

SOLO RESIDUAL ARGILOSO LATERÍTICO MELHORADO POR COLUNAS DE COMPACTAÇÃO PREENCHIDAS COM MATERIAL GRANULAR

Thalia Klein da Silva

Acadêmica do curso de Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ)

thalia_klein@hotmail.com

Alexia Cindy Wagner

Egressa do curso de Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ)

alexia-wagner@hotmail.com

Fernanda Maria Jaskulski

Acadêmico do curso de Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ)

fernandaj18@hotmail.com

Larissa Fernandes Sasso

Egressa do curso de Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ)

larisasso08@hotmail.com

Carlos Alberto Simões Pires Wayhs

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Civil. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ)

engcaw@gmail.com

Resumo. O melhoramento de solos constitui uma técnica aplicada em benefício à capacidade de carga e redução de recalque, promovendo a viabilidade de fundações superficiais. A presente pesquisa propõe executar e analisar o melhoramento do solo argiloso laterítico através de seis colunas, de 1,20m de profundidade e 25cm diâmetro, preenchidas por material granular compactados pela energia normal. Realizou-se ensaios com placa de 30cm de diâmetro sobre uma coluna contendo resíduo da construção civil (RCC), outra contendo brita, entre quatro colunas de brita e sobre o solo natural. Das curvas carga-recalque obtidas, pode-se observar que o ensaio entre colunas promoveu acréscimo de 46,16% na tensão admissível, quando comparado ao solo natural, a coluna de brita apresentou 41,41% de melhora e, a de RCC, deteve somente

4,86% de aumento. Ainda, foi constatado que o solo entre colunas com brita obteve os menores recalques enquanto as maiores deformações foram observadas na coluna de RCC.

Palavras-chave: Fundações superficiais. Melhoramento de solos. Colunas de compactação.

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais entraves na execução de obras de construção civil, na atualidade, se refere ao uso dos solos para suporte às cargas estruturais provenientes de uma edificação. Tal problemática ocorre devido a atual indisponibilidade de áreas construtivas que apresentem terrenos que satisfazem as condições necessárias para execução de

fundações econômicas (CASAGRANDE, 2001). Conforme Velloso e Lopes (1998, apud LUNKES, 2016) as fundações superficiais, elementos mais simples e econômicos, devem ser utilizados sempre que possível, recebendo tal nomenclatura por serem apoiadas ao solo em uma profundidade pequena em relação a sua volta (TEIXEIRA; GODOY, 2016).

Conforme Arévalos Burró (2015), quando os solos não satisfazem parâmetros mínimos de resistência, permeabilidade e deformabilidade, necessários ao projeto objetivado, deve-se recorrer a remoção e substituição destes, ou, a utilização de fundações profundas. Para Velloso e Lopes (1998, apud LUNKES, 2016) devem ser utilizadas somente quando for estritamente necessário, já que exigem altos investimentos, dificuldade de execução e mão de obra especializada. Nesse contexto surge as técnicas de melhoramento de solos, alternativa essa, que promove a melhoria de propriedades físicas dos solos transformando-os em novos materiais geotécnicos, capazes de resistir às solicitações a eles condicionadas (THOMÉ, 1999).

Para Casagrande (2001), os métodos de reforço e melhoria de solos resumem-se na utilização de mecanismos físicos e/ou químicos que objetivam a melhoria das características mecânicas por intermédio do acréscimo da resistência ao solo e redução dos níveis de compressibilidade e permeabilidade destes. Da mesma forma, Soares (2005) complementa que em tal metodologia, a fim de promover o benefício do solo, ocorre a incorporação de materiais como areia, cimento e brita, ou mistura desses, nos terrenos de baixa resistência, por meio de altas energias de compactação, o que promove a densificação do solo existente assim como o aumento de sua resistência e redução de sua compressibilidade, tornando-o viável a

aplicação de fundações superficiais antes impossibilitadas por solos frágeis.

A partir do enunciado, reforça-se o benefício proporcionado pelo uso de técnicas de melhoramento do solo onde, segundo Freitas (2006), tal metodologia realizada por meio de colunas de compactação, é largamente utilizada. No entanto, conforme Soares (2002), existem poucos estudos divulgados sobre o comportamento de solos melhorados por colunas de compactação. Nesse cenário, devido à escassez de bases bibliográficas que indiquem a boa prática e prováveis resultados atingidos pelo método, percebe-se a importância da orientação de pesquisas práticas que comprovem sua real eficiência. No Brasil, segundo Passos (2005), a prática mais conveniente para a correta investigação do solo melhorado ocorre por meio de ensaios SPT (*Standard Penetration Test*) associados a provas de carga sobre placa.

Nesse contexto, o presente trabalho pretende relatar a pesquisa que objetivou analisar de forma comparativa a capacidade de carga e recalque do solo da cidade de Ijuí, típico da região noroeste do estado, no seu estado natural e reforçado com colunas preenchidas e compactadas com material granular, a partir da execução de provas de carga visando a sua utilização em fundações superficiais e objetivando aliar tecnologia e segurança às construções de edificações na região.

O referente trabalho faz parte do projeto de pesquisa institucional denominado “Estudo da Capacidade de Carga e Recalque de Solos Residuais do Noroeste do Rio Grande de Sul”, vinculado ao Grupo de Pesquisa em Novos Materiais e Tecnologias para a Construção, que tem como intuito avaliar a capacidade de carga e recalque dos solos da região noroeste do Rio Grande do Sul. Ressalta-se que esta pesquisa foi tema de trabalho de conclusão de curso da segunda autora, podendo ser obtido maiores detalhes em Wagner (2018).

2. METODOLOGIA

2.1 Localização

O local escolhido para realização do estudo foi na cidade de Ijuí – Rio Grande do Sul, mais especificamente no Campus da UNIJUÍ, onde a área de ensaios, destacada no quadrilátero tracejado, localiza-se ao lado do Hospital Veterinário, nas proximidades do Laboratório de Engenharia Civil (LEC), conforme pode ser conferido pela Fig. 1. O solo do local foi amplamente investigado pelos projetos de pesquisa da geotecnia do grupo de pesquisa citado no final da Introdução, portanto, nesse terreno já foram realizados diversos ensaios para o estudo do comportamento e características do solo.



Figura 1. Local de estudo

Ao todo foram realizadas seis colunas de compactação, com profundidade de 1,20 m e 25 cm de diâmetro. Destas, cinco foram preenchidas com brita 1 e uma recebeu RCC. Das colunas contendo brita 1, quatro foram posicionadas em malha quadrada com espaçamento entre eixos de 75 cm, enquanto uma quinta foi afastada a 1,50 m objetivando sua análise individual. Afastada desta a 2,25 m, posicionou-se a coluna de RCC. A disposição final está demonstrada no croqui do sítio dos ensaios da Fig. 2.

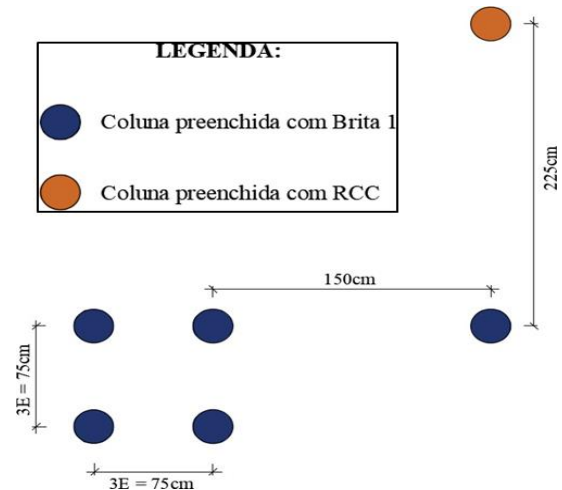


Figura 2. Sítio de ensaios

Para o afastamento da malha quadrada foi considerada as orientações de Gusmão (2005) e Soares (2000), que propõem um espaçamento de três vezes o diâmetro na execução de estacas granulares em solos arenosos. Uma vez que tais solos possuem características distintas ao utilizado no presente trabalho, solo argiloso laterítico, e nunca antes foi realizada uma pesquisa de melhoria de solo, as medidas de espaçamento adotadas podem ser caracterizadas como empíricas.

2.2 Materiais utilizados

Além do solo pertencente ao local de realização da presente pesquisa utilizou-se, como preenchimento das colunas de compactação, brita 1 e RCC (resíduo da construção civil). O solo avaliado, conforme Bernardi (2013), detém 94,81% de material passante na peneira nº 200 (0,075 mm), 65% e 39% para o limite de liquidez e plasticidade respectivamente e 26% para o índice de plasticidade, sendo classificado pela AASHTO como A-7-5 com IG (índice de grupo) igual a 18, pela SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) como MH e, pela metodologia MCT (Miniatura Compactada Tropical), como um solo argiloso laterítico.

Detendo sua forma em pedrisco o RCC era constituído por uma mistura de diferentes materiais, sendo os cerâmicos predominantes no conjunto; tal material é fornecido pela empresa recicladora de resíduos da construção civil Resicon de Santa Rosa. Por sua vez, a brita 1 utilizada foi fornecida pela Pedreira Paim, localizada em Coronel Barros, distante 18 km de Ijuí. Na Fig. 3 apresentam-se as curvas granulométricas

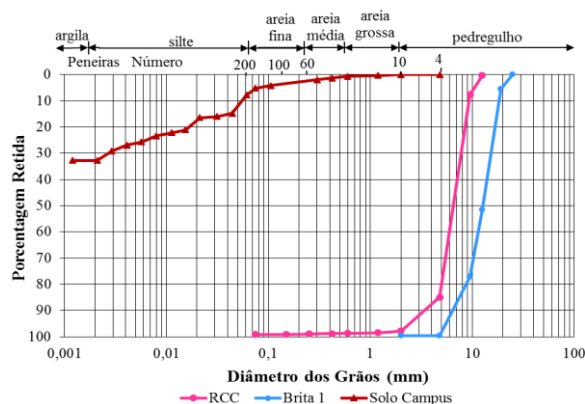


Figura 3. Granulometria dos materiais

Em relação a granulometria, ambos os materiais de preenchimento são bastante uniformes, onde o RCC possui a maioria de suas partículas na faixa de 1 a 10 mm assim como pequenas parcelas de areia inferiores a 1 mm, enquanto a brita 1 apresenta partículas um pouco maiores, no intervalo de 4 a 20 mm. A Fig. 4 permite a análise visual dos materiais abordados.



Figura 4. Solo, brita 1 e RCC

2.3 Execução das colunas de compactação

Ao ser colocada a placa de ensaio sob a coluna, esta atua de certa forma como fundação superficial, portanto, para definição da profundidade necessária às colunas foi considerado o bulbo de tensões gerados pela placa no solo. Assim, considerou-se uma esfera de diâmetro de duas vezes a menor dimensão da fundação (2B), conforme orientado por Teixeira e Godoy (2016), que considera que 90% das tensões serão distribuídas numa profundidade de 60 cm, uma vez que a placa utilizada possui 30 cm de diâmetro. Logo, prezando pela segurança do método, optou-se por realizar colunas com 4B de profundidade (1,20 m), contemplando assim toda a carga aplicada através da placa.

A compactação das colunas foi realizada na energia normal, onde para o cálculo da energia considerou-se o peso do soquete metálico utilizado e o volume da coluna com as dimensões já informadas. Combinou-se outros critérios de maneira a facilitar a execução e atender a energia necessária, chegando a altura de queda do soquete de 1 m e cinco camadas compactadas com 28 golpes cada, com um soquete de 25,61 kg.

A perfuração das colunas foi realizada e forma manual, por meio do uso de um trado de 25 cm de diâmetro acoplado a um motor elétrico e sustentado através de hastes. Posicionado sobre os eixos das estacas, o equipamento era inserido ao solo por rotação em intervalos para retirada de material até atingir a profundidade de 1,20m.

Após o término da escavação iniciou-se a fase de preenchimento e compactação. O fuste era preenchido pelo material granular até atingir a cota necessária para cada camada onde posteriormente recebiam a compactação realizada em 28 golpes de forma manual.

A quantidade de material adicionado no interior do fuste era controlada por meio do uso de uma trena metálica, onde as médias

eram efetivadas antes e após a compactação. Notou-se um padrão nas medidas efetuadas pela trena, onde em geral a primeira camada apresentava uma acomodação de 10cm, devido solo recentemente escavado, enquanto as demais acomodavam-se apenas 5 cm após a aplicação dos golpes. A Fig. 5 demonstra a sequência executiva utilizada nas seis estacas, sendo elas: perfuração do terreno; remoção do solo do fuste; e preenchimento e compactação manual realizados a cada nova camada.



Figura 4. Execução das colunas

2.4 Ensaio de Placa

A prova de carga em placa consiste em um ensaio de compressão executado sobre a

superfície nivelada de um terreno, onde pelo emprego de placas metálicas, ocorre a aplicação de diferentes carregamentos (MENEGOTTO, 2004). Esse tipo de ensaio demanda sistema de reação, sistema de transmissão de cargas e sistema de leitura.

Na pesquisa utilizou-se de uma escavadeira hidráulica de 22 t como sistema de reação. O sistema de transmissão de cargas utilizado, verificado na Fig. 5, contém um macaco hidráulico com capacidade de 25 t (a), uma bomba hidráulica com capacidade máxima de 70.000 kN/m² (b), uma placa metálica de 30 cm de diâmetro (c) e discos espaçadores metálicos para compensar a diferença de nível entre a placa e o macaco hidráulico (d). O sistema de leitura, também visualizado na Fig. 5, é formado por três relógios defletômetros com precisão de 0,01 mm e leitura máxima de 30 mm (e) distribuídos sobre a placa em ângulos de 120° entre si, sendo suspensos por hastes metálicas (f) fixadas em uma régua de alumínio de três metros de comprimento (g) nivelada e firmemente apoiada ao solo.



Figura 5. Equipamentos do ensaio de placa

A execução dos ensaios de placa seguiu os critérios exigidos pela NBR 6489 (ABNT, 1984), onde a aplicação da carga ocorreu em estágios seguindo intervalos com tempo sucessivamente dobrados (1, 2, 4, 8, 15 minutos, etc.), e o acréscimo de carga a cada aplicação de 20% da provável taxa admissível.

Em cada estágio ocorreu a leitura dos recalques imediatamente após a aplicação da nova carga. O acréscimo de carga era realizado considerando a estabilização dos recalques com o passar dos intervalos, observando a tolerância máxima de 5% entre as leituras sucessivas. O fim do ensaio ocorre quando o solo apresentar um recalque de 25 mm, ou quando atingir o dobro da taxa admitida. Nos ensaios efetuados na pesquisa, o seu fim deu-se pelo esgotamento das leituras nos relógios defletômetros. Após o final do ensaio procedeu-se o descarregamento, a fim de verificar o retorno elástico do solo em cada situação, adotando iguais critérios de leitura anteriormente descritos.

Ao total foram executadas quatro provas de carga, sendo uma disposta entre a malha quadrada de colunas de brita, uma sobre a coluna de brita isolada, uma na coluna de RCC e uma no solo natural.

3. RESULTADOS

A Tabela 1 apresentam as abreviações utilizadas para identificar cada ensaio realizado, facilitando as análises posteriores.

Tabela 1. Identificação das provas de carga

Legenda	Local da prova de carga
ECB1	Entre as colunas de brita 1
SCB1	Sobre coluna de brita 1
SCRCC	Sobre coluna de RCC
SN	Sobre solo natural

3.1 Metodologias de cálculo

Os métodos utilizados na presente pesquisa referem-se a metodologia de Alonso (2012) e Cudmani (1994). O método de Cudmani (1994) considera para a tensão admissível o valor de tensão correspondente ao recalque obtido da divisão do diâmetro da placa em milímetros por 30, dividida pelo fator de segurança. Já o método de Alonso

(2012) adota para a tensão admissível o menor de três valores: tensão de ruptura dividida pelo fator de segurança; tensão correspondente ao recalque de 25 mm dividido pelo fator de segurança e tensão correspondente ao recalque de 10 mm. Em ambas metodologias o fator de segurança considerado é igual a dois, conforme indicado para fundações superficiais pela NBR 6122 (ABNT, 2010).

3.2 Ensaios de Placa

A partir dos recalques médios expressos em mm lidos nos diferentes estágios de carregamento e das tensões correspondentes expressas em kPa, elaborou-se graficamente a curva carga-recalque de cada um dos ensaios de placa realizados. A Fig. 6 apresentam as três curvas obtidas pelos ensaios executados sobre as condições de melhoramento juntamente com a curva do ensaio realizado em solo natural.

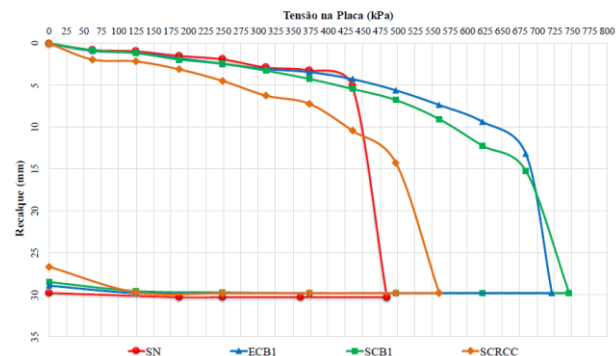


Figura 6. Curva carga-recalque

3.2 Tensão Admissível

Em definição dada pela NBR 6122/2010, tensão admissível corresponde a um valor máximo de tensão aplicada ao terreno de forma que atenda as limitações de recalque ou deformação exigidas pela estrutura. Os valores de tensão admissível obtidos através dos ensaios de placa podem ser admitidos como reais, uma vez que a prova de carga sobre

placa pode ser entendida como um ensaio que representa um modelo reduzido de uma sapata, simulando o comportamento do sistema solo fundação no terreno (TEXEIRA; GODOY, 2016). A partir das curvas carga x recalque obtidas nos ensaios realizados sobre os locais que receberam o melhoramento é possível analisar de forma quantitativa os efeitos de acréscimo de resistência desse ao terreno, a partir aplicação dos métodos de Alonso (2012) e Cudmani (1994). A Fig. 7 apresentam os valores de tensão admissível real encontradas para cada local ensaiado, considerando a média das tensões obtidas pelas diferentes metodologias consideradas, já mencionadas anteriormente.

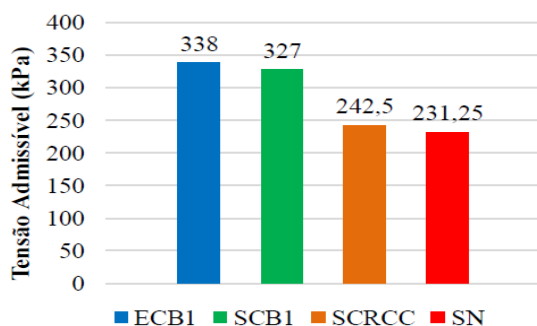


Figura 7. Tensões admissíveis encontradas

Em análise dos resultados encontrados pode-se constatar que todos os casos de melhoramento de solo apresentaram tensão admissível superior à apresentada pelo solo natural (231,25 kPa). Percebe-se também, que as fundações posicionadas sobre o solo localizado entre colunas distribuídas em malha e preenchidas com brita 1 apresentou melhor desempenho, uma vez que em nesse caso de estudo tal configuração proporcionou um acréscimo de 46,16% (338 kPa) para a capacidade de carga do terreno. As fundações diretamente apoiadas em estacas, por sua vez, geram um acréscimo de 41,41 % (327 kPa) de resistência com coluna preenchida por brita 1, e um aumento de 4,86% (242,5 kPa) para o assentamento sobre coluna preenchida com RCC em comparação ao solo natural.

3.3 Recalques

Os recalques, assim como a tensão admissível, são condicionantes diretos no projeto de fundações, uma vez que se objetiva, pelo melhoramento de solos, o ganho de resistência juntamente com a redução dos recalques no terreno beneficiado, o que possibilita a construção de edificações em locais antes inviáveis. A partir do gráfico apresentado pela Fig. 6 é possível determinar os recalques para os quatro ensaios de carga realizados. Tais valores estão apresentados na Fig. 8, juntamente com os já anunciados valores da tensão admissível.

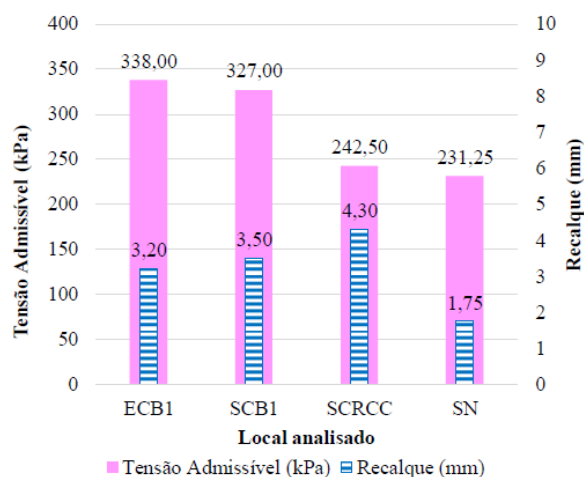


Figura 8. Recalques encontrados

Verifica-se a partir da Fig. 8, que dentre as alternativas de melhoramento a coluna de RCC apresenta a menor tensão admissível e o maior valor de recalque, sendo, portanto, a opção menos recomendada para uso em melhoramento de solo. O ensaio realizado no solo entre as colunas de brita demonstrou além do maior valor de tensão admissível, o menor valor de recalque, duas características entre os métodos propostos apresentando, portanto, os resultados desejáveis em um processo de melhoria. Em relação ao terceiro ensaio, que propõem uma fundação apoiada sobre a coluna de brita

isolada visualiza-se, também, resultados satisfatórios, onde a tensão admissível encontrada foi somente um pouco inferior e o recalque um pouco superior aos obtidos entre colunas. É destacado ainda que o solo natural apresentou a menor tensão admissível entre os ensaios e menor valor de recalque correspondente.

Outra análise válida é referente ao aumento da deformação ocorrida no terreno devido ao acréscimo de tensão. A partir dos valores de recalques retirados dos gráficos da Fig. 6, tais dados foram dispostos de forma gráfica e são apresentados através da Fig. 9.

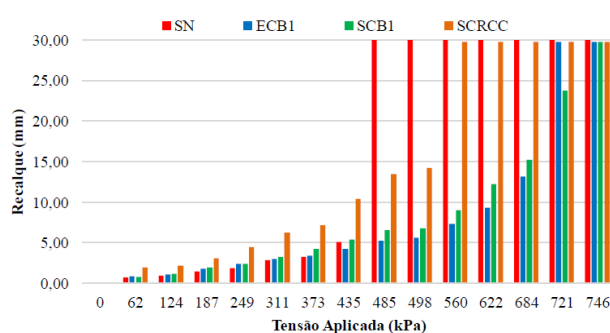


Figura 9. Recalques x tensão aplicada

No gráfico da Fig. 9, dos recalques versus tensão aplicada, pode ser observado que o solo natural apresenta menores dimensões quando solicitados por carregamentos menores, porém os recalques elevam-se rapidamente conforme o acréscimo de carga. Observando-se os resultados dos solos melhorados com brita percebe-se que o aumento dos recalques se apresenta mais suave em altos carregamentos, possuindo assim aumento menos acentuado nos níveis da tensão de ruptura.

Os valores de recalque para o solo entre colunas de compactação permanecem um pouco menores em cada fase, apenas superando os valores da coluna de brita no momento da ruptura, que ocorre um pouco antes da ruptura sobre a coluna. E por fim, em relação ao RCC pode-se caracterizá-lo como um material deformável uma vez que

apresentam os maiores recalques para todos os níveis de carregamento.

Objetivando-se a avaliação do comportamento do solo no momento de descarregamento, foram agrupados na Tabela 2 os dados correspondentes ao recalque total e ao recalque final após a remoção da carga sobre a placa em cada ensaio. Assim, em análise percebe-se que o solo natural foi o que menos apresentou retorno (1,61% do recalque total), enquanto a coluna de RCC apresentou 10,53% de retorno em relação ao seu recalque total.

Tabela 2. Deformação ocorridas nos ensaios

Local	SN	ECB1	SCB1	SCRCC
Deformação após carregamento (mm)	30,30	29,80	29,81	29,82
Deformação após descarregamento (mm)	29,82	28,91	28,49	26,68
Retorno (mm)	0,49	0,89	1,32	3,14
Retorno (%)	1,61	2,98	4,42	10,53

Isto posto, observa-se que o retorno elástico ocorre de forma proporcional ao recalque visualizado durante o carregamento pois a coluna com RCC apresentou os maiores níveis de deformação e obteve o maior retorno, na medida que o solo natural apresentou menores níveis de recalque iniciais e menor retorno. É visualizado ainda para que os melhoramentos realizados com o uso de brita 1, que o ensaio disposto sob a coluna de brita apresentou retorno maior que o efetuado sobre o solo localizando entre colunas, informado assim, que os ensaios sobre colunas preenchidas com material granular apresentaram retorno elástico maior que ensaios realizados diretamente sobre o solo.

CONCLUSÕES

Com os resultados alcançados fica claro a contribuição do melhoramento para o ganho de resistência ao solo com características semelhantes ao estudado o que permite a adoção de fundações diretas em terrenos em que sua prática era antes inviável. Entre os

modelos de reforço propostos, a aplicação de carga entre uma malha de colunas preenchidas por brita 1 apresentou melhores resultados, com 46% de acréscimo na capacidade de carga ao terreno, indicando que as tais colunas contribuem para a densificação do solo no seu entorno. Ainda se percebe que, embora o ensaio sobre a coluna de brita 1 tenha apresentado tensão de ruptura ligeiramente superior ao efetuado entre estacas, este último deteve tensão admissível superior e recalques inferiores.

Através da pesquisa verifica-se que o tipo de material utilizado para preenchimento das colunas possui clara influência nos resultados uma vez que a coluna com RCC, apresentou aumento de 4,86%, muito inferior a obtida pela coluna com brita, com 41,41%. Confirmando o anteriormente apresentado, aponta-se também, que o modelo com RCC gerou recalques maiores, desde de o início da aplicação de carga, quando comparado aos recalques observados na coluna preenchida com brita 1.

Comparando as curvas carga-recalque formuladas, a alteração mais clara corresponde a evolução dos recalques, onde para o solo natural teve-se um rápido aumento no momento de ruptura enquanto ao solo melhorado as curvas foram mais suaves atingindo menores recalques e maiores tensões. Ainda, destaca-se que no último estágio do descarregamento observa-se uma parcela de recuperação elástica em todos os modelos de melhoramento, o que demonstra que o material compactado confere uma parcela de deformação elástica ao solo uma vez que este em seu estado natural apresentou a menor taxa de retorno nos ensaios.

A partir das análises constatadas, verifica-se até então, que há viabilidade na implantação do método em estudo para melhoramento de solos com características semelhantes ao aplicado nesse trabalho, surgindo como uma alternativa a ser aplicada

nos solos da região em favorecimento do uso de fundações superficiais.

Agradecimentos

Ao MEC/SESu pela participação no Programa de Educação Tutorial e as empresas que cederam os equipamentos necessários ao desenvolvimento da pesquisa, bem como as escavadeiras hidráulicas.

4. REFERÊNCIAS

ALONSO, U. R. (2012) **Exercícios de fundações**. 2. Ed. São Paulo: Blucher, 2012. 204 p.

ARÉVALOS BURRÓ, M. A. (2015) **Capacidade de carga de fundações sobre solos reforçados por colunas submetidas a solicitações inclinadas**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia/UFRGS, 159 p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2010). NBR 6122. **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro.

_____. (1984). NBR 6489. **Prova de Carga Direta sobre Terreno de Fundação**. Rio de Janeiro.

BERNARDI, C. (2013) **Estudo de misturas de solo argiloso laterítico com agregados finos para uso em pavimentos econômicos**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Departamento de Ciências Exatas e Engenharias/UNIJUÍ, 68 p.

CASAGRANDE, M. D. T. (2001) **Estudo do comportamento de um solo reforçado com fibras de polipropileno visando o uso como base de fundações superficiais**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia/UFRGS, 109 p.

- CUDMANI, R. O. (1994) **Estudo do comportamento de sapatas assentes em solos residuais parcialmente saturados através de ensaios de placa**. 150 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia/UFRGS, 150 p.
- FREITAS, M. C. (2016) **Avaliação de técnica de melhoria de solos colapsíveis por meio de colunas de solo laterítico compactado**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos/USP, 201 p.
- GUSMÃO, A. D. (2005) Melhoria de Terrenos Arenosos. In: GUSMÃO, A. D.; GUSMÃO FILHO, J. A.; OLIVEIRA, J. T. R.; MAIA, G. B. (Org.). **Geotecnia no Nordeste**. 1. Ed. Recife: Editora Universitária UFPE, v. 1, p. 331-363.
- LUNKES, C. R. D. **Estacas de compactação como alternativa para melhoramento de solos arenosos**. 2016. 83 p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 12 dez. 2016.
- MENEGOTTO, M.L. **Previsão da curva tensão-recalque de ensaios de placa em solo não saturado**. 2004. Tese de Doutorado em Geotecnia, Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- PASSOS, P. G. O. (2005) **Melhoramento de solos arenosos com estacas de areia e brita**. Tese de Doutorado, Faculdade de Tecnologia, UnB, Brasília, 159 p.
- SOARES, V. B. (2000) Histórico da fundação do Condomínio Residencial Torino, com vinte pavimentos, em João Pessoa – PB. In: SEMINÁRIO DE ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES ESPECIAIS E GEOTECNIA - SEFE, 4, 2000, São Carlos. **Anais...** São Paulo: ABEF/ABMS, v. 2, p. 451-462.
- SOARES, Wanessa C. (2005) **Análise de recalques de edifícios em solos melhorados com estacas de compactação**. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos/USP, 146 p.
- SOARES, Wilson C. (2002) **Estacas de compactação para melhoria de solos**. 2002. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos/USP, 151 p.
- TEIXEIRA, A. H.; GODOY, N. S. (2016) Análise, projeto e execução de fundações rasas. In: FALCONI, F. (Org.) et al. **Fundações: teoria e prática**. 3. Ed. São Paulo: Pini, p. 225-262.
- THOMÉ, A. (1999) **Comportamento de fundações superficiais apoiadas em aterros estabilizados com resíduos industriais**. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil/UFRGS, 266 p.
- WAGNER, Alexia Cindy. **Análise do melhoramento de solo residual argiloso laterítico através da execução de colunas preenchidas com material granular compactado**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2018.