



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## ANÁLISE DO ACRÉSCIMO DE RESISTÊNCIA EM SOLO ARENOSO BIOCIMENTADO

**Vinicius Luiz Pacheco**

Engenheiro Civil egresso da Universidade de Passo Fundo (UPF).

email: vinimanfroipacheco@gmail.com

**Igor Decol**

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade de Passo Fundo (UPF).

email: igor2311@decol@gmail.com

**Antônio Thomé**

Prof. Dr./Pesquisador do curso de Engenharia Civil da Universidade de Passo Fundo (UPF).

email: thome@upf.br

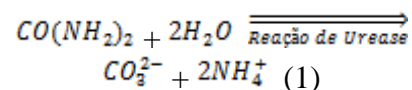
**Resumo.** Com o constante avanço econômico e infraestrutural o aproveitamento de áreas e materiais que sejam sustentáveis e possuam propriedades físico-mecânicas necessárias a empregabilidade dos mesmos em obras de Engenharia. Correlacionando a área da Engenharia Geotécnica, a técnica de melhoramento através da adição de cimento, torna-se inadequada em relação a emissão de  $CO_2$  na atmosfera durante o processo de fabricação. Assim, outras técnicas de melhoramento de solo são objetivos de estudos, tais quais a MICP (Microbially Induced Calcite Precipitation) na qual estimula as bactérias, principalmente do tipo *Bacillus Pasteurii* através da injeção de alimento aos micro-organismos presentes no solo, formando assim carbonato de cálcio e aumentando a capacidade de suporte de carga do solo, através do fenômeno de formação de calcita. Busca-se avaliar o desempenho do solo em questão ao tratamento MICP em relação ao solo sem tratamento, através de ensaios de placa, para obtenção da deformação e ganho de resistência.

**Palavras-chave:** Areia de Osório. Carbonato de Cálcio. Ensaio de Placa.

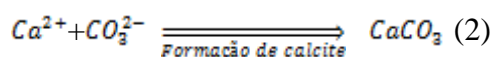
### 1. INTRODUÇÃO

A biocimentação na Engenharia Civil aplica-se diretamente no controle de erosão interna de barragens (piping) e como reforço de fundações, sendo que para os fins sugeridos, as propriedades de permeabilidade, rigidez, compressibilidade e variação volumétrica precisam ser aprimoradas. A alteração nas propriedades do solo se dá pelo uso da técnica MICP (Microbially Induced Calcite Precipitation), que usa o estímulo de bactérias, normalmente do tipo *Bacillus Pasteurii*.

O processo químico tem por base a hidrólise da ureia na qual decompõe o componente, conforme Eq. (1).



Após a primeira etapa, tem-se a Eq. (2), aonde ocorre a formação da calcita, através da combinação dos íons de carbonato e os íons de cálcio, fornecidos pelo cloreto de cálcio (Ng et al., 2012).



O presente artigo analisou o ganho de resistência de um solo biocimentado, composto pela areia de Osório, em relação ao mesmo solo sem o processo de biocimentação.

## 2. DESENVOLVIMENTO DO ESTUDO

### 2.1 Local do Estudo

O trabalho foi desenvolvido nos laboratórios do Centro Tecnológico de Engenharia Civil, Ambiental e Arquitetura (CETEC), na Universidade de Passo Fundo (UPF).

O procedimento experimental procedeu-se entre os meses de setembro a dezembro de 2016

### 2.2 Materiais

Os materiais utilizados foram: areia de Osório e a solução biocimentante. A distribuição granulométrica da areia em questão está representada na Tabela 1 e os índices físicos estão dispostos na Tabela 2, conforme estudos de Cruz (2008). A solução cimentante foi resultado de uma adaptação de Mortensen et al., (2011) e Amarakoon e Kawasaki (2016), sendo a solução utilizada uma continuidade de estudos realizados por Garbin (2016), como segue na Tabela 3.

Tabela 1. Distribuição Granulométrica da areia de Osório

Abertura da Peneira (mm)	% passante
0.60	100.00
0.425	99.97
0.30	99.47
0.15	38.50
0.075	1.55
0.0534	00

Fonte: Cruz (2008)

Tabela 2. Índices Físicos da areia de Osório

Índices Físicos	Areia de Osório
Massa específica real dos grãos	2,65 g/cm <sup>3</sup>
Coefficiente de uniformidade, $C_u$	2,11
Coefficiente de curvatura, $C_c$	1,15
Diâmetro médio, $D_{10}$	0,09 mm
Diâmetro médio, $D_{50}$	0,17 mm
Índice de vazios mínimo, $e_{\text{mín}}$	0,60
Índice de vazios máximo, $e_{\text{máx}}$	0,85

Fonte: Cruz (2008)

Tabela 3. Composição da solução biocimentante

Reagente	Concentração (g/l)
Peptona	2
Extrato de Levedura	1
Cloreto de Amônia	10
Bicarbonato de Sódio	2,12
Ureia	30
Cloreto de Cálcio	56

Fonte: Garbin (2016)

### 2.3 Métodos

O processo metodológico teve por objetivo a realização dos ensaios de placa

para avaliação da resistência. Para tal finalidade, foram moldados três corpos de prova com a areia de Osório em camadas de 5 centímetros, totalizando uma altura total de 30 cm. Sendo os corpos de prova: o primeiro (CP\_01Branco) sem aplicação da técnica de biocimentação, com densidade relativa de 50% e umidade inicial da areia de 10%; o segundo (CP\_02Branco) com 14 aplicações de água em um montante de 2 vezes o volume de vazios (70 litros) do corpo de prova por aplicação, densidade relativa de 50% e umidade inicial da areia de 10%; o terceiro (CP\_03Biocimentado) com a aplicação da técnica da de biocimentação durante 28 dias e as injeções intervaladas entre 48 horas com 2 vezes o volume de vazios (70 litros) do corpo de prova por injeção, com densidade relativa da areia de 50% e umidade inicial da areia de 10%. Sendo as injeções realizadas por intermédio de um regador individual para cada finalidade, buscando dessa forma uma abrangência maior da superfície do corpo de prova e mitigar deformações no contato da solução biocimentante/água com a superfície do mesmo.

Tem-se na Fig.1 o processo de moldagem dos corpos de prova. Observa-se que a parte inferior foi composta por uma camada de brita, com o objetivo de drenar a solução cimentante e a água oriundas das injeções.



Figura 1. Processo de moldagem dos corpos de prova.

Os ensaios de placa foram realizados de acordo os prescritos da NBR 6489 (ABNT,

1984). Para o caso em estudo, os incrementos de carga foram da magnitude de 10kg e o ensaio para os 3 corpos de prova persistiu até atingir ou ultrapassar os 25mm de recalque. A placa utilizada para o ensaio possui 7,5 centímetros de diâmetro e 2,54 centímetros de espessura.

A avaliação dos resultados obtidos pelo presente ensaio foi feita com base nos critérios de Tensão de Ruptura (sruptura) do solo e na capacidade de carga de fundações sobre solos cimentados.

Para a avaliação dos resultados obtidos através dos ensaios de placa, adotou-se o critério que definem a Tensão de Ruptura (sruptura), sendo ele:

-Critério: Sendo o recalque máximo igual a  $D/30$ , onde D representa o diâmetro da placa, nesse caso, 7,5 centímetros;

A avaliação da capacidade de carga de fundação e consequente determinação da Tensão admissível do solo ( $s_{adm}$ ) adota-se o critério de 2% do recalque relativo. Em concordância com estudos prévios realizados em solos cimentado, não-cimentados e capacidade de carga de fundações apoiadas em aterros estabilizados com resíduos industriais (Thomé, 1999).

O corte esquemático com as dimensões dos corpos de prova e a aplicação do ensaio de placa segue na Fig. 2. Na Fig.3, mostra-se a aplicação da solução biocimentante e a realização do ensaio de placa no CP\_03Biocimentado.

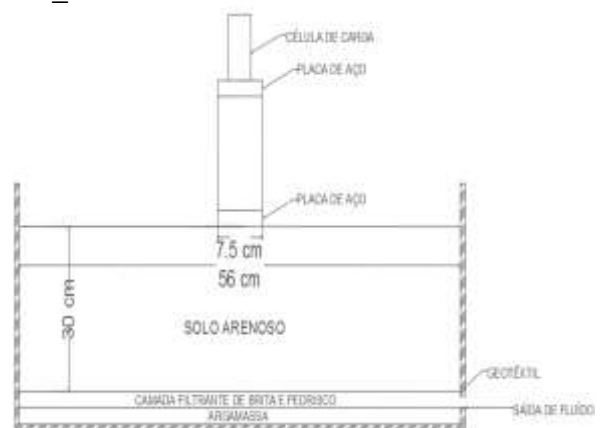


Figura 2. Corte esquemático da aplicação do ensaio de placa.



Figura 3. Aplicação do ensaio de placa no CP\_03Biocimentado.

Os ensaios ocorreram nas seguintes datas:

- CP\_01Branco: 29/09/2016;
- CP\_02Branco: 27/10/2016;
- CP\_03Biocimentado: 16/11/2016 e 17/11/2016.

### 3. RESULTADOS

Os resultados obtidos para Tensão vs Recalque, Tensão de Ruptura (sruptura) e Tensão admissível do solo ( $s_{adm}$ ) são apresentados nos itens subsequentes.

#### 3.1 Resultado do Ensaio de Placa no CP\_01Branco

Para o corpo de prova em questão, têm-se os seguintes resultados:

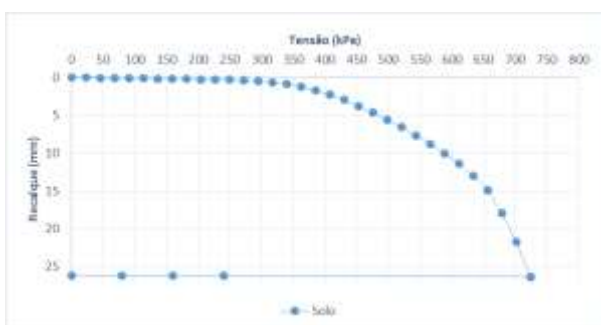


Figura 4. Curva de Tensão vs Recalque para o CP\_01Branco.

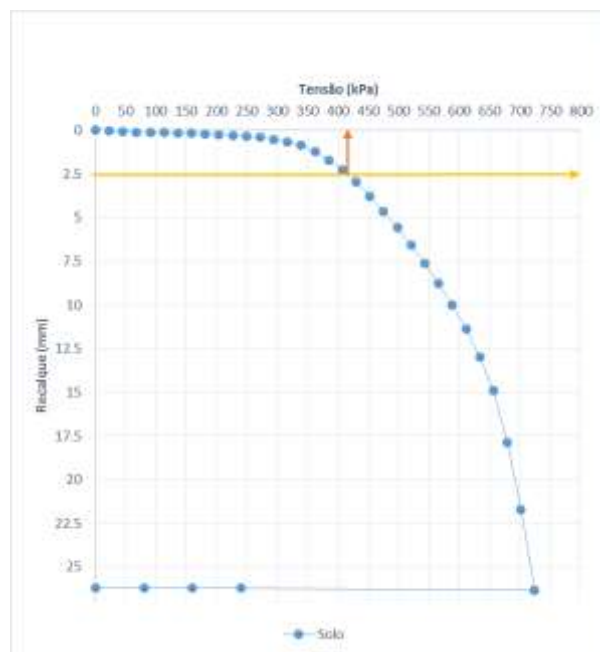


Figura 5. Análise do Critério de ruptura.

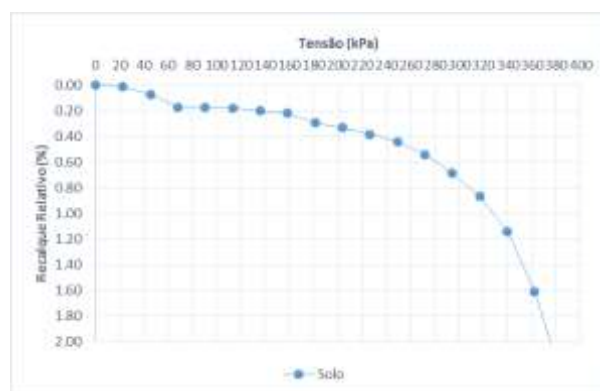


Figura 6. Tensão vs Recalque Relativo CP\_01Branco.

Em virtude dos resultados obtidos, encontra-se a  $s_{ruptura} = 410$  kPa, em concordância com a Fig 5.

Em virtude da metodologia proposta para a determinação da capacidade de carga do presente solo, é possível matematicamente através dos gráficos, a determinação da Tensão Admissível ( $s_{adm}$ ), sendo essa,  $s_{adm} = 375,26$  kPa, equivalente a uma Carga de 165,78 kgf. Por motivos técnicos de segurança recomendados pela ABNT NBR 6122 (2010), adota-se então um coeficiente de segurança igual a 2 para os ensaios de placa, tornado assim a  $s_{adm} = 187,62$  kPa.

### 3.2 Resultado do Ensaio de Placa no CP\_02Branco

Em relação ao CP\_02Branco, têm-se os seguintes resultados:

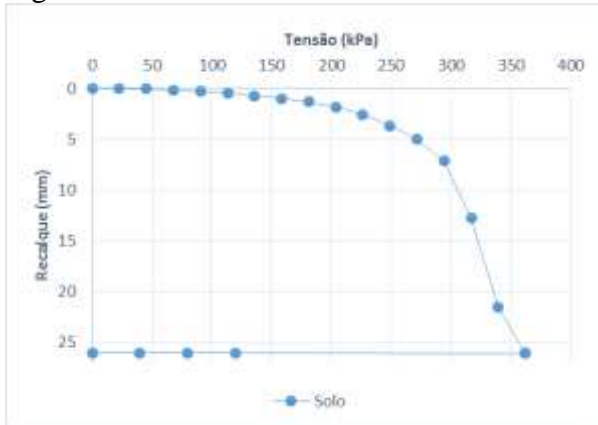


Figura 7. Curva de Tensão vs Recalque para o CP\_02Branco.

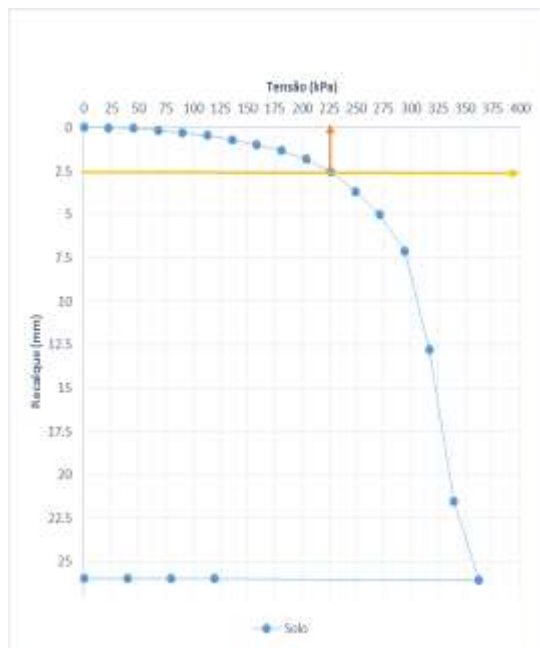


Figura 8. Análise do Critério de ruptura.

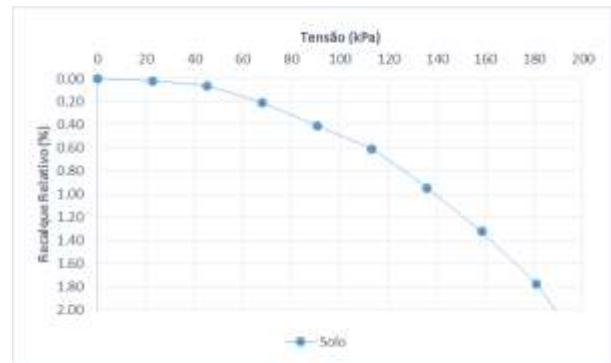


Figura 9. Tensão vs Recalque Relativo CP\_02Branco.

Sendo a ruptura = 225 kPa, encontrada através do critério de ruptura, de acordo com a Fig 8. Observa-se também que a resistência do corpo de prova em análise diminuiu em relação ao CP01\_Branco.

Em concordância com metodologia proposta para a determinação da capacidade de carga do CP02\_Branco, é possível matematicamente através dos gráficos e equações matemáticas, a determinação da Tensão Admissível ( $s_{adm}$ ), sendo essa,  $s_{adm} = 188,78$  kPa, equivalente a uma Carga de 83,4 kgf. Por motivos técnicos de segurança recomendados pela ABNT NBR 6122 (2010), adota-se então um coeficiente de segurança igual a 2 para os ensaios de placa, tornado assim a  $s_{adm} = 94,39$  kPa.

### 3.3 Resultado do Ensaio de Placa no CP\_03Biocimentado

Para o corpo de prova em questão, têm-se os seguintes resultados:

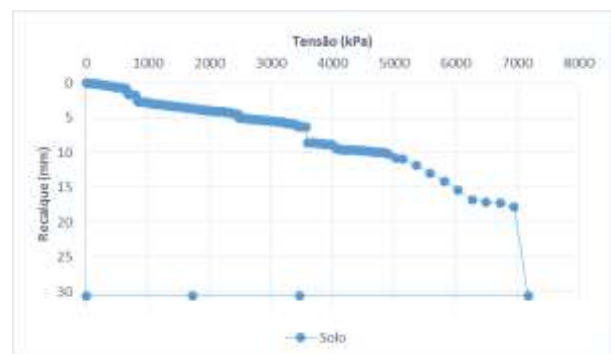


Figura 10 Curva de Tensão vs Recalque para o CP\_03Biocimentado.



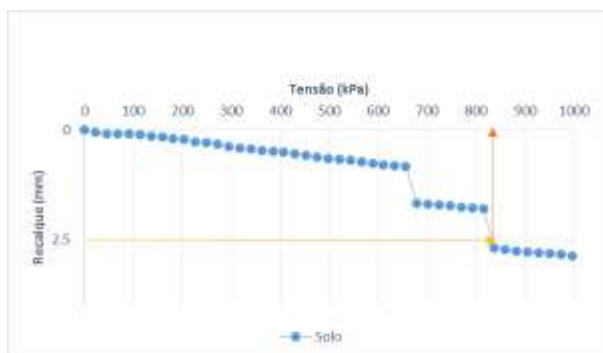


Figura 11. Análise do Critério de ruptura.

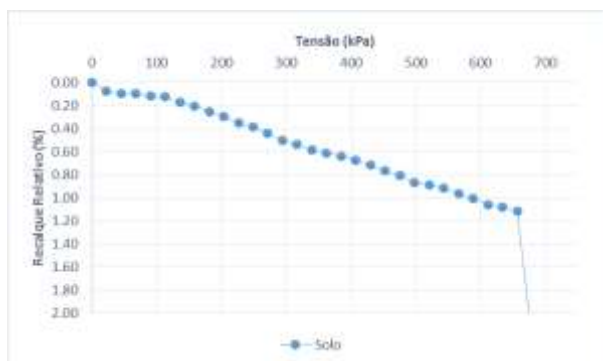


Figura 12. Tensão vs Recalque Relativo CP\_03Biocimentado.

De acordo com a Fig. 11, adota-se  $s_{ruptura} = 832,47$  kPa.

A determinação da capacidade de carga do CP03\_Biocimentado segue aos mesmos critérios propostos anteriormente. Sendo possível matematicamente através dos gráficos e equações matemáticas, a determinação da Tensão Admissível ( $s_{adm}$ ), sendo essa,  $s_{adm} = 674,42$  kPa, equivalente a uma Carga de 297,95 kgf. Por motivos técnicos de segurança recomendados pela ABNT NBR 6122 (2010), adota-se então um coeficiente de segurança igual a 2 para os ensaios de placa, tornado assim a  $s_{adm} = 337,21$  kPa.

### 3.4 Comparação dos CPs

No presente item compara-se os resultados dos 3 ensaios de placas, realizados nos CP\_01Branco, CP\_02Branco e CP\_03Biocimentado. Conforme Fig. 13

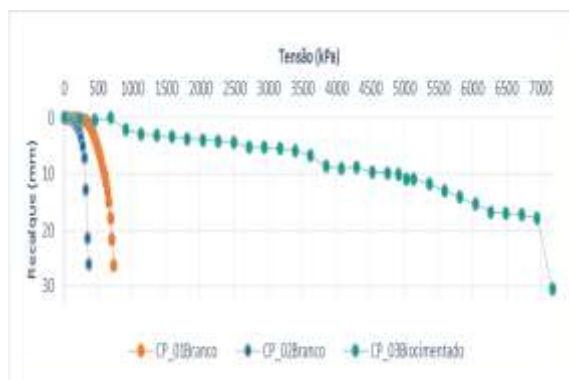


Figura 13. Comparação do Ensaio de Placa.

A técnica de biocimentação mostra-se eficiente no quesito de resistência mecânica do solo arenoso, diante aos fatores analisados de Tensão de Ruptura ( $s_{ruptura}$ ) e Tensão Admissível ( $s_{adm}$ ), como demonstrado através do Ensaio de Placa na Fig.16. O presente sistema de melhoramento de solo, proporcionou aumento da capacidade de carga do solo arenoso em estudo, aumento sua  $s_{adm}$  de trabalho em 1,80 vezes considerando o melhor comportamento do solo dentre os CPs. Considerando a ruptura dos CPs, obteve-se um aumento da tensão de ruptura no CP03\_Biocimentado em 2,03 vezes considerando o melhor comportamento do solo dentre os CPs.

### 3.5 Heterogeneidade das camadas do CP\_03Biocimentado

O aumento da resistência encontrado através do ensaio de placa no CP\_03Biocimentado deve-se ao processo de biocimentação, no qual alterou a estrutura do solo em questão, aumentando a sua densidade ao longo das camadas, conforme observado na Fig. 14.



Figura 14. Heterogeneidade do CP\_03Biocimentado.

Observa-se uma biocimentação mais acentuada nas camadas superiores do corpo de prova e o decréscimo do processo se dá ao longo do corpo de prova.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude os objetivos apresentado no presente artigo, a técnica de biocimentação foi desenvolvida e apresentada no trabalho com base na existência dos micro-organismos presentes no material natural. Logo, são apresentadas as considerações finais:

- A aplicação dos micro-organismos nativos da areia de Osório mostrou-se eficiente;
- Ocorreu um acréscimo da tensão de ruptura (sruptura) de 2,03 vezes e na tensão admissível (sadm) de 1,80 vezes do CP03\_Biocimentado em comparação com as tensões mais elevadas dos CP01\_Branco e CP02\_Branco. Dessa forma o ganho de resistência comprovou-se através da aplicação da técnica MICP;

#### 5 REFERÊNCIAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto e Execução de Fundações. NBR 6122. Rio de Janeiro, 2010.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Prova de Carga Direta sobre Terreno de Fundação. NBR 6489. Rio de Janeiro, 1984.

AMARAKOON, G. G. N. N.; KAWASAKI, S. Factors Affecting Improvement of Sand Properties Treated with Microbially Induced Calcite Precipitation. **In: Congress GeoChicago: Sustainability, Energy and the Geoenvironment, 2016.** In Press.

CRUZ, R. C. **Influência de parâmetros fundamentais na rigidez, resistência e dilatância de uma areia artificialmente cimentada.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre. 218p. 2008.

GARBIN, R. G. **Avaliação de biocimentação em solo arenoso.** UPF. 2016. Trabalho de conclusão de curso. Faculdade de Engenharia e Arquitetura – Curso de Engenharia Civil, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2016.

MORTENSEN, B. M. et al. Effects of environmental factors on microbial induced calcium carbonate precipitation. **J Appl Microbiol**, v.111, p.338-349, 2011.

NG, W. S.; LEE, M. N., HII, S.L. “**An overview of the factors affecting microbial-induced calcite precipitation and its potential application in soil improvement**”. World Academy of Science, Engineering and Technology 62, 2012.

THOMÉ, A.; **Comportamento de Fundações Superficiais Apoiadas em Aterros Estabilizados com Resíduos Industriais.** Tese (Doutorado em

Engenharia) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 1999.