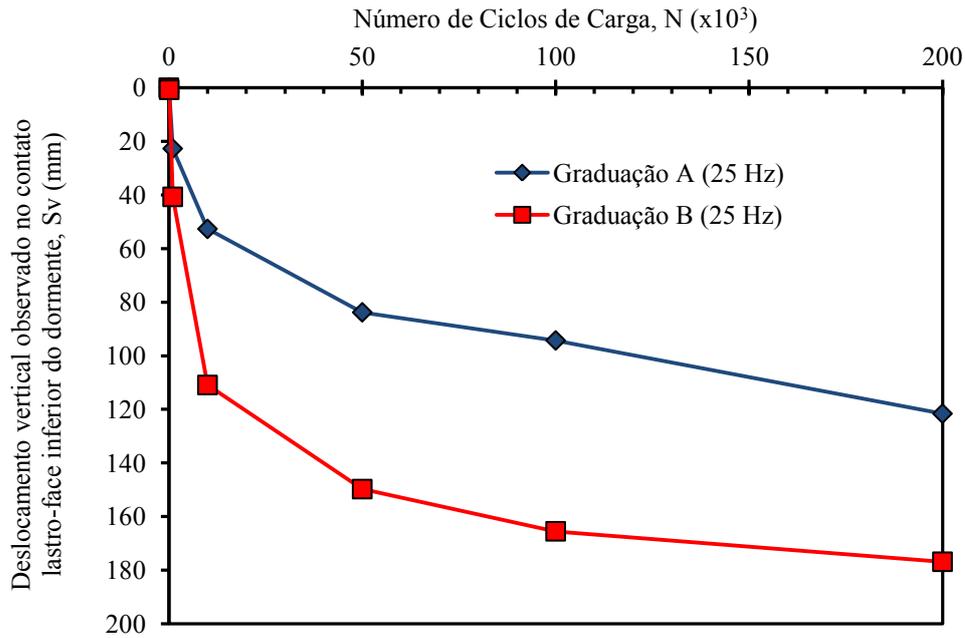


Figura 3.42. Comparação do deslocamento vertical no contato lastro-face inferior do dormente para ambas as graduações na frequência 25 Hz.

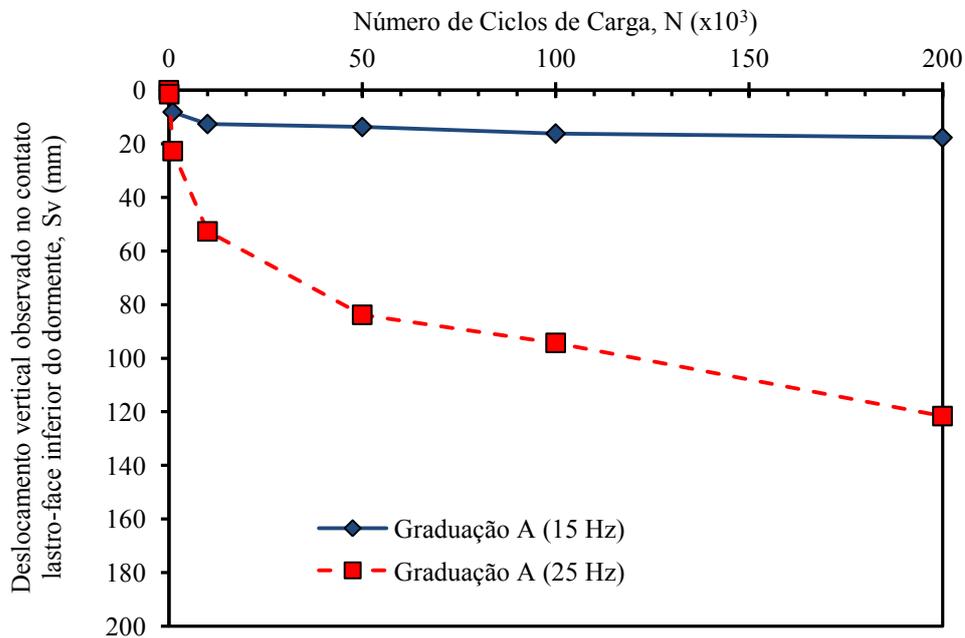


Figura 3.43. Comparação do deslocamento vertical no contato lastro-face inferior do dormente para a graduação A e diferentes frequências de carregamento cíclico.

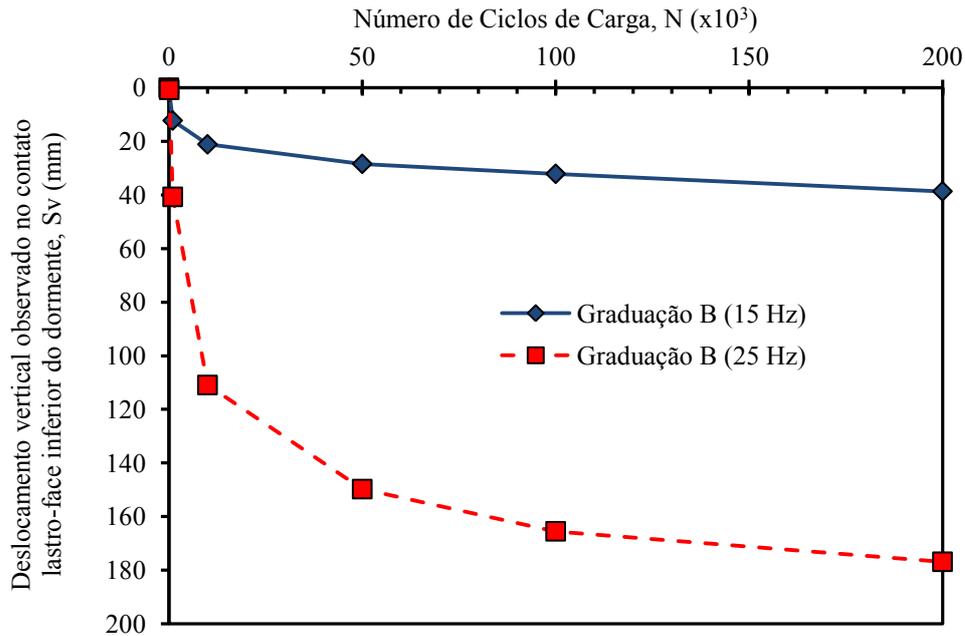


Figura 3.44. Comparação do deslocamento vertical no contato lastro-face inferior do dormente para a graduação B e diferentes frequências de carregamento cíclico.

3.6.2 Características de deformabilidade

Nas Figuras 3.43 a 3.45 mostram-se as comparações entre os resultados dos diferentes ensaios quanto à deformabilidade plástica.

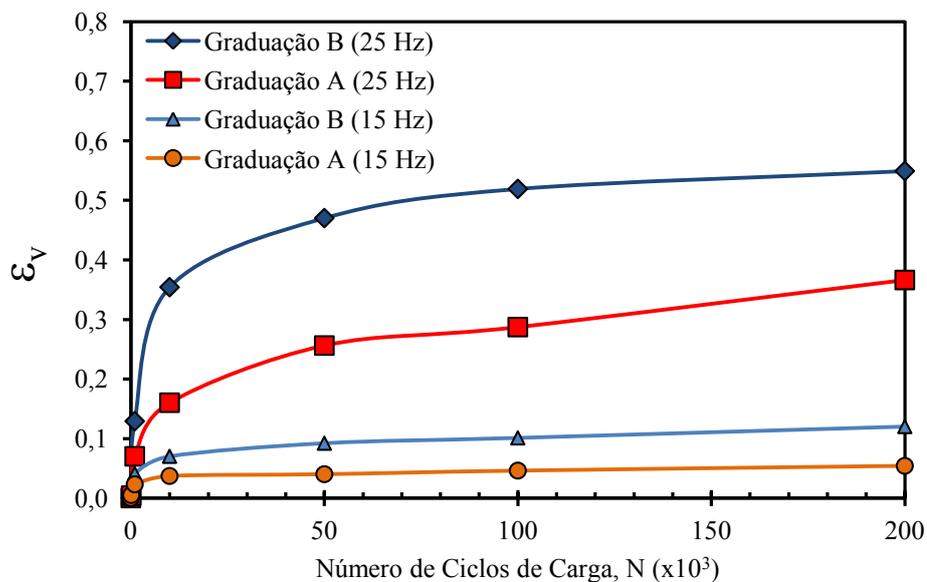


Figura 3.45. Comparação da deformação permanente vertical da camada do lastro para ambas as granulometrias e diferentes frequências de carregamento cíclico.

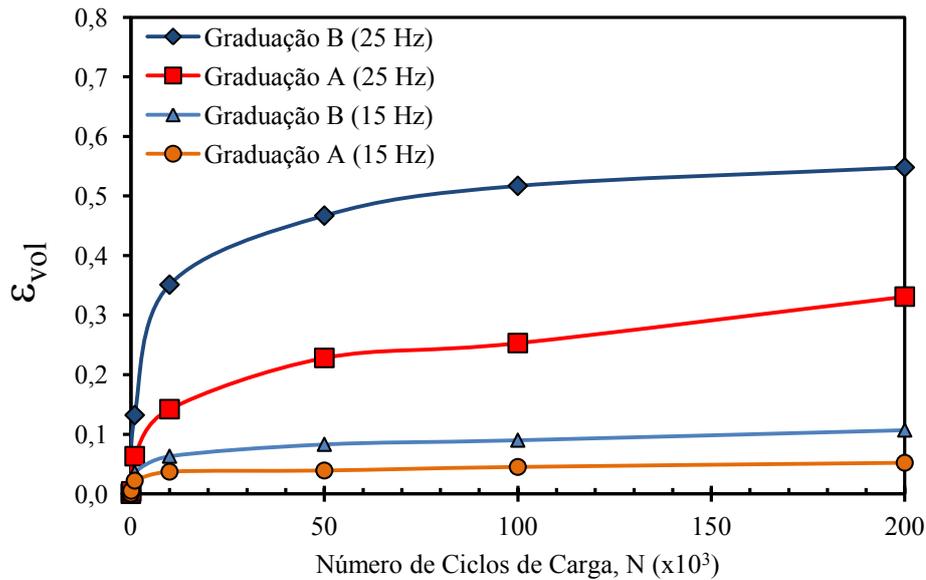


Figura 3.46. Comparação da deformação volumétrica da camada do lastro para ambas as granulometrias e diferentes frequências de carregamento cíclico.

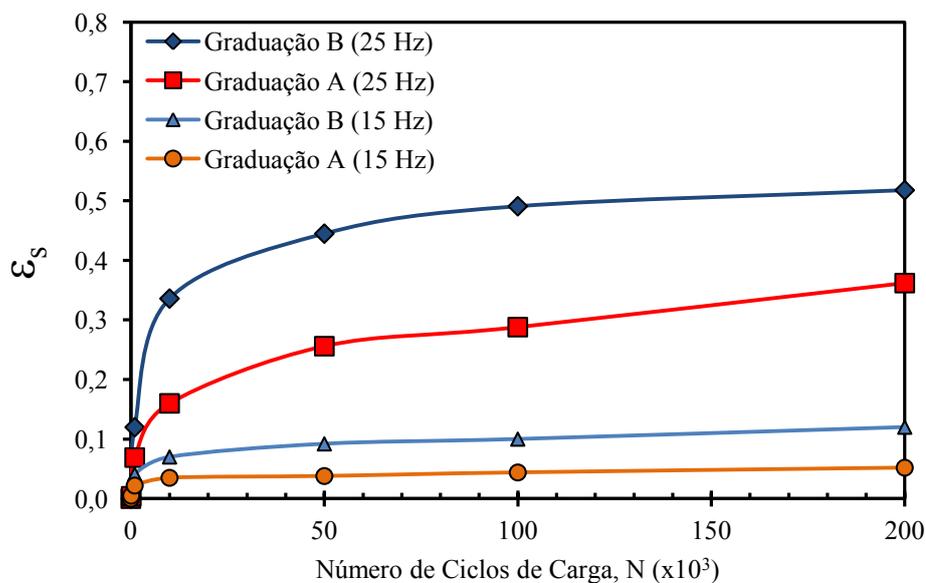


Figura 3.47. Comparação da deformação cisalhante da camada do lastro para ambas as granulometrias e diferentes frequências de carregamento cíclico.

3.6.3 Módulo resiliente

A Figura 3.46 mostra a evolução do Módulo Resiliente (M_R) com o número de ciclos de carga. Ambos os lastros apresentaram módulo resiliente entre 243 e 246 MPa. O Módulo Resiliente foi calculado dividindo a tensão máxima aplicada através do dormente pela deformação elástica medida através do atuador vertical num ciclo de carga determinado.

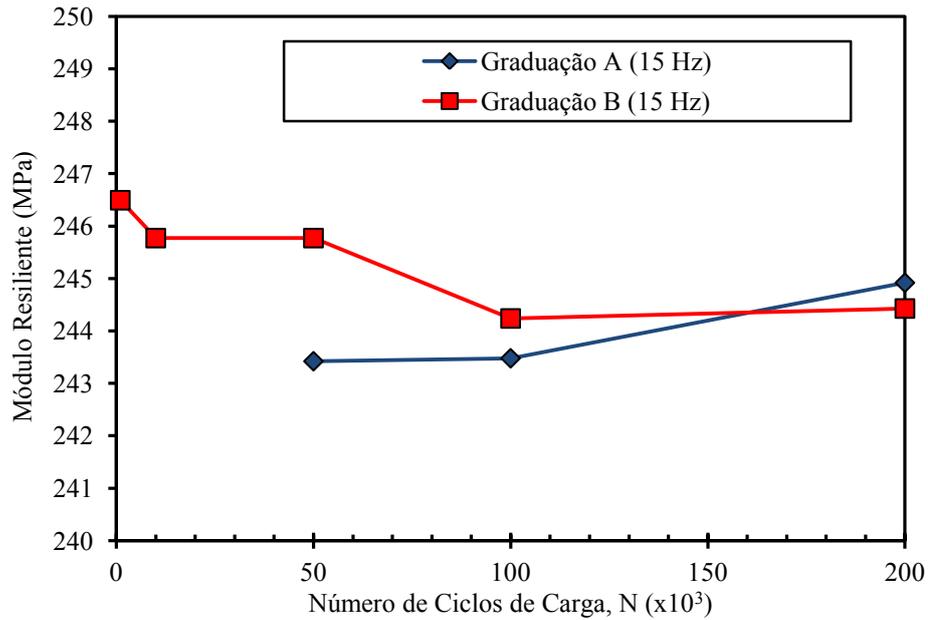


Figura 3.48. Variação do Módulo Resiliente com o número de ciclos de carga.

3.6.4

Quebra de partículas

Antes e após cada teste, ensaios de análise granulométrica foram realizados, para obter o índice de quebra B_g definido por Marsal (1967). O índice de quebra B_g é a soma de valores positivos de ΔW_k , expressos como porcentagem, ΔW_k sendo a diferença entre porcentagens retidas em cada peneira antes e após o ensaio triaxial.

A Figura 3.49 mostra a variação de ΔW_k com o tamanho das partículas para as duas amostras. Como indicado na Figura 3.49, o lastro de graduação A mostra a menor degradação.

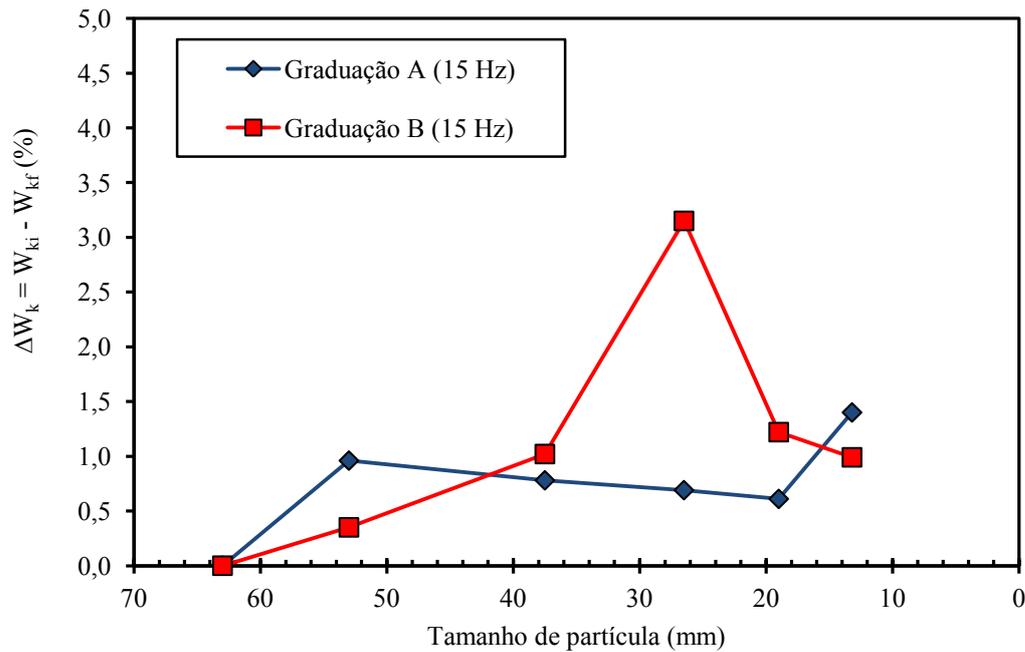


Figura 3.49. Comparação da mudança no tamanho de partícula do lastro para ambas as granulometrias sob carregamento cíclico.

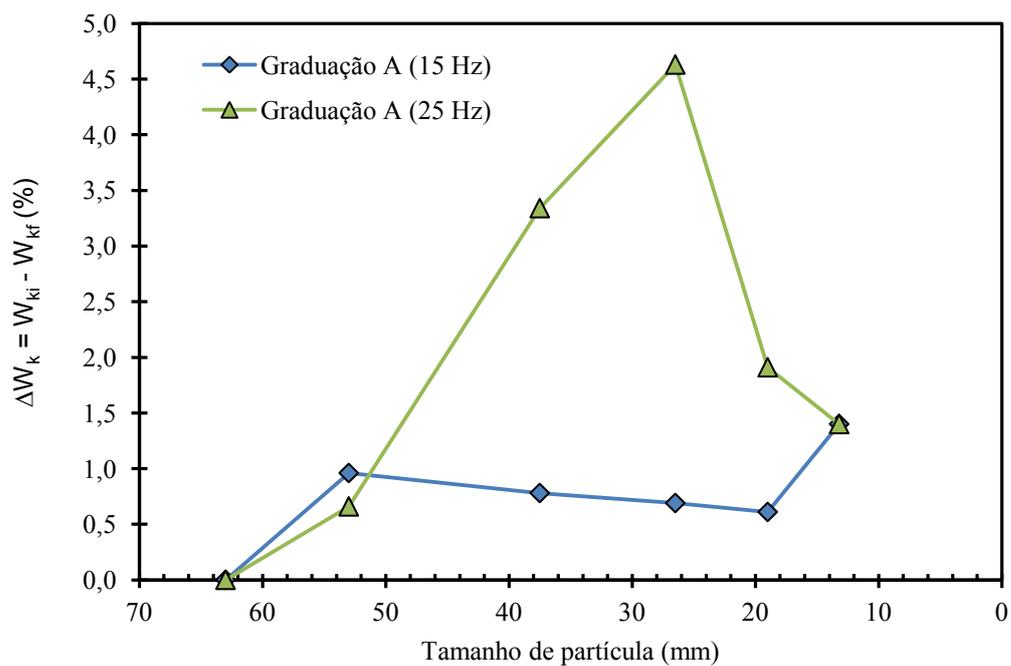


Figura 3.50. Comparação da mudança no tamanho de partícula do lastro para a granulometria A e diferentes frequências de carregamento cíclico.

Resultados de ensaios traxiais em lastro têm implicado que granulometrias iniciais mudam para menores tamanhos de partículas, com o tamanho máximo não afetado antes e após o carregamento, como apresentado na Figura 3.51. Um limite arbitrário de quebra máxima é controlado pela peneira de malha mais fina (2,36 neste caso) e significa um limite superior prático para quebra de

lastro, compreendendo desde d_{95} da máxima abertura de malha de peneira $d_{m\acute{a}x}$ até a menor abertura de malha $d_{m\acute{i}n}$. Baseado em observações em laboratório, o índice de quebra de lastro (BBI) tem sido introduzido e definido como segue (Indraratna et al, 2005):

$$\text{BBI} = C/(C + D) \quad (3.1)$$

Onde C é a área como definida previamente na Seção 2.3, e D é a quebra potencial ou a área entre o limite arbitrário de máxima quebra e a curva granulométrica final.

O Índice de quebra de lastro (BBI) para o lastro de granulometria A foi 0,054 e para o lastro de granulometria B foi 0,059.

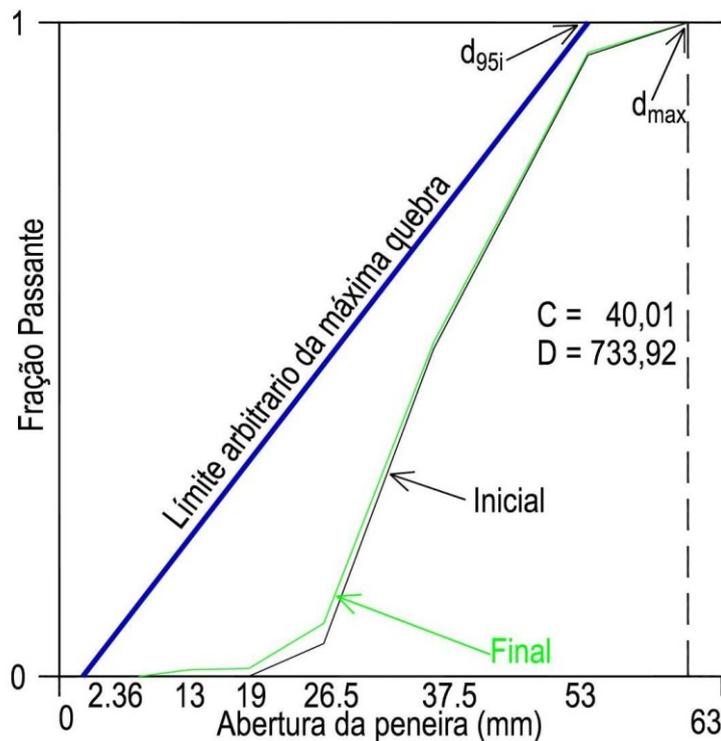


Figura 3.51. Avaliação do índice de quebra do lastro para a graduação A.

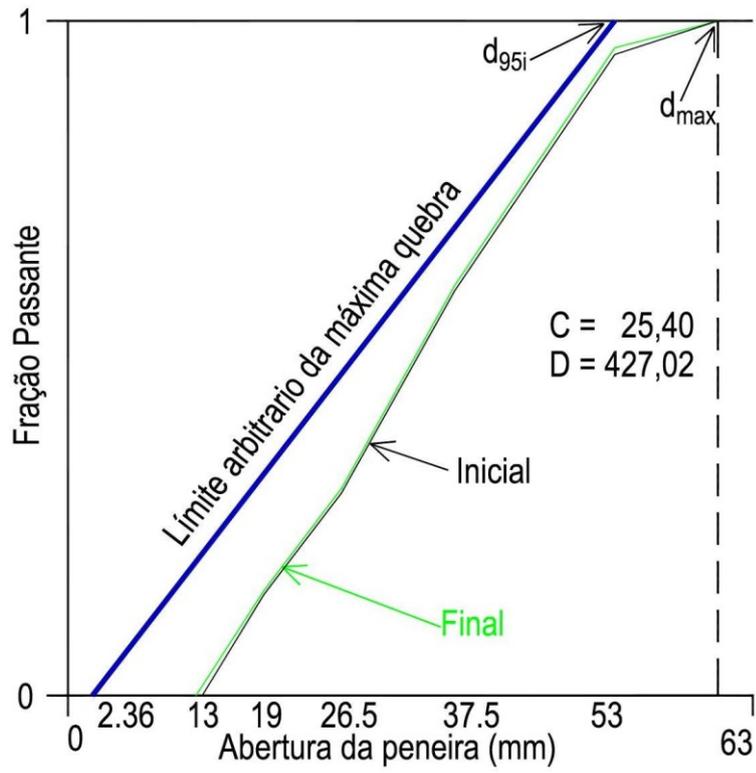


Figura 3.52. Avaliação do índice de quebra do lastro para a graduação B.