

MICROSTRUCTURAL ANALYSIS OF BIOCEMENTED SAND

Gregório Rigo Garbin, Antonio Thomé, Marcos Mognon

Universidade de Passo Fundo

Faculdade de Engenharia e Arquitetura – Passo Fundo - RS

greggarbin@gmail.com, thome@upf.br, 91624@upf.br

Abstract. Biocementation has shown to be a more sustainable alternative to improve soil properties. The technique relies on biological and chemical reactions that can take place on soils. Microbially induced calcite precipitation (MICP) as a process of cementation for Osório sand is presented in this paper. MICP starts with the urea hydrolysis, which leads to the dissolution of carbonate ions, then if there are calcium ions available the precipitation takes place. The present study proposed the biostimulation of the native soil microorganisms in order to precipitate calcium carbonate. The microorganisms were also treated with a consolidation solution of calcium chloride and urea, which was daily applied to sand specimens during a period of twenty eight days. Scanning electron microscopy analysis were conducted in two biocemented sand specimens. For each specimen samples from surface, top, center and bottom were analysed. The results showed the structure and morphology of the precipitated calcium carbonate of rhomboidal shape.

Palavras-chave: *biocimentação, carbonato de cálcio, morfologia.*

1. INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento populacional a ocupação e uso de áreas também aumentou proporcionalmente. Dessa forma a expansão da infraestrutura civil no mundo está condicionada a disponibilidade de solos capazes de suportarem os avanços da construção civil. Para tanto, o melhoramento de solos torna-se uma técnica fundamental

para viabilizar o seu uso. Dentre essas técnicas, muitas requerem adição de energia mecânica e/ou materiais sintéticos, as quais acarretam em grandes movimentos de solo com alto custo de energia associado, ou ainda técnicas de injeção e grouting que comumente alteram o pH do subsolo podendo até em alguns casos serem tóxicos. Uma alternativa inovadora está no uso de microrganismos, nutrientes e processos biológicos naturais presentes no subsolo para efetivamente melhorar suas propriedades de engenharia (DEJONG et al., 2006 [1]).

MICP (*microbially induced calcite precipitation*) refere-se a formação de carbonato de cálcio devido a presença de células microbianas e suas atividades metabólicas (STOCKS-FISHER et al., 1999 [2]). A precipitação de calcita por bactérias através da hidrólise da ureia (urease) é o método mais usado e mais energeticamente eficiente dos processos conhecidos (DEJONG et al., 2010 [3]). Urease influencia no processo químico associado a formação de biominerais através de quatro parâmetros: o pH, concentrações de carbonato e de cálcio e os locais de nucleação proporcionados pela superfície da célula bacteriana, a qual serve de depósito de calcita. (FERRIS et al., 1996 [4]; HAMMES e VERSTRAETE 2002 [5]).

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a microestrutura de amostras de areia biocimentada.

3. METODOLOGIA

3.1 Preparação das amostras

O solo utilizado foi a areia de proveniência de jazidas da região de Osório-RS. A areia apresenta os seguintes índices físicos e distribuição granulométrica, adaptados de CRUZ (2009) [6].

Índices Físicos	Areia de Osório
Massa específica real dos grãos (γ_s)	26,5 kN/m ³
Coefficiente de uniformidade (C_u)	2,11
Coefficiente de curvatura (C_c)	1,15
Diâmetro efetivo (D_{10})	0,09 mm
Diâmetro médio (D_{50})	0,17 mm
Índice de vazios mínimo ($e_{mínimo}$)	0,60
Índice de vazios máximo ($e_{máximo}$)	0,85

Figura 1 – Índices físicos da areia de Osório.

Fonte - CRUZ 2009.

Foram preparados dois corpos de prova cilíndricos com diâmetro de base igual a 4,4 cm e altura de 9 cm. As amostras foram moldadas no interior de provetas de 250 mL (conforme figura 2) de modo a apresentarem índice de vazios igual a 0,75 e umidade inicial de 10%. As amostras foram preparadas com areia de Osório retirada do campo experimental do CETEC, a qual mantinha-se exposta ao tempo e em interação com os microrganismos nativos do solo de argila residual do local. Essa amostras foram denominadas CP_3 e CP_4.

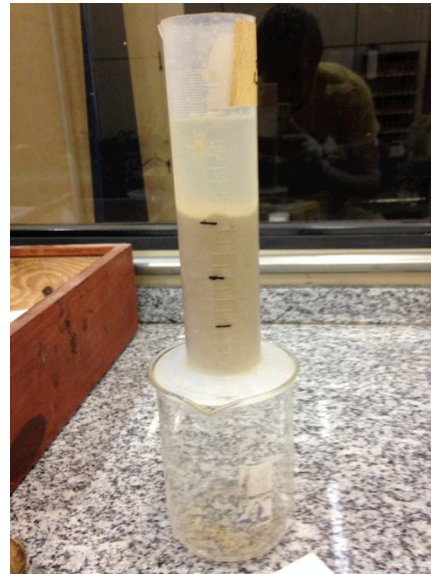


Figura 2 – Corpo de prova do presente trabalho.

3.2 Técnica de cimentação

O método de cimentação do presente estudo foi adaptado do Teste de Solidificação em Seringa, *Syringe Solidification Test*, AMARAKOON and KAWASAKI (2016) [7]. A técnica consiste na percolação periódica de solução consolidante principalmente composta por ureia e alguma fonte de cálcio. No presente estudo foram aplicados 100 mL (equivalente a 1,75 vezes o volume de vazios das amostras preparadas) de solução consolidante todos os dias por um período de 28 dias.

Dessa forma, nos moldes dos corpos de prova, provetas, foi feito um furo na base para permitir a drenagem da solução consolidante. (1)

3.3 Solução consolidante

A solução consolidante é a fornecedora dos compostos necessários para a formação de carbonato de cálcio. Para tanto, a ureia foi utilizada como fonte de carbonatos ao meio e o cloreto de cálcio como fonte inicial de cálcio. Outros compostos adicionados como a peptona e o extrato de levedura desempenham a função de estimular o

crescimento bacteriano. Ainda bicarbonato de sódio e cloreto de amônio tem função estabilizadora das reações. A composição da solução cimentante do presente estudo foi adaptada de MORTENSEN et al., (2011) [8] e AMARAKOON and KAWASAKI (2016) [7].

Tabela 1 – Composição da solução consolidante.

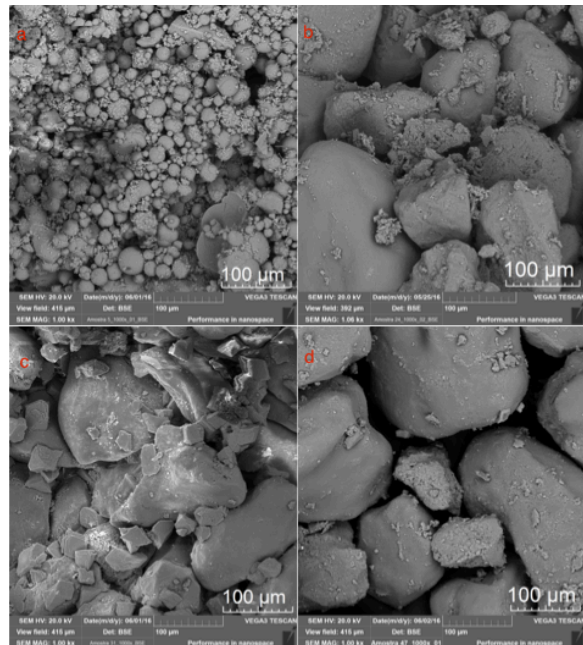
Reagente	Concentração (g/L)
Peptona	2
Extrato de Levedura	1
Cloreto de Amônio	10
Bicarbonato de Sódio	2,12
Ureia	30
Cloreto de Cálcio	56

4. RESULTADOS MEV/EDS

Quatro amostras de cada espécime tiveram sua microestrutura avaliada através de aproximação de 1000x pelo MEV. Uma amostra da base (d), uma do meio (c), uma do topo (b) e uma última da película formada na superfície do corpo de prova (a).

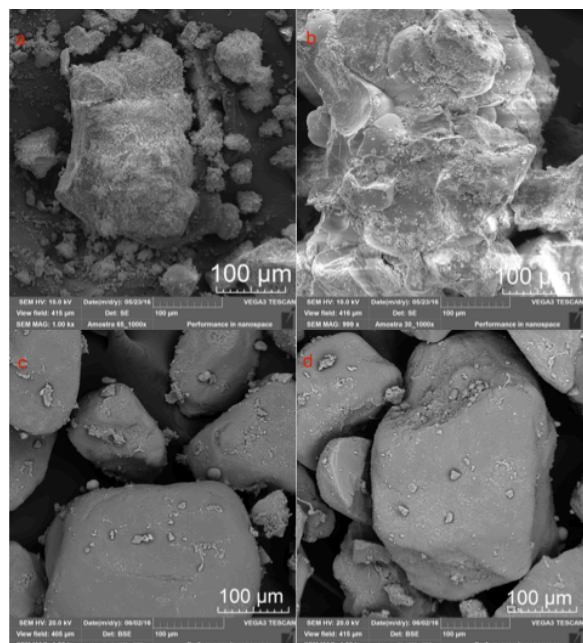
4.1 CP_3

Figura 1 - Imagens MEV CP_3 ampliadas em 1000x. (a) crosta da superfície; (b) amostra do topo; (c) amostra do centro e (d) amostra da base.



4.2 CP_4

Figura 2 - Imagens MEV CP_4 ampliadas em 1000x. (a) crosta da superfície; (b) amostra do topo; (c) amostra do centro e (d) amostra da base.



5. DISCUSSÃO

Nas imagens realizadas por MEV e apresentadas acima, evidencia-se a formação de cristais de carbonato de cálcio romboidais em torno das partículas de areia das amostras. Essa formação caracteriza-se pela geometria em paralelogramos e é propriedade dos cristais de calcita. Ainda, é possível observar na amostra da crosta da superfície de CP_3 a formação de carbonato de cálcio no formato de esferas, a qual pode ser morfologia característica de formações de vaterite.

Destaca-se o tamanho das partículas de carbonato de cálcio precipitadas em amostra do centro de CP_3.

REFERÊNCIAS

[1] DEJONG, J.T.; FRITZGES, M.; NUSSTEIN K. Microbially induced cementation to control sand response to undrained shear. *J Geotech Geoenviron Eng*, v. 32, p. 1381–1392, 2006.

[2] STOCKS-FISHER, S.; GALINAT, J. K.; BANG, S. S. “Microbiological precipitation of CaCO₃.” *Soil Biol. Biochem.*, v. 31, n. 11, p. 1563-1571, 1999.

[3] DEJONG, J.T. et al. Bio-mediated soil improvement. *Ecological Engineering*, v. 36, p. 197-210, 2010.

[4] FERRIS, F.G. et al. Bacteriogenic mineral plugging. *Can J Petrol Technol*, v. 35, p. 56-61, 1996.

[5] HAMMES, F. E.; VERSTRAETE, W. Key roles and calcium metabolism in microbial carbonate precipitation. *Environmental Science & Bio/Technology*, v.1, p. 3-7, 2002.

[6] CRUZ, R. C. Influência de parâmetros fundamentais na rigidez, resistência e dilatação de uma areia artificialmente cimentada. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em

Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre. 218p. 2008.

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

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