

3. Programa Experimental

3.1. Considerações iniciais

As etapas do programa experimental proposto são detalhadamente descritas neste capítulo, bem como a descrição dos equipamentos, materiais utilizados na pesquisa, métodos utilizados na preparação dos ensaios e detalhes de execução do ensaio. O programa experimental está baseado em três etapas: na primeira, foram realizados ensaios preliminares de caracterização, englobando ensaios de granulometria e índices de vazios máximos e mínimos, a seguir, realizaram-se testes para determinar o nível de calibração dos transdutores de deslocamento e, na terceira etapa, foram realizados ensaios de prova de placa de carga em solo e solo-fibra.

3.2. Fatores de influência

Existem muitos fatores que influenciam no comportamento carga-recalque dos materiais compósitos, sobretudo dos reforçados com fibras. Esses fatores podem relacionar-se com as características físicas da fibra – teor, comprimento, espessura, orientação, rugosidade, módulo de elasticidade – e à sua matriz – granulometria, índice de vazios, umidade, densidade relativa, etc.

Foi analisada a influência da fibra como reforço para diminuir os recalques e avaliar a possibilidade de otimizar a redução dos recalques colocando o reforço aleatoriamente ou em forma de manta.

Neste trabalho foram escolhidos valores padrão para o teor de umidade (10%), densidade relativa (50%), comprimento das fibras (50 mm) e o teor de fibras (0,5%), com a finalidade de comparar os resultados finais com pesquisas que utilizaram os mesmos valores, mas com a diferença de utilizar para o reforço da matriz, fibras de polipropileno.

3.3. Materiais utilizados

3.3.1. Areia

A areia, neste estudo, é proveniente do canteiro de Areal da divisa, Santa Cruz em Rio de Janeiro. Este material, então, caracteriza-se de acordo com o Sistema Unificado de Classificação como uma areia com gravas. Não foi observada a presença de matéria orgânica. Este material teve sua curva granulométrica e índices físicos determinados no Laboratório de Geotecnia da Pontifícia Universidade Católica de Rio de Janeiro, conforme apresentado na figura 3.1 e na tabela 3.1.

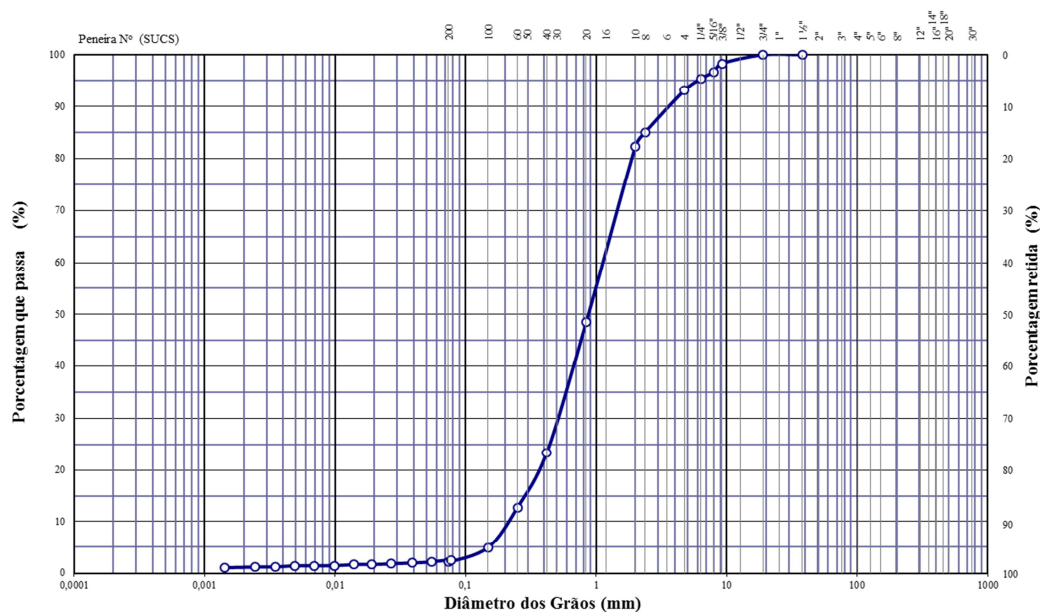


Figura 3.1 - Curva granulométrica da areia

Tabela 3.1 - Índices físicos da areia

Índices Físicos	Valor
Gravidade Específica dos Grãos	2,642
Coeficiente de não uniformidade CNU	5,08
Coeficiente de curvatura, Cc	1,01
Diâmetro efetivo, D10	0,2143
Diâmetro médio, D50	0,8916
Índice de vazios máximo	0,70
Índice de vazios mínimo	0,50

3.3.2. Fibras

As fibras de coco utilizadas nessa pesquisa são provenientes de uma parceria entre a Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB) e a Secretaria de Conservação e Serviços Públicos (SECONSERVA), que realizam a segregação, coleta e a entrega à ECOFIBRA, empresa responsável pelo beneficiamento da casca do coco verde, sendo os trabalhos monitorados pela Prefeitura do estado de Rio de Janeiro.

Para inserir a fibra como uma manta uniforme entre as camadas de areia, simplesmente foi necessário um desfiado manual da fibra procedente dos fardos originais. As fibras apresentaram diferentes comprimentos e foram colocadas sobre as camadas de análises definidas no ensaio (especificamente entre as camadas 8 até a camada 12).

Para inserir a fibras distribuídas aleatoriamente nas camadas de areia, foi necessário constituir um padrão de comprimento, portanto as fibras foram cortadas em um tamanho aproximado de 50 mm, esse comprimento padrão foi estabelecido com a finalidade de comparar os resultados finais com os resultados de outras pesquisas que utilizaram esse mesmo comprimento, mas utilizando fibras sintéticas e avaliar a influência do tipo de fibra.

Além disso, esse tamanho de fibra diminui o emaranhamento delas e promove uma melhor distribuição na matriz de areia para formar um compósito fibroso uniforme.

Na figura 3.2 apresenta-se como foi o corte e desfiado das fibras antes de serem colocadas na betoneira.



Figura 3.2 - Corte das fibras de coco

3.4. Equipamentos

3.4.1. Transdutores

3.4.1.1. Transdutores de deslocamento

A verificação dos transdutores de deslocamento do tipo Gefran com curso de 100 mm de serie NI9205, foi feita no Laboratório de Estruturas e Materiais (LEM) da Pontifícia Universidade de Rio de Janeiro (PUC-Rio) com a finalidade de ratificar a calibração dada pelo fabricante.

Para cada transdutor, foi concedido um número de identificação. Com esse número, asseguramos a colocação do transdutor na mesma posição para fazer as leituras em todos os ensaios.

Como as prova de carga em placa foram feitas para grandes deformações, em certos estágios de carregamento era preciso interromper o ensaio para acomodar os transdutores de deslocamento quando alcançava-se um deslocamento da mola do transdutor aproximadamente de 90 mm.

Os códigos dos transdutores utilizados no presente trabalho, assim como as posições que apresentaram em todos os ensaios, se mostram na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Código dos transdutores de deslocamento

Transdutor	Código	Posição no ensaio
1	133903377	15 ou 10 cm da borda da placa
2	133904121	5 cm da borda da placa
3	133904117	Acima da placa
4	133904119	Acima da placa
5	133904125	Acima da placa

Para a verificação da calibração, foi utilizado um equipamento de alta precisão: um Micrómetro digital marca Mitutoyo MIC HEAD, DIG, 2" / 50.8 mm da série 164-164, com uma precisão de 0.00005" / 0.001 mm.

Colocava-se a ponta do transdutor no extremo do micrometro e rodava-se uma manivela que deslocava a ponta do transdutor em uma distância determinada previamente pelo usuário. Foram realizadas leituras a cada 5 cm. Os resultados medidos são apresentados na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Resultados da Calibração

Deslocamento estimado (mm)	Medição dos transdutores de deslocamento (TD)				
	TD-1 (cm)	TD-2 (cm)	TD-3 (cm)	TD-4 (cm)	TD-5 (cm)
0	0.0000279	0.0000358	0.0003335	-0.000083	0.0000174
0	0.0000991	-0.0000249	0.0000607	-0.0000361	-0.0001178
0	-0.0000397	0	0.0000512	-0.0000889	-0.0001566
0	-0.0000548	0.0001077	0.0000981	-0.0000738	-0.0000158
0	0.0000203	-0.0000729	0.0001359	-0.0000505	-0.0001221
5	-0.4953266	-0.4932938	-0.4988642	-0.5001874	-0.5001944
5	-0.4953981	-0.4933476	-0.4988491	-0.5001362	-0.5001944
5	-0.4953528	-0.4934563	-0.4988557	-0.5001782	-0.5002692
5	-0.4952957	-0.4932213	-0.498818	-0.5001428	-0.5002623
5	-0.495318	-0.4932987	-0.4988557	-0.5001946	-0.5002994
10	-0.9868215	-0.9867332	-1.000173	-1.0021678	-0.9999079
10	-0.9867092	-0.9866623	-1.0002314	-1.0021475	-0.99988
10	-0.9867509	-0.9865747	-1.0001983	-1.0021209	-0.9999056
10	-0.9867223	-0.986638	-1.0001014	-1.0020395	-0.999881
10	-0.9868041	-0.9866351	-1.0001083	-1.0020592	-0.9999145
15	-1.4778706	-1.4801256	-1.5017621	-1.5035822	-1.5032677
15	-1.4778769	-1.4801135	-1.5017759	-1.50364	-1.5032722
15	-1.4779031	-1.4798909	-1.5017778	-1.5036433	-1.5031675
15	-1.4778723	-1.4799861	-1.5017765	-1.5035826	-1.5031931
15	-1.4779379	-1.4800075	-1.5018057	-1.5036597	-1.5032023
20	-1.9692931	-1.9754201	-2.0022203	-2.0044714	-2.0057824
20	-1.9692455	-1.9753955	-2.0022324	-2.0044638	-2.005827
20	-1.9691982	-1.9754257	-2.0022607	-2.0045859	-2.0059104
20	-1.9692061	-1.9753617	-2.0021661	-2.0045449	-2.0058234

Deslocamento estimado (mm)	Medição dos transdutores de deslocamento (TD)				
	TD-1 (cm)	TD-2 (cm)	TD-3 (cm)	TD-4 (cm)	TD-5 (cm)
20	-1.9692494	-1.9753351	-2.0022613	-2.0044986	-2.0058579
25	-2.4633066	-2.4735882	-2.503944	-2.5075598	-2.509533
25	-2.4631907	-2.4734966	-2.5039315	-2.5076018	-2.5095311
25	-2.4632669	-2.4736414	-2.5039315	-2.5075421	-2.5095376
25	-2.463258	-2.4736171	-2.5039171	-2.5076307	-2.5095245
25	-2.4632157	-2.4735514	-2.5039095	-2.5075326	-2.5095245
30	-2.9571855	-2.969627	-3.0070783	-3.00819	-3.0147521
30	-2.957241	-2.9696516	-3.0071367	-3.0081779	-3.0148099
30	-2.9572735	-2.9695965	-3.0070852	-3.0081575	-3.014846
30	-2.9571599	-2.969691	-3.007119	-3.0081621	-3.0147531
30	-2.9572095	-2.9695699	-3.0070274	-3.0081933	-3.0147052
35	-3.4544785	-3.4637461	-3.5112223	-3.5107298	-3.5198026
35	-3.4544099	-3.4637724	-3.5112682	-3.5107183	-3.5198055
35	-3.4544296	-3.46373	-3.5112193	-3.5107187	-3.519795
35	-3.4544391	-3.4638232	-3.5112603	-3.5107144	-3.5198393
35	-3.45436	-3.4637924	-3.5112351	-3.5107666	-3.5197796
40	-3.9454501	-3.9567204	-4.0153503	-4.0141669	-4.0253701
40	-3.9455502	-3.9566974	-4.0154107	-4.0141666	-4.0253278
40	-3.9454183	-3.9566685	-4.0154228	-4.0141813	-4.0253816
40	-3.9455118	-3.9566334	-4.0154337	-4.014162	-4.0253836
40	-3.945497	-3.9566036	-4.015456	-4.0141354	-4.0253708

Os valores das medições foram colocados em curvas das quais foram obtidos os valores de R quadrado, que é um número de 0 a 1 que, por sua vez, revela qual é o grau de correspondência dos valores estimados com os dados reais.

Uma linha de tendência é mais confiável quando seu valor R quadrado é ou fica perto de 1. Tal valor também é conhecido como coeficiente de determinação.

Apresentam-se as curvas de cada transdutor de deslocamento com seu correspondente valor de R quadrado nas figuras 3.3, 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7.

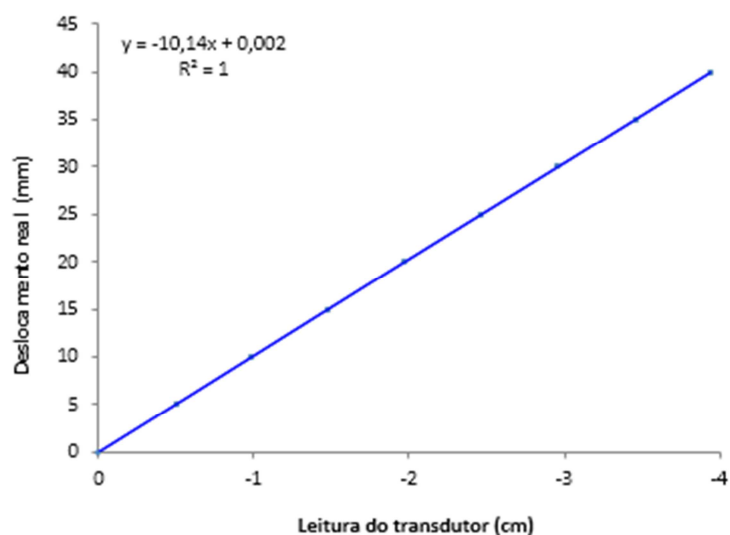


Figura 3.3 - Calibração do Transdutor de Deslocamento 1

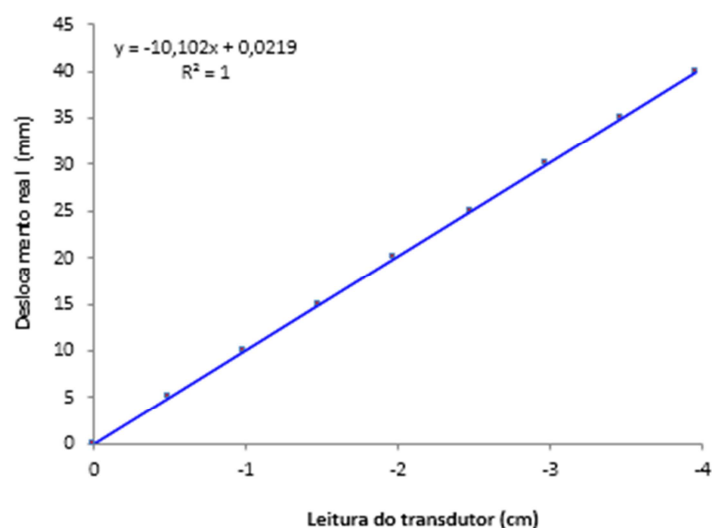


Figura 3.4 - Calibração do Transdutor de Deslocamento 2

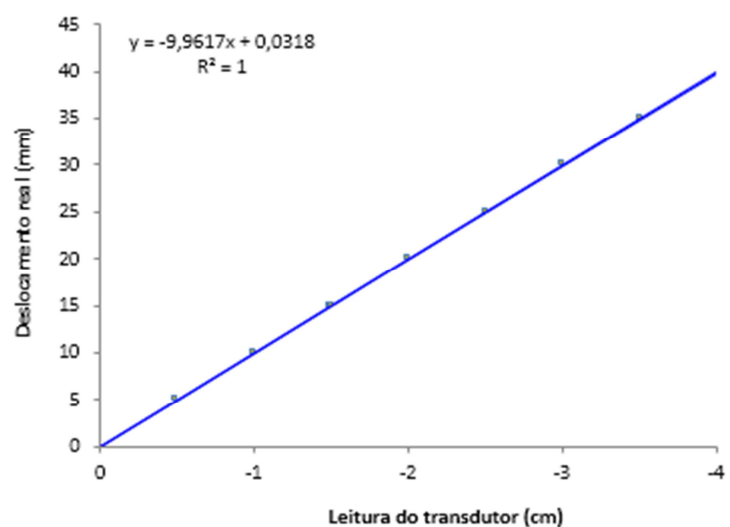


Figura 3.5 - Calibração do Transdutor de Deslocamento 3

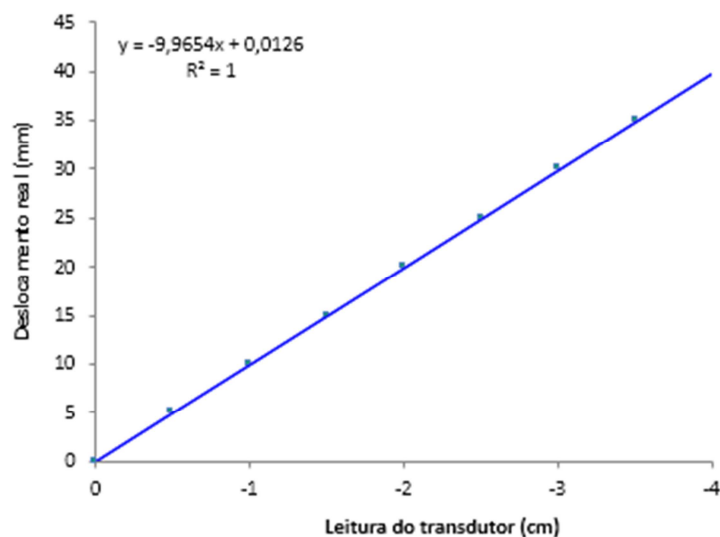


Figura 3.6 - Calibração do Transdutor de Deslocamento 4

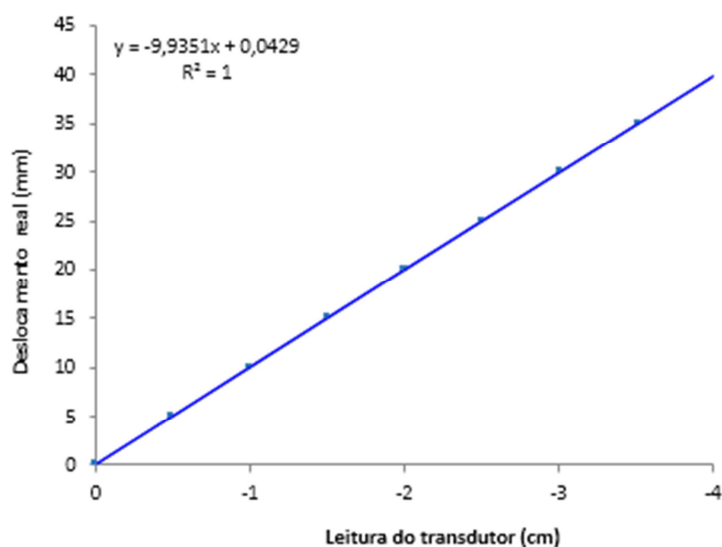


Figura 3.7 - Calibração do Transdutor de Deslocamento 5

3.4.1.2. Transdutor de carga

A verificação do transdutor de carga foi feita no Laboratório de Estruturas e Materiais (LEM) da Pontifícia Universidade de Rio de Janeiro (PUC-RIO), com a finalidade de ratificar a calibração dada pelo fabricante.

O transdutor de carga é da marca KYOWA com capacidade de 250 kN modelo NI9237. Isto foi calibrado com um sistema de aplicação de carga que utiliza uma prensa universal. Foram realizadas leituras com diferentes voltagens que eram convertidas a unidades de carga (kN), finalmente era produzida a curva de calibração.

3.4.2. Sistema de aquisição de dados

Os dados foram digitalizados através de um sistema de aquisição de dados da National modelo Cdaq 9174 onde foram monitoradas as cargas e os recalques.

O sistema possui um cartão de 4 canais para registrar os dados do transdutor de carga NI9237, e 16 canais de 0 – 10 volts utilizados para registrar as leituras dos transdutores de deslocamento de serie NI9205.

O laboratório de estruturas e matérias (LEM) utilizando a plataforma de software LABVIEW 2011 desenvolveu o programa LEM-PUC para registrar, armazenar e desenhar as curvas carga-recalque segundo as leituras feitas pelos transdutores de carga e deslocamento. Os outputs gerados pelo programa para cada ensaio, são apresentados no Anexo. Na figura 3.8 apresenta-se o sistema de aquisição de dados.

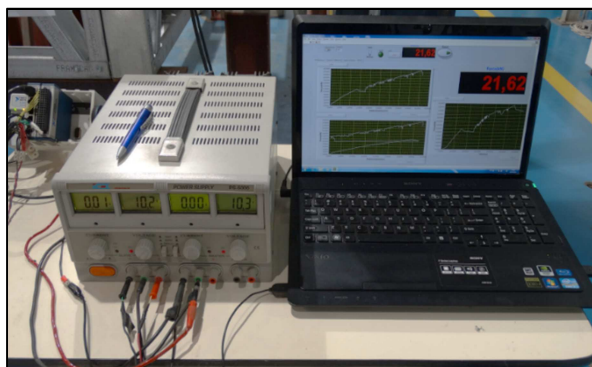


Figura 3.8 - Sistema de aquisição de dados

3.4.3. Caixa de ensaios

Para colocar as camadas de areia e areia/fibra, foi construída uma caixa de ensaios com painéis de madeira de alta densidade. As dimensões da caixa foram definidas segundo os critérios: (1) o bulbo de pressões gerado pelo ensaio de placa de carga é representativo das características do solo até dois diâmetros abaixo da placa (Terzaghi & Peck, 1967); (2) do ponto de vista prático para garantir a total independência da mistura ensaiada, a espessura das camadas tratadas deve ser pelo menos 3 vezes o diâmetro da placa utilizada (Casagrande, 2005). Portanto para garantir um meio contínuo sem interferência das paredes e do fundo foi estabelecida uma altura de 1,2 m por 1,4 m de seção quadrangular para a caixa de ensaios, além disso, como medida de reforço adicional, por uma possível

flambagem das paredes, foram colocadas vigas de aço do tipo C de 250 x 50 mm de espessura que forneceram maior rigidez ao painel durante o carregamento, como se apresenta na figura 3.9.

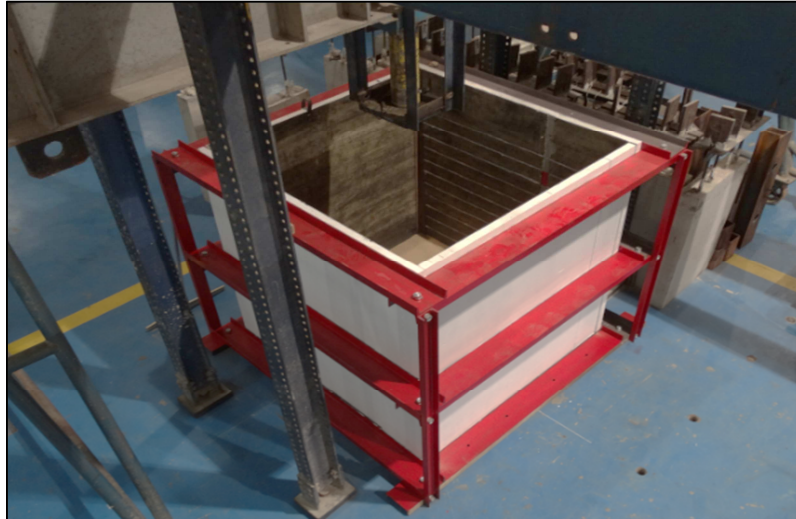


Figura 3.9 - Caixa de ensaios

Para se ter um controle visual da densidade relativa que se esperava alcançar, as paredes internas foram subdivididas em 12 camadas de 10 cm cada. Assim sendo, se a areia ficasse por cima desse nível de controle, precisar-se-ia de um tipo de compactação adicional para atingir a densidade requerida. Caso contrário, se a areia ficasse por baixo desse nível de controle, dir-se-ia que a compactação é maior do que a densidade relativa padrão de 50%, empregada na presente pesquisa. Uma representação da distribuição das camadas na caixa de ensaios é apresentada na figura 3.10.

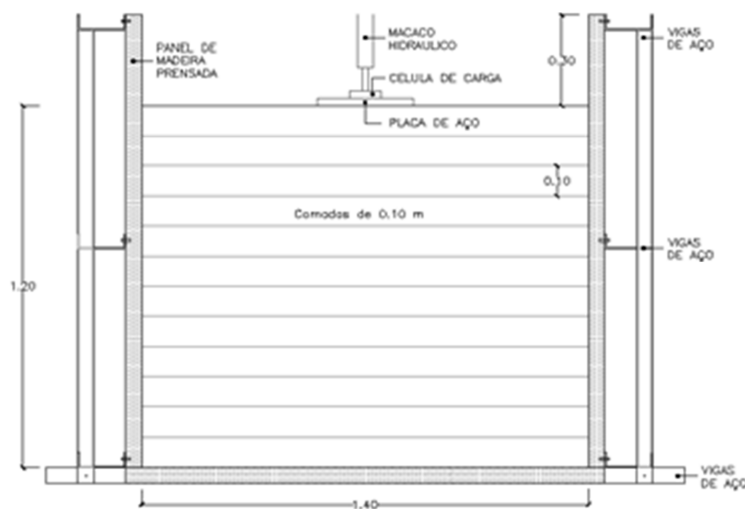


Figura 3.10 - Distribuição das camadas

A subdivisão foi feita para assegurar que, em cada camada de solo, houvesse a densidade relativa de 50%. Tal subdivisão também servirá como guia para saber em quais camadas colocar-se-á a areia colorida para uma melhor visualização das deformações, a posição das mantas de fibra e as camadas com a mistura areia/fibra.

3.4.4. Sistema de carregamento

Para realizar os ensaios de carga, utilizou-se uma placa rígida de aço de 30 cm de diâmetro e 2,54 cm de espessura. Três transdutores de deslocamento foram colocados acima da placa, para garantir que a placa estivesse nivelada durante o ensaio, e dois transdutores foram colocados, na areia, para medição dos recalques.

O sistema de reação e transmissão de carga utilizado foi composto por um pórtico, com carga de trabalho de até 1000 kN, desenvolvido pelo Laboratório de Estruturas e Materiais (LEM) da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, em que foram empregados perfis tipo I. O sistema de aplicação de carga deu-se por meio do emprego de um macaco hidráulico com 600 kN de carga máxima, juntamente a uma bomba manual.

Sobre a placa, foram colocadas diferentes blocos de aço até se chegar à base do macaco hidráulico. Uma rótula de aço também foi colocada no eixo de carregamento com a finalidade de indicar e equilibrar uma possível torção dos elementos de transmissão de carga colocados sobre a placa. A figura 3.11, a seguir, mostra a disposição dos elementos de transmissão de carga.



Figura 3.11 - Sistema de carregamento

O sistema de medição de carregamento foi composto por um transdutor de força com capacidade de 250 kN. O recalque da placa foi monitorado pelo uso dos transdutores de deslocamento.

3.5.

Ensaio de Placa de carga em verdadeira grandeza

Foi acordado desenvolver a presente pesquisa fazendo uso do ensaio de placa de carga em verdadeira grandeza no laboratório, devido às restrições decorrentes de se fazer um ensaio de placa em campo, tais como, o custo de montagem e as condições meteorológicas. O local do estudo foi o Laboratório de Estruturas e Materiais (LEM) da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio).

As provas de carga em placa assentes sobre camadas de solos reforçados procuram contribuir para o conhecimento do uso de fibras de coco distribuídas na matriz de areia, verificando o comportamento carga-recalque e sua consequente distribuição de tensões.

Para medir os recalques da placa e da areia ao redor da placa foram colocados transdutores de deslocamento, a posição deles responde a diferentes razões.

Os transdutores 1 e 2 estão posicionados fora da placa: no caso do transdutor 1, a uma distância variável de 10 a 15 cm que dependerá se nessa distancia da placa a areia apresenta deslocamento e, no caso do transdutor 2, a 5 cm. Ambos transdutores têm a finalidade de descrever o comportamento da areia durante o carregamento ao redor da placa, o que auxiliará na comparação dos mecanismos de ruptura da areia para os diferentes ensaios.

Os transdutores 3, 4 e 5, que ficam sobre a placa de aço, tem a finalidade de registrar o maior recalque da areia, segundo o carregamento decorrente, mesmo que tenha que se confirmar o alinhamento horizontal da placa de aço à medida que a carga vai-se incrementando. Os transdutores sobre a placa estão distribuídos num ângulo de 120°.

A figura 3.12 mostra a posição dos transdutores de deslocamento (em metros), segundo os códigos descritos na tabela 3.2, posição que for mantida para todos os ensaios.

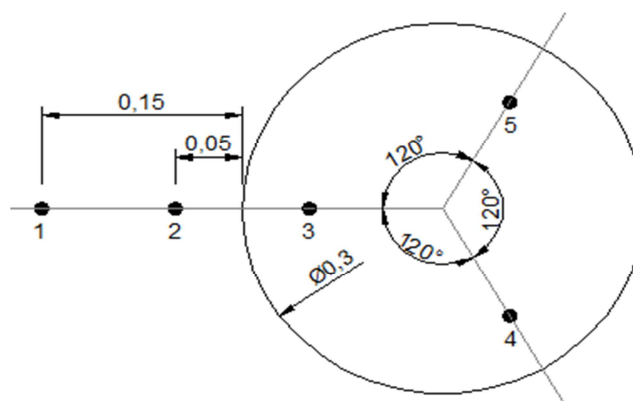


Figura 3.12 - Distribuição dos transdutores de deslocamento

Para fins comparativos entre cada ensaio, tendo como variável somente o material utilizado e para conservar um mesmo padrão de densidade, determinou-se utilizar uma densidade relativa de 50% para todos os ensaios com a finalidade de comparar com outras pesquisas que utilizaram essa mesma densidade. A tabela 3.4 apresenta as variáveis investigadas nestes ensaios:

Tabela 3.4 - Relação de Ensaios

Material	Ensaio	Teor de umidade (%)	Densidade Relativa (%)	Teor de Fibras (%)	Distribuição das fibras
Areia	1	0	50	0	-
	2	10	50	0	-
Areia / fibra	3	10	50	0,5	Manta
	4	10	50	0,5	Aleatória