

## REFORÇO DE SOLOS DESTINADOS A FUNDAÇÕES DIRETAS ATRAVÉS DO USO DE GEOCÉLULAS PREENCHIDAS COM MATERIAL GRANULAR

### **Fernanda Maria Jaskulski**

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

[fernandaj18@hotmail.com](mailto: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](mailto:larisasso08@hotmail.com)

### **Thalia Klein da Silva**

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

[thalia\\_klein@hotmail.com](mailto: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](mailto:alexia-wagner@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](mailto:engcaw@gmail.com)

**Resumo.** Para que um solo garanta segurança a edificação é imprescindível que seja reforçado quando apresentar baixa capacidade estrutural e alta deformabilidade. Como tal, o presente trabalho objetiva analisar a capacidade de carga e recalque, através de ensaios de placa, de solo típico da região noroeste gaúcha, em seu estado natural e reforçado com geocélulas, visando uso em fundações superficiais. As geocélulas utilizadas foram a SW455 e SW712 com 20 e 7,5 cm de altura respectivamente, ambas preenchidas com brita 1 ou resíduos da construção civil (RCC). A metodologia utilizada baseia-se na realização de ensaios de caracterização dos materiais, provas de carga em placa e análise dos resultados. Em suma três dos quatro reforços analisados apresentaram resultados satisfatórios comparados ao solo em estado

natural. Os com a geocélula SW445 apresentou curvas com perfil semelhante, mas com comportamento variável. Já a SW4712 demonstrou praticamente o mesmo desempenho para ambos os preenchimentos.

**Palavras-chave:** Geocélula. Solos reforçados. Ensaio de placa.

## 1. INTRODUÇÃO

Conforto, durabilidade e segurança são requisitos básicos a serem atendidos por toda a estrutura criada pelo homem, sendo a segurança o mais importante, pois, tem o preceito de evitar colapsos que comprometam a integridade física humana (NEVES, 2010). Já Velloso e Lopes (2010) ponderam que alguns dos fatores mais importantes a serem

considerados num projeto de fundações, e que podem comprometer o desempenho de uma obra, são: as particularidades do solo em que serão executadas, as cargas aplicadas sobre o terreno, e a sua resposta a tais solicitações.

Assim, solos que apresentem baixa resistência mecânica necessitam ser melhorados ou reforçados para que possam servir de base para fundações de maneira segura. Almeida e Marques (2010), afirmam que além das soluções convencionais de reforço de solo, como o uso de fitas, fibras ou tiras metálicas, há também a inclusão de geossintéticos, que se destacam como um método muito eficaz que tem ganhado espaço no mercado desde a última década.

O uso de geossintéticos como reforço de fundações diretas permite a sua execução em situações que normalmente seriam inviáveis (VERTEMATTI, 2015). Bilfinger e Mello (2015) atestam que a função do reforço com geossintético é basicamente a de usar a sua capacidade de resistência à tração, para restringir deformações em estruturas geotécnicas ou granulares.

Dentre os geossintéticos existentes as geocélulas apresentam sistema celular tridimensional e flexível de confinamento. As suas paredes são unidas entre si via solda, sendo rugosas e compostas por tiras de polietileno (ABRAMENTO; ERLICH; ZIRLIS, 2016). A altura das geocélulas pode variar entre 50, 75, 100, 150 e 200 mm, e a sua área normalmente encontra-se próxima de 300 cm<sup>2</sup> (FERNANDES, 2012). Geralmente são compostas de Polietileno (PE), Polietileno de Alta Densidade (PEAD), polipropileno (PP) ou Poliéster (Pet) (AVESANI NETO, 2013). O uso de geocélulas vem crescendo no Brasil, uma vez que oferecem agilidade nas suas construções, possuem composições e formas variadas, permitindo o seu uso em estabilização de solos e taludes, estruturas de contenção, entre outros (BARUFFI, 2017).

Com o intuito de avaliar as propriedades mecânicas de um solo destaca-se o ensaio de placa, um ensaio de campo que, de acordo com Ruver (2005), resume-se em utilizar placas de metal nas quais se aplicam diferentes carregamentos, de modo que se possa verificar o comportamento carga-recalque de um solo designado a uma futura fundação, quando solicitado por certas tensões. Apesar de o ensaio de placa ser um método oneroso, é considerado uma fonte segura para obtenção de dados, por reproduzir em escala reduzida, o comportamento real da fundação superficial (RUSSI, 2007).

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 geocélulas, 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.

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 Sasso (2018).

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste item serão apresentadas, de forma sucinta, conceituações vitais que permitiram a elaboração da referida pesquisa, sendo desenvolvido os seguintes tópicos: utilização de geocélulas para reforço de solos, ensaios de placa, recalques e tensão admissível.

## 2.1 Geocélulas para reforço de solos

Para toda e qualquer obra geotécnica que apresente problemas de ruptura por cisalhamento do solo, destaca-se a necessidade do uso de geossintéticos como elementos de reforço (MACAFERRI, 2013). A presença desse material aumenta a resistência e limita as deformações do maciço principalmente à tração, além disso, tais produtos conseguem atuar em mais de uma função concomitantemente (AGUIAR; VERTEMATTI, 2015).

Os materiais poliméricos de reforço (geossintéticos) são um subconjunto de um grande desenvolvimento recente dos materiais de engenharia civil. Caracterizam-se por serem produtos fabricados a partir de materiais poliméricos manufaturados ou naturais, sendo utilizados em obras geotécnicas, principalmente no que se refere a solução de problemas geotécnicos, e de proteção ambiental (PALMEIRA, 2018). Baruffi (2017) fomenta que os geossintéticos apresentam-se sob a forma de tiras, mantas ou estruturas tridimensionais, conforme as necessidades específicas. Em relação ao preenchimento podem ser utilizados desde materiais vegetais e até mesmo agregados MENESES (2004).

## 2.2 Ensaio de placa

A prova de carga em placa tem como objetivo a investigação de um elemento de fundação que sofra força de compressão, no sentido de estimar parâmetros que indiquem valores de resistência e deformabilidade do solo (COSTA, 1999). Para Décourt e Quaresma Filho (1996), a execução de ensaios de placas é até então a melhor maneira de obtenção das características carga-recalque de uma fundação.

Conforme a NBR 6489 (ABNT, 1984), o ensaio constitui na instalação de uma placa rígida sobre o solo natural na mesma cota

prevista no projeto das fundações superficiais, com uma área igual ou maior que 0,5 m<sup>2</sup>, onde se aplicam cargas verticais no centro da placa, e medem-se os deslocamentos concomitantemente com os aumentos de carga, sendo que as cargas são aplicadas apenas quando cessarem os recalques do estágio anterior. Salienta-se ainda que devem ser aplicadas cargas até que haja ruptura do solo e, caso isto não aconteça, são aplicadas até que se atinja o dobro da tensão admissível presumida para o solo, ou um recalque julgado excessivo. Terzaghi, Peck e Mesri (1996) afirmam que os resultados do ensaio fornecem informações apenas sobre características do solo a uma profundidade de cerca de duas vezes o diâmetro da placa utilizada.

## 2.3 Recalques

O deslocamento vertical para baixo, com ocorrência na base da sapata em relação a uma referência indeslocável é denominado recalque (CINTRA, AOKI E ALBIERO, 2014). De acordo com Velloso e Lopes (2010) os recalques podem ser divididos em duas categorias: “recalques no tempo” com ocorrência em intervalos de tempo maiores e “recalques imediatos” que ocorrem logo após o carregamento da sapata. Os valores de recalques podem ser desconsiderados caso a base da estrutura permaneça plana, do contrário se a estrutura carregada sofrer inclinação, os efeitos do recalque podem ser irreparáveis uma vez que não foram considerados no projeto da estrutura (TERZAGHI; PECK; MESRI, 1996).

Existem maneiras de obtenção de recalques através do ensaio de placas, que, segundo Cintra, Aoki e Albiero (2003), só são aplicáveis para solos razoavelmente homogêneos em profundidade, uma vez que o bulbo de tensões da sapata é normalmente maior que o da placa. O ensaio compara os recalques ocorridos na placa com os possíveis

recalques a vir ocorrer numa futura sapata, sendo que para argilas, a capacidade de carga não depende da dimensão e será a mesma tanto para a placa como para a sapata, porém, os recalques serão proporcionais à dimensão da fundação graças ao módulo de deformabilidade (CINTRA; AOKI; ALBIEIRO, 2003).

## 2.4 Tensão admissível

Tensão admissível segundo a NBR 6122 (ABNT, 2010) é a tensão utilizada em projeto, considerando coeficientes de segurança predeterminados, e que atende aos estados limites últimos (ruptura) e de serviço (recalque, vibrações, etc.) ao ser aplicada no solo através da estrutura de fundação. Segundo Caputo (2015) os seus valores são determinados pela capacidade de carga do solo, resultado das provas de carga ou da resistência à penetração. Nesse caso deve-se considerar o efeito de escala e as camadas do solo influenciado (ABNT 2010).

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia abordada na presente pesquisa baseia-se na execução e análise de ensaios de campo (ensaio de placa) e ensaios de caracterização do solo e dos materiais de preenchimento das geocélulas. O local estudado localiza-se na região noroeste do Rio Grande do Sul, onde predominam solos de origem residual, mais especificamente no campus Ijuí da UNIJUÍ. Os ensaios de caracterização geotécnica do solo foram executados no Laboratório de Engenharia Civil da UNIJUÍ (LEC).

Dentre as diversas geocélulas existentes no mercado, utilizou-se na presente pesquisa as confeccionadas com polietileno de alta densidade (PEAD), classificadas como SW445 e SW712 de 20 cm e 7,5 cm de altura, respectivamente. As características das

geocélulas utilizadas estão discriminadas na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações das geocélulas

| PROPRIEDADES                        |             | UNIDADE         | SW445 | SW712 |
|-------------------------------------|-------------|-----------------|-------|-------|
| Altura da célula                    |             | cm              | 20    | 7,5   |
| Dimensão média da célula<br>(±3%)   | Largura     | cm              | 32    | 50,8  |
|                                     | Comprimento | cm              | 28,7  | 47,5  |
| Área nominal da célula (±3%)        |             | cm <sup>2</sup> | 460   | 1206  |
| Dimensão da peça expandida<br>(±3%) | Largura     | m               | 2,56  | 2,56  |
|                                     | Comprimento | m               | 8,35  | 13,72 |
| Área da peça expandida (±3%)        |             | m <sup>2</sup>  | 21,14 | 35,1  |

Para poder avaliar o comportamento perante aos esforços solicitados, optou-se para preenchimento das geocélulas a utilização de dois materiais diferentes, brita 1 e RCC. O RCC utilizado é proveniente de materiais triturados e misturados, com predominância de materiais cerâmicos, sendo classificado como RCC moído graúdo, além de conter na sua composição concretos, tijolos, blocos cerâmicos, entre outros.

A caracterização do solo e do material de preenchimento se deu com a realização da análise granulométrica conforme a NBR 7181 (ABNT, 2016d). Já os demais ensaios de caracterização, limites de consistência de acordo com NBR 6459 (ABNT, 2016b) e NBR 7180 (ABNT, 2016c), a massa específica segundo a NBR 6458 (ABNT, 2016a), foram executados para permitir a classificação pelos métodos tradicionais SUCS e AASHTO. Ademais, realizou-se a classificação do solo com base na metodologia MCT, indicada para solos tropicais, sendo, portanto, necessários a execução do ensaio de compactação mini-MCV (M5), descrito pela DNER-ME 258/94 (DNIT, 1994b) e o ensaio de perda de massa por imersão (M8), regulamentado pela norma DNER-ME 256/94 (DNIT, 1994a).

A instalação das geocélulas foi feita seguindo as indicações da Engepol (2014), que sugere uma terraplanagem superficial da área. Para a fixação dos painéis foram colocadas hastas metálicas de barras de aço de diâmetro de 12,5 mm com cerca de 40 cm de comprimento nos seus quatro cantos, de

maneira que fossem abertos e encaixados na sua dimensão máxima.

Segundo Ruver e Consoli (2006), reforçando o afirmado em Terzaghi, Peck e Mesri (1996), a influência do bulbo de tensões alcança duas vezes a menor dimensão da base da fundação, com isso seccionou-se as geocélulas com o intuito de facilitar o processo de preenchimento. Sendo assim, instalou-se duas peças da geocélula SW712 com 32 células cada e duas da geocélula SW445 com 59 células cada. A Fig. 1 apresenta uma das peças do modelo SW712, já instalada.

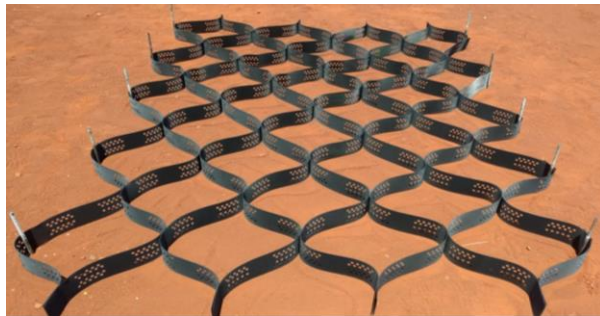


Figura 1: Geocélula modelo SW712 instalada

A fixação das peças das geocélulas no solo foi feita respeitando um espaçamento entre elas de forma que o sistema de reação (escavadeira hidráulica) não encontrasse problemas para se deslocar entre um ensaio e outro. Levando isso em consideração foram instaladas quatro peças de geocélulas, sendo que as do modelo SW445 ficaram fixadas com dimensões iniciais (largura x comprimento) de  $1,5 \times 2,3$  m e as do modelo SW712 com  $1,80 \times 2,60$  m.

Cada painel foi preenchido com brita 1 e com RCC para ambos os modelos, de maneira que fosse possível analisar os resultados do reforço em relação à altura do material e o tipo de material do preenchimento. Após o preenchimento de todas as peças, fez-se a compactação com o auxílio de placa vibratória.

Após a compactação as dimensões da geocélula (comprimento e largura)

expandiram, em virtude do processo de preenchimento e compactação. O próprio fabricante expõe que cada geocélula possui uma área mínima e máxima de expansão. Uma das geocélulas devidamente preenchida e compactada pode ser observada na Fig. 2, assim como as dimensões finais das geocélulas na Tabela 2.



Figura 2: Geocélula SW455 com RCC

Tabela 2: Dimensões finais das geocélulas

| Denominação | Altura (m) | Largura (m) | Comprimento (m) |
|-------------|------------|-------------|-----------------|
| SW445-RCC   | 0,2        | 1,4         | 2,42            |
| SW445-Brita | 0,2        | 1,45        | 2,27            |
| SW712-RCC   | 0,075      | 1,89        | 2,5             |
| SW712-Brita | 0,075      | 1,87        | 2,6             |

Ao total foram realizadas cinco provas de carga, uma em solo natural, duas na geocélula de 7,5 cm de altura preenchida com brita e com RCC, e duas na geocélula de 20 cm com os mesmos materiais de preenchimento utilizados na outra geocélula. Para as provas de carga executadas sobre as geocélulas, a placa de 30 cm de diâmetro foi posicionada no nó de ligação das células conforme sugerido por Baruffi (2017). Já para o ensaio em solo natural, a placa foi posicionada diretamente sobre o solo. O desenvolvimento dos ensaios deram-se segundo os preceitos da NBR 6489 (ABNT, 1984) que recomenda a aplicação de carga na placa através de estágios, em que o acréscimo de carga a cada nova aplicação seja no máximo 20% da taxa admissível provável para



o solo ensaiado, sendo necessária a leitura dos recalques imediatamente após a aplicação de carga para cada estágio de aplicação seguindo intervalos com tempos sucessivamente dobrados (1, 2, 4, 8, 15 minutos, etc.), acrescentando novo carregamento apenas quando houver a estabilização dos recalques, com tolerância de no máximo 5% entre as leituras sucessivas. O fim de cada ensaio se deu quando ocorreu ruptura real no solo, ou quando o recalque atingiu 25 mm considerado ruptura técnica.

Empregou-se três tipos de sistemas para a execução dos ensaios: sistema de reação constituído por uma escavadeira hidráulica de 22 t, sistema de transmissão de carga composto por um macaco hidráulico acionado por uma bomba hidráulica com capacidade máxima de 70 000 kN/m<sup>2</sup> posicionado no eixo da escavadeira onde foram aplicados os carregamentos, e sistema de medição de deslocamentos, constituído por três relógios defletométricos com variação de leitura de 0,01 mm e capacidade de leitura máxima de 30 mm, posicionados sobre a placa e afastados cerca de 120° entre si. Além dos três sistemas principais, foram utilizados na execução dos ensaios uma placa metálica de 30 cm de diâmetro e espessura de 25 mm, uma régua de alumínio, biapoada no terreno com três metros de comprimento, utilizada para a fixação dos relógios defletométricos, e discos metálicos de apoio a serem instalados entre a placa e o macaco.

Os recalques (deformações) ocorridas no solo foram registrados pelos relógios defletométricos, cujo resultado se deu através da reação à carga aplicada na placa através do macaco hidráulico. Antecedente a realização dos ensaios, aplicou-se uma carga inicial proporcional a 10 % da carga estimada para a tensão de ruptura da placa, seguida de descarregamento sem realização de leituras, de modo a acomodar o solo. A Fig. 3 apresentam os três sistemas utilizados nos ensaios.



Figura 3. Sistema de reação, transmissão de carga e medição de deslocamentos

#### 4. RESULTADOS

Com base nos resultados dos ensaios realizados constatou-se que a brita 1 e o RCC apresentaram comportamento constante, característico de um material granular uniforme, com RCC constituído na sua maior parte por finos, ainda que praticamente insignificante, dado ao fato de ser um resíduo proveniente de mistura de diversos materiais. A granulometria da brita 1 variou de 4 a 20 mm e do RCC de 10 a 20 mm.

Em relação à granulometria, constatou-se que o solo possui alto teor de finos (mais de 90% passantes na peneira n.º 200). No que diz respeito aos limites de consistência, verificou-se que o solo possui um limite de liquidez de 65%, limite de plasticidade de 39% e índice de plasticidade de 26%. Tais parâmetros indicaram a classificação do solo como sendo do tipo MH pela SUCS e A-7-5(18) pela AASHTO. Já pelo método de classificação MCT, o solo investigado caracterizou-se como LG'. As curvas granulométricas dos

respectivos materiais em estudo encontram-se na Fig. 4.

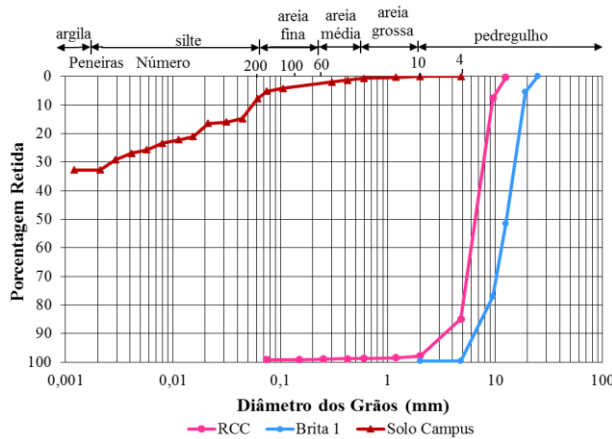


Figura 4. Granulometria dos materiais

De acordo com o ensaio SPT, o alcance do nível da rocha se deu a cerca de 3,85 m de profundidade. Ademais, observou-se que a camada superficial do solo se apresentava mais compactada, uma vez que foram necessários mais golpes para atingir o primeiro metro de profundidade do que no segundo.

Finalizados os ensaios de placa elaborou-se uma curva carga x recalque para cada situação analisada com o intuito de averiguar o comportamento de cada proposta perante ao esforço empregado, conforme Fig. 5.

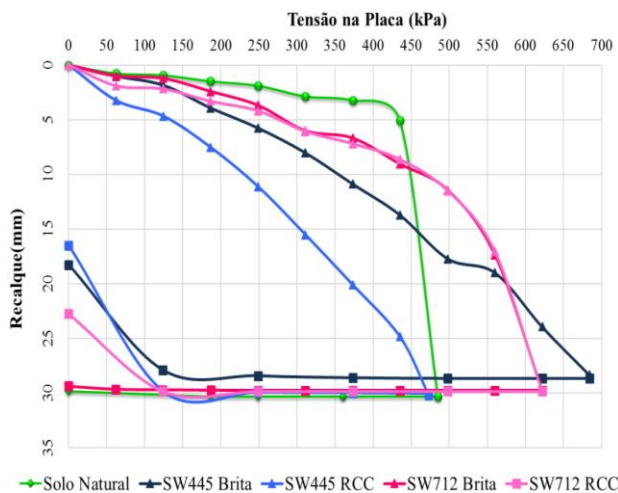


Figura 5. Curvas cargas x recalque dos ensaios

Conforme as curvas apresentadas na Fig. 5, constata-se que os ensaios realizados com o uso de reforço apresentaram um valor de ruptura superior aos 485 kPa suportados pelo solo em seu estado natural, exceto pelo resultado apresentado pela geocélula SW445-RCC que apresentou tensão inferior, mas muito próxima, no valor de 473 kPa. A geocélula SW712 apresentou valor de tensão de ruptura de 622 kPa para ambos os materiais de preenchimento, e de 684 kPa para a geocélula de modelo SW445 preenchida com brita. Em relação ao comportamento das curvas nota-se que as geocélulas de mesmo modelo apresentaram um comportamento semelhante.

A partir das curvas tensão x recalque é possível estimar a tensão admissível com base nos valores de tensão para cada deformação ocorrida. Tal estimativa é obtida a partir da média dos critérios utilizados por Alonso (2012) e Cudmani (1994), ambos amplamente aplicados à engenharia de fundações. Considerou-se, para ambos os métodos, fator de segurança igual a dois, conforme estabelecido pela NBR 6122 (ABNT,2010). Para o método de Alonso (2012), adotou-se 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. Já para o método de Cudmani (1994) considerou-se como tensão admissível o valor correspondente ao recalque obtido da divisão do diâmetro da placa em milímetros por 30, dividida pelo fator de segurança. A Tabela 3 apresentam os valores de tensão empregados em cada método e o valor de tensão admissível final para cada ensaio.

Tabela 3. Tensão admissível

| Ensaio       | $\sigma_{adm}$ Alonso (kPa) |                   |                 | $\sigma_{adm}$ Cudmani (kPa) | $\sigma_{adm}$ Final (kPa) |
|--------------|-----------------------------|-------------------|-----------------|------------------------------|----------------------------|
|              | $\sigma_{Rup}/2$            | $\sigma_{25mm}/2$ | $\sigma_{10mm}$ | $\sigma(d/30)/2$             | $\sigma(Alonso+Cudmani)/2$ |
| Solo natural | 242,5                       | 238               | 449             | 224,5                        | 231,25                     |
| SW445-RCC    | 236,5                       | 219,5             | 232             | 116                          | 167,75                     |
| SW445-Brita  | 342                         | 318,5             | 355             | 177,5                        | 248                        |
| SW712-RCC    | 311                         | 300               | 470             | 235                          | 267,5                      |
| SW712-Brita  | 311                         | 300               | 465             | 232,5                        | 266,25                     |

Após a aplicação das metodologias mencionadas, observa-se que o SW445-Brita obteve o maior valor de tensão de ruptura, no entanto com menor valor de tensão admissível, estando apenas a frente do solo em seu estado natural e do ensaio SW445-RCC. A Fig. 6 ilustra um comparativo entre a tensão admissível e a de ruptura para cada ensaio realizado.

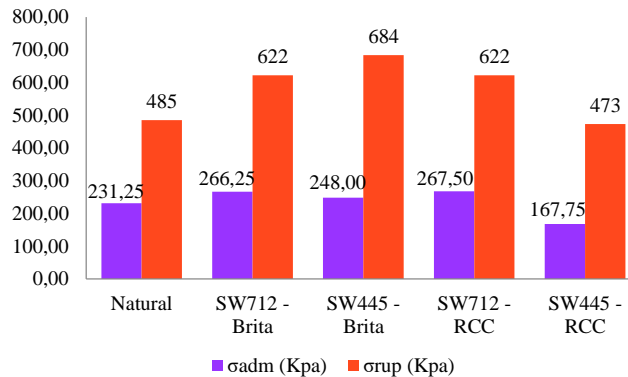


Figura 6: Tensão admissível e de ruptura

É possível observar a variação nos valores de tensão admissível dos solos reforçados quando comparados ao natural com 15,13% (SW712-Brita), 7,24% (SW445-Brita), 15,67% (SW712-RCC) e -27,46% (SW445-RCC).

Após a realização dos ensaios observou-se que em todos os ensaios realizados houve o rebaixamento do nível em que se encontrava a placa inicialmente sem levantamento das bordas, característica comportamental de ruptura por puncionamento.

Fez-se também uma análise dos recalques ocorridos em cada ensaio, tendo como premissa que a maior ocorrência de recalques resulta em mais deslocamento da fundação e por consequência uma fragilidade estrutural.

Outro fator importante a ser considerado são os recalques ocorridos em cada ensaio, uma vez que a maior ocorrência de recalques resulta diretamente no maior deslocamento da fundação e conseqüente comprometimento da estrutura. A Tabela 4 apresentam os valores

dos recalques médio no momento da ruptura do solo e no momento em que atingiu a tensão admissível estabelecida anteriormente, para os três relógios.

Tabela 4. Tensão admissível

| ENSAIO      | Tensão na | r1    | r2    | r3    | r       | r      |
|-------------|-----------|-------|-------|-------|---------|--------|
|             | Placa     | (mm)  | (mm)  | (mm)  | (médio) | (σadm) |
| Natural     | 485       | 29,91 | 29,98 | 31,02 | 30,30   | 1,80   |
| SW712-Brita | 622       | 29,59 | 29,49 | 30,21 | 29,76   | 4,20   |
| SW445-Brita | 684       | 25,41 | 30,40 | 29,23 | 28,35   | 5,90   |
| SW712-RCC   | 622       | 29,75 | 29,60 | 30,18 | 29,84   | 4,60   |
| SW445-RCC   | 473       | 29,65 | 30,86 | 30,22 | 30,24   | 6,50   |

Com base na tabela constatou-se que o maior recalque ocorreu na geocélula com solo natural que não apresentou a menor tensão de ruptura, já o menor recalque aconteceu na geocélula SW455-Brita, que também obteve o maior valor de tensão de ruptura. Outra observação importante constatada foi na semelhança no valor de recalques de acordo com o modelo de geocélulas utilizadas independente do material de preenchimento. Quanto ao comportamento elástico as geocélulas com 20 cm de altura do modelo SW445 apresentaram um retorno elástico de cerca de 45,48% de retorno quando preenchidas com RCC, 35,55% quando preenchidas com brita e apenas 1,59% para o solo natural.

Em suma, o maior retorno elástico da geocélula preenchida com RCC se deu pelo fato do material ser mais instável quando comparado a brita, pelo fato de obter em sua composição, distintos materiais com características específicas. Como o sistema de reação disponível para os ensaios é limitado para diâmetros maiores, utilizou-se de a placa de 30 cm de diâmetro sendo menor comparada ao diâmetro da geocélula, fato que pode ter levado a certa instabilidade no geossintético influenciando negativamente. Uma alternativa mais adequada seria a utilização de placas com diâmetros superiores ao diâmetro da geocélula.



Por outro lado, uma maior ocorrência de rupturas pode ter ocorrido nos ensaios, em virtude da altura das geocélulas, que pode ter influência direta no bulbo de tensões, quando comparados ao solo natural principalmente para as geocélula de maior altura. Os valores de recalques ocorridos no solo são de maior importância que as tensões na carga última de ruptura, sendo esse fator de suma relevância no caso das fundações superficiais.

## 5. CONCLUSÕES

Findada as análises referentes as provas de carga e o seu comportamento quanto ao solo natural e reforçado com geocélulas de 7,5 e 20 cm de altura, preenchidas com brita 1 e RCC, conclui-se que quanto aos ensaios executados sobre o solo reforçado, as geocélulas modelo SW712, apresentaram praticamente o mesmo comportamento independente do material de preenchimento, levando a constatar que para tal ensaio, o geossintético comandou a capacidade de reforço. Em contraste, as geocélulas SW445 apresentaram comportamento variável quando comparadas entre si apesar de as curvas apresentarem um perfil semelhante. Para o ensaio referente à geocélula SW445-Brita obteve-se maior valor de tensão de ruptura dentre todos os ensaios executados, enquanto a geocélula SW445-RCC apresentou menor valor de tensão de ruptura até mesmo quando comparada ao solo em seu estado natural.

No que diz respeito à tensão admissível obtida pela média entre os métodos de Alonso (2012) e Cudmani (1994), pode-se perceber que o ensaio SW712-RCC apresentou maior valor dentre todos os ensaios realizados, cerca de 15,67% a mais que do solo em estado natural, enquanto o ensaio SW445-RCC apresentou o menor valor cerca de 27,46% a menos. Já para os valores de recalques destacam-se os ensaios realizados com as geocélulas de 20 cm de altura que apresentaram uma recuperação de cerca de

metade do recalque ocorrido após o descarregamento.

Por fim, destaca-se que três das alternativas de reforço abordadas apresentaram resultados positivos em comparação aos valores do solo em seu estado natural, ou seja, sem a introdução do geossintético. Entretanto ainda é muito cedo para afirmar com certeza se o uso desse material como reforço de fundações superficiais é efetivamente eficiente, tendo em vista o início recente dessa abordagem no solo da região, destacando-se assim, a necessidade de maiores estudos sobre a tecnologia abordada e os meios de sua execução.

## *Agradecimentos*

Agradecemos ao MEC - SESu pelas bolsas PET (Programa de Educação Tutorial) que permitiram a realização da pesquisa e pela oportunidade de integrar este programa de excelência; ao LEC (Laboratório de Engenharia Civil) da UNIJUÍ; à empresa Camillo Construções e Terraplanagens Ltda., que cedeu equipamentos para realização dos ensaios e ao grupo Strata Company, mais especificamente à empresa Geosoluções, pelo suporte técnico e doação das geocélulas para a execução da pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS

ABRAMENTO M.; ERLICH, M.; ZIRLIS, A.C. Reforço do Terreno. In: FALCONI, Frederico (Org.). et al. **Fundações: teoria e prática**. 3. ed. São Paulo: Pini, 2016. 641 – 690 p.

AGUIAR, P. R.; VERTEMATTI, José C. Introdução. In: VERTEMATTI, José Carlos (Org.). **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015. p 17-30.

ALMEIDA, M.S.S.; MARQUES, M.E.S. Aterro sobre solos moles: projeto e desempenho. **Coleção Huesker: Engenharia com Geossintéticos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 256 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: **Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro, 2010. 91p.

\_\_\_\_\_. NBR6458: **Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2016a. 6p.

\_\_\_\_\_. NBR 6459: **solo – determinação do limite de liquidez**. Rio de Janeiro, 2016b. 6 p.

\_\_\_\_\_. NBR 6489: **prova de carga direta sobre terreno de fundação**. Rio de Janeiro, 1984. 2 p.

\_\_\_\_\_. NBR 7180: **solo – determinação do limite de plasticidade**. Rio de Janeiro, 2016c. 3 p.

\_\_\_\_\_. NBR 7181: **solo – análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 2016d. 13 p.

AVESANI NETO, J. O. **Desenvolvimento de uma metodologia de cálculo e simulações numéricas aplicadas na melhoria da capacidade de carga de solos reforçados com geocélula**. 2013. 336 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos: Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

BARUFFI, A. **Comportamento mecânico de geocélulas preenchidas com resíduos de pedras preciosas**. 2017. 95 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil). – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental: Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

BILFINGER, W.; MELLO, L.G.F.S. Aplicações em reforço de solos: Reforços de fundações. In: VERTEMATTI, José Carlos (Org.). **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015. 149-154 p.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações, volume 1: fundamentos**. 7. ed., ver. e ampl. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2015. 234 p.

CINTRA, J.C.A.; AOKI, N.; ALBIERO, J.H. **Fundações diretas: projeto geotécnico**. 2. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2014. p. 140.

CINTRA, J.C.A.; AOKI, N.; ALBIERO, J.H. **Tensão admissível em fundações diretas**. São Carlos: RiMa, 2003. 135 p.

COSTA, Y.D.J. **Estudo do comportamento de solo não saturado através de provas de carga em placa**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - EESC/USP, São Carlos, 1999. 131 p.

CUDMANI, R.O. **Estudo do comportamento de sapatas assentes em solos residuais parcialmente saturados através de ensaios de placa**. 1994. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994. 150 p.

DÉCOURT, L; QUARESMA A.R.F. **Estabelecimento das curvas carga x recalque de fundações através de provas de carga em miniplaca**. SEFE III, V.2. São Paulo, 1996. 225-235 p.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **DNER – ME 256/94: solos compactados com equipamento miniatura – determinação da perda de massa por imersão, 1994a.** 6 p.

\_\_\_\_\_. DNER – ME 258/94: **solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV, 1994b.** 14 p.

ENGEPOL. **Manual de Geossintéticos.** 4 ed. Barueri/SP: Engepol Geossintéticos Ltda, 2012. Disponível em: <<http://www.engepol.com/resources/pdf/catalogo/manual-geossinteticos-engepol.pdf>>. Acesso em: outubro, 2014.

FERNANDES, L. R. **Estudo da cobertura do lixo “Morávia” da cidade de Medellín, Colômbia.** 2012. 193 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Faculdade de Tecnologia: Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MACAFERRI, América Latina. **Reforço de solos: Manual técnico.** São Paulo: Macaferri do Brasil, 2013. 169 p.

MENESES, L.A. **Utilização de geocélulas em reforço de solo mole.** 2004. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

NEVES, M.J.C. **Técnicas de recalçamento e reforço de fundações: metodologias, dimensionamento e verificação de segurança.** 2010. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). – Instituto Superior Técnico: Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

PALMEIRA, E. M. **Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente.** São Paulo: Oficina de Textos, 2018. 294 p.

RUSSI, D. **Estudo do comportamento de solos através de ensaios de placa de diferentes diâmetros.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007. 149 p.

RUVER, C.A.; CONSOLI, N.C. **Tensão admissível de fundações superficiais assentes em solos residuais determinada a partir de ensaios SPT.** In. GEOSUL. 2006, [S.l.]. Anais..., 2006.

RUVER, C. A. **Determinação do comportamento carga-recalque de sapatas em solos residuais a partir de Ensaios SPT.** Dissertação (mestrado em Geotecnia). – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005. 182 p.

SASSO, L. F. **Uso de geocélula preenchida com material granular para reforço de solos destinados a fundações diretas.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul – UNIJUÍ, Ijuí, 2018.

TERZAGHI, K.; PECK, R.B.; MESRI, G. **Soil Mechanics in Engineering Practice.** 3. ed. Nova Iorque: John Wiley & sons, 1996. 499 p.

VELLOSO, D.A.; LOPES, F.R. **Fundações: critérios de projeto, investigação do subsolo, fundações superficiais e fundações profundas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 583 p.

VERTEMATTI, J.C. **Aplicações em Reforço de Solos.** In: VERTEMATTI, José Carlos (Org.). **Manual Brasileiro de Geossintéticos.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2015. 85-86 p.