

Compressão Simples de Areias Artificialmente Cimentadas de Angicos-RN

Milány Kárcia Santos Medeiros

UFERSA, Angicos-RN, Brasil, milanymedeiros@gmail.com

Arthur Gomes Dantas de Araújo

UFERSA, Angicos-RN, Brasil, arthur.araujo@ufersa.edu.br

Manoel Lindolfo Queiroz Neto

UFERSA, Angicos-RN, Brasil, queirozneto91@gmail.com

Paulo Leite Souza Júnior

UFERSA, Angicos-RN, Brasil, paulo.leite@ufersa.edu.br

RESUMO: O solo é um dos materiais mais abundantes da natureza e utilizados na construção civil. O conhecimento aprofundado de suas propriedades é necessário, pois os solos podem sofrer modificações após sua formação, interferindo na ligação entre suas partículas. A Engenharia geotécnica tem como papel estudar essas mudanças. Para isso, usam-se várias técnicas laboratoriais para prever, sugerir melhorias, garantir estabilidade e compreender o comportamento mecânico dos solos. Por muitas vezes, adição de cimentos tem sido utilizada como alternativa para obras geotécnicas, devido aos aspectos técnicos e possíveis vantagens econômicas. O solo local foi classificado pelo método unificado a partir da execução de ensaios de granulometria conjunta e limites de consistência. Foram coletadas três amostras na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus-Angicos/RN e denominadas neste trabalho de Solo 1, Solo 2 e Solo 3. Após a caracterização, as amostras foram submetidas a ensaios de compressão simples. Foram moldados 18 corpos-de-prova, variando-se o teor de cimento e o índice de vazios. A moldagem foi realizada a partir da mistura solo-cimento com percentuais de cimento em massa de 2,5%, 5,0% e 10%. Previamente a moldagem dos corpos-de-prova, foi adicionado 10% de umidade nas amostras secas. O aglomerante utilizado foi o cimento CP V-ARI, devido a maior rapidez de atingir a resistência máxima da mistura. De acordo com os resultados, o solo local foi classificado como arenoso. Para todos os corpos-de-prova, foram obtidos relação entre a porcentagem de cimento adicionado ao solo *versus* resistência máxima a compressão simples. A amostra Solo 2 apresentou maior resistência a compressão simples com um valor máximo de 1293,73 kPa. Por outro lado, a amostra 3 apresentou menor resistência a compressão simples com valor máximo igual à 494,90 kPa. Nesta pesquisa, pode-se observar que quanto menor o índice de vazios de moldagem das amostras e maior o teor de cimentação utilizada, maior foi a resistência à compressão simples encontrada. Para todas as amostras, a resistência à compressão simples foi crescente em função do aumento do teor de cimento na mistura. Percebe-se a necessidade de estudar mais profundamente as características mecânicas do solo local, em razão da dispersão dos resultados encontrados. Além disso, essas análises ainda são escassas na região central do Rio Grande do Norte.

PALAVRAS-CHAVE: Solo-cimento, Compressão simples, Índices de vazios, Areia.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Pinto (2006), a diversidade e a diferença de desempenho dos diversos solos

perante as solicitações de interesse da engenharia levaram ao seu natural agrupamento em conjuntos distintos, aos quais podem ser atribuídas algumas propriedades, como a classificação dos solos, que tem por objetivo estimar o provável comportamento do solo ou, pelo menos, orientar o programa de investigação necessário para permitir a adequada análise de um problema.

Neste trabalho são apresentados resultados de ensaios laboratoriais da caracterização do solo localizado na UFERSA Campus Angicos-RN. Posteriormente, foi adicionado teores de cimento nas amostras. Os corpos-de-prova foram submetidos a ensaios de compressão simples, apresentando as propriedades tensão-deformação, que é o valor da pressão correspondente à carga que rompe um cilindro de solo submetido a um carregamento axial, conforme a ABNT NBR 12770/1992.

Um solo cimentado pode ter variadas aplicações, preenchendo os vazios entre os grãos, adequando coesão e resistência ao material.

Lopes (2012) afirma que a areia, de certa forma, apresenta características aceitáveis no que diz respeito à capacidade de suporte do solo em fundações, por exemplo, às vezes se faz necessária à realização de melhoramento do solo, para aumento da capacidade de suporte ou mesmo de se considerar o efeito da cimentação natural que ocorre em areias.

Desta forma, a pesquisa é direcionada a resultados de ensaios de compressão simples de areias artificialmente cimentadas e tem como objetivos principais:

- i. Agrupar informações abrangentes sobre o solo local, no ponto de vista geotécnico, fazendo a caracterização de três amostras do solo por meio de ensaios de laboratórios;
- ii. Avaliar o efeito da variação do índice de vazios nos resultados de ensaios à compressão simples;
- iii. Verificar a influência técnica da mistura solo-cimento para melhoria do solo, com teores de 2,5%, 5,0% e 10% do agente cimentante para cada amostra;

- iv. Determinar a resistência à compressão simples dos corpos de prova.

2 DISCUSSÃO TEÓRICA

2.1 Caracterização dos solos por meio de ensaios

2.1.1 Análise granulométrica

Conforme ABNT NBR 7181/1984 a análise granulométrica de solos é realizada por peneiramento ou por uma combinação de sedimentação e peneiramento. Esse processo é normatizado pela ABNT NBR 6502/1995, a distribuição granulométrica do solo (variação do tamanho dos seus grãos) influi no seu comportamento mecânico e é uma informação importante na sua descrição.

2.1.2 Limites de consistência

O solo não pode ser definido apenas pelo conhecimento de sua granulometria. A influência das frações finas de grãos interfere no comportamento conjunto das partículas. Daí a utilização de outros ensaios para definir melhor e caracterizar o comportamento dos solos com alta porcentagem de finos. Os limites de consistência são determinados pelos limites de plasticidade, liquidez e pelo índice de plasticidade. O índice de plasticidade é obtido pela diferença numérica entre o limite de liquidez e o limite de plasticidade.

2.2 Ensaios de compressão simples

Para Lopes (2012), o ensaio de compressão simples corresponde a um ensaio triaxial rápido, com tensão de confinamento igual à pressão atmosférica, ou $\sigma_3 = 0$. Sendo a tensão confinante nula, o círculo de Mohr de tensões totais nesse caso, parte da origem das coordenadas, e seu diâmetro é dado pela tensão axial máxima σ_1 obtida da curva tensão deformação do ensaio. Essa tensão máxima é chamada Resistência à Compressão Simples

A Figura 1 apresenta a representação de uma amostra submetida ao ensaio de compressão

simples.

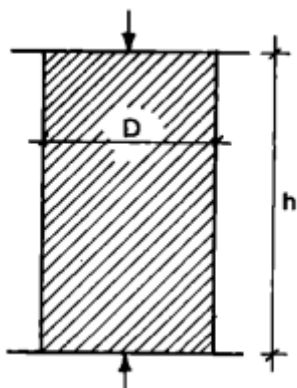


Figura 1. Representação de uma amostra submetida ao ensaio de compressão simples (CAPUTO,1988).

Para Caputo (1988), a altura h deverá ser um valor igual a duas ou três vezes o diâmetro D . A carga deverá ser plicada progressivamente, sendo a curva tensão-deformação traçada, em função da resistência a compressão R ($\sigma_1 = R$). O valor da coesão de um solo puramente coesivo é igual a metade da resistência a compressão simples R . A Figura 2 apresenta a representação do círculo de Mohr de um ensaio de compressão simples, em que c representa o valor de coesão da amostra de solo.

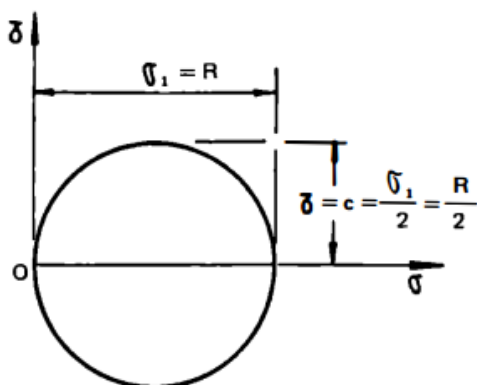


Figura 2. Representação do círculo de Mohr de uma amostra submetida ao ensaio de compressão simples (CAPUTO,1988).

2.3 Solo-cimento

A ABNT NBR 12025/1990 é responsável por determinar a preparação das amostras para a posterior execução do ensaio de compressão simples. Ainda afirma que o solo-cimento é um produto endurecido resultante da cura de uma mistura íntima compactada de solo, cimento e água, em proporções estabelecidas através de

dosagem. Este tipo de material apresenta bom índice de impermeabilidade, baixo índice de retração volumétrica e boa durabilidade.

Inúmeras são as utilizações de um solo cimentado, desde a prática tradicional da engenharia geotécnica, com fundações com base de solo reforçado, passando por reforço de solos em sub-bases rodoviárias, e em menor proporção, mas com grande utilidade nas técnicas de remediação de solos contaminados, tal técnica é conhecida como solidificação e estabilização ou somente encapsulamento de solos. (CRUZ, 2010)

Santos Filho *et al* (2014), afirma que a prova da eficiência do solo-cimento é que existem construções feitas com materiais derivados do solo que datam de vários séculos e estão resistindo às intempéries, preservando a estabilidade estrutural.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa é baseada na caracterização dos solos e no comportamento à compressão simples das amostras. Dessa forma, foram utilizados os seguintes ensaios:

1. Ensaios de Granulometria conjunta;
2. Limite de Plasticidade e Limite de Liquidez;
3. Ensaio de compressão simples.

Para os ensaios, três amostras foram coletadas em diferentes locais na UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Angicos. A Figura 2 ilustra a localização geográfica da cidade de Angicos no mapa do Estado do Rio Grande do Norte, assentada no semi-árido potiguar.



Figura 3. Localização geográfica da cidade de Angicos/RN, (IBGE, 2016).

A execução dos ensaios foi realizada no Laboratório de Construção Civil do Instituto Federal do Rio Grande do Norte, Campus Mossoró e no Laboratório de Mecânica dos solos da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. A Tabela 1 apresenta detalhes do cimento utilizado, da geometria e índices físicos de moldagem dos corpos de prova.

Tabela 1. Detalhes do cimento utilizado, da geometria e índices físicos de moldagem dos corpos de prova.

PARAMETROS	DADOS
Massa específica dos sólidos	2,65g/cm ³
Índices de vazios	≈ 0,55
Dimensões do corpo-de-prova	7,0 cm de altura e 3,5 de diâmetro
Teor de cimento	2,5%, 5,0% e 10 %
Umidade	10%
Agente aglomerante	CPV-ARI

3.1 Procedimentos do ensaio de compressão simples

Para todas as amostras, a massa específica dos sólidos foi adotada igual a 2,65 g/cm³. Para Pinto (2006), o valor do índice de vazios varia de acordo com as características da areia. A Tabela 2 apresenta valores típicos de índice de vazios de areias.

Tabela 2. Valores típicos de índice de vazios de areias (Pinto, 2006).

Descrição da areia	e_{min}	$e_{máx}$
Uniforme de grãos angulares	0,70	1,10
Bem graduada de grãos angulares	0,45	0,75
Uniforme de grãos arredondados	0,45	0,75
Bem graduada de grãos arredondados	0,35	0,65

Os índices de vazios de moldagem dos corpos-de-prova foram aproximadamente iguais a 0,55. Esse valor foi adotado propondo ter corpos de prova de compactidade mais compactos.

Os corpos-de-prova da amostra Solo 2 apresentaram alguns danos (redução da seção transversal) em seu corpo. Mesmo assim, esses corpos-de-prova foram ensaiados. A Figura 4 apresenta um detalhe da redução de seção do corpo de prova da amostra Solo 2.



Figura 4. Redução de seção apresentado na moldagem do corpo-de-prova da amostra Solo 2.

Os corpos de prova, após moldagem, ficaram 28 dias em local a temperatura ambiente. Posteriormente, foram inundados antes de serem rompidos. A Figura 5 apresenta os corpos de prova sofrendo o processo de inundação.



Figura 5. Inundação dos corpos de prova.

Antes do início do ensaio de compressão simples, as bases dos corpos de prova foram verificadas quanto ao nivelamento e horizontalidade. Se necessário, foram capeadas, obedecendo às prescrições do Método de Ensaio – ME-18/2003. A Figura 6 apresenta o detalhe da ruptura do corpo de prova submetido ao ensaio de compressão simples.



Figura 6. Exemplo de ruptura de um corpo de prova submetido ao ensaio de compressão simples.

4 RESULTADOS

4.1 Análise granulométrica das amostras

As curvas granulométricas das amostras estão dispostas na figura 7.

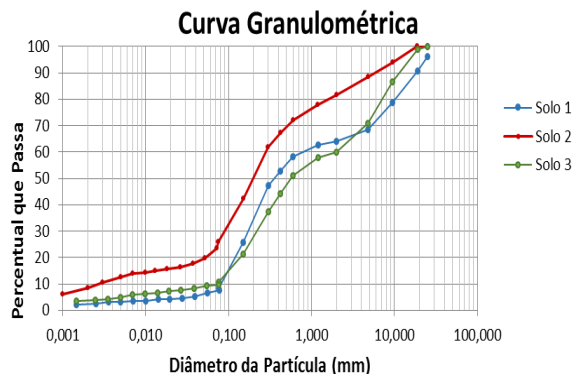


Figura 7. Curvas granulométricas das amostras 1, 2 e 3.

As frações granulométricas das amostras, assim como os coeficientes de não uniformidade (CNU) e de curvatura (CC) são apresentadas na Tabela 4, conforme ABNT NBR – 6502/1995.

Tabela 4. Frações granulométricas em porcentagem, CNU e CC das amostras.

Amostras	Solo1	Solo2	Solo3
Pedregulho	36,12	18,43	40,22
Areia	57,21	61,87	50,62
Silte	4,62	11,16	5,30
Argila	2,05	8,53	3,86
CNU	10	93	25
CC	0,5	9,64	0,3

Dessa maneira, percebe-se que todas as amostras são predominantemente granulares. A Tabela 5 apresenta a classificação dos solos pelos métodos Unificado e Rodoviário.

Tabela 5. Classificação da Granulometria Conjunta.

Amostra	Classificação Unificada	Classificação Rodoviária
Solo 1	SP-SM	A-3
Solo 2	SM	A-2-4
Solo 3	SP-SM	A-1b

4.2 Limites de Consistência das amostras

Os limites de consistência das amostras e seus índices de plasticidade são representados na Tabela 3.

Tabela 3. Limites de consistência e Índice de Plasticidade das amostras.

Limites de consistência (%)	Solo 1	Solo 2	Solo 3
LL	NL	NL	NL
LP	NP	NP	NP
IP	NP	NP	NP

4.3 Resultados dos ensaios de compressão simples

De maneira geral, os resultados indicaram que quanto menor índice de vazios de moldagem e maior o teor de cimento, maior é sua resistência à compressão simples.

As Tabelas 6, 7 e 8 apresentam os valores obtidos no ensaio de compressão simples para teores de cimentação de 2,5%; 5% e 10%. Para cada amostra, foram moldados dois corpos-de-prova, para cada teor de cimentação, denominados por CP1 e CP2.

Tabela 6. Valores obtidos na resistência à compressão simples para 2,5% de cimentação.

Amostra	e	RC kPa
Solo 1 - CP1	0,55	77,17
Solo 1 - CP2	0,54	77,86
Solo 2 - CP1	0,57	104,96
Solo 2 - CP2	0,54	114,75
Solo 3 - CP1	0,58	51,23
Solo 3 - CP2	0,55	56,10

Tabela 7. Valores obtidos na resistência à compressão simples para 5,0% de cimentação.

Amostra	e	RC kPa
Solo 1 – CP1	0,56	163,45
Solo 1 – CP2	0,55	186,67
Solo 2 – CP1	0,55	369,27
Solo 2 – CP2	0,51	394,93
Solo 3 – CP1	0,56	123,61
Solo 3 – CP2	0,54	132,42

Tabela 8. Valores obtidos na resistência à compressão simples para 10% de cimentação.

Amostra	e	RC kPa
Solo 1 – CP1	0,56	592,11
Solo 1 – CP2	0,55	595,31
Solo 2 – CP1	0,55	1291,82
Solo 2 – CP2	0,55	1293,73
Solo 3 – CP1	0,53	494,90
Solo 3 – CP2	0,53	491,13

A amostra Solo 2 apresentou, para todos os teores de cimento, maiores valores de resistência a compressão simples. Já os menores resultados foram obtidos para a amostra Solo 3. Os maiores valores obtidos para a amostra Solo 2 se deve a sua maior parcela arenosa, além de que sua curva granulométrica ser mais bem graduada do que as demais.

A Figura 8 apresenta a relação da resistência à compressão simples em função do teor de cimento adicionado a amostra. Já que os índices de vazios de moldagem foram bem próximos, foi feita uma média das resistências obtidas dos corpos de prova CP1 e CP2, para cada teor de cimento utilizado.

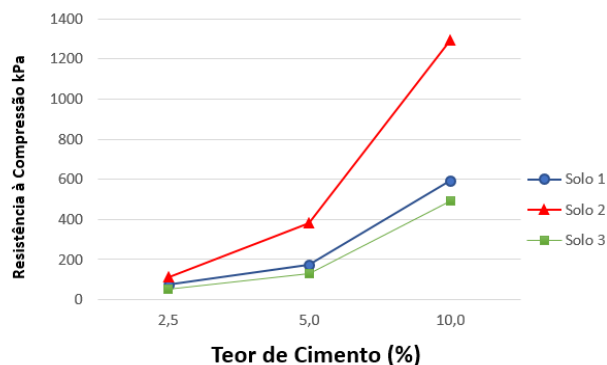


Figura 8. Resistência a compressão simples versus teor de cimento dos corpos de prova.

A resistência à compressão simples máxima apresenta crescimento de acordo com o aumento dos teores de cimento.

A relação do teor de cimento junto com o índice vazios de moldagem dos corpos de prova mostram o aumento da resistência à compressão simples quanto menor for o índice de vazios de moldagem. Apesar do índice de vazios de moldagem dos corpos de prova serem próximos, houve variação da resistência a compressão simples com este comportamento.

É importante lembrar que a porcentagem de umidade do solo e o índice de vazios alteram a resistência à compressão simples do solo de maneiras distintas.

Consoli *et al* (2009 Apud LOPES 2012), vendo por este ponto, chegou à conclusão que, nos ensaios de compressão simples, a relação entre o índice de vazios e a quantidade de cimento seria mais apropriada na análise do que aplicar uma relação entre água e a quantidade de cimento. Essa conclusão foi obtida a partir da comparação da variação da resistência à compressão simples avaliando inicialmente a relação água/cimento e, posteriormente, a relação índice de vazios/cimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos no ensaio de compressão simples e dos ensaios de caracterização dos solos pode-se concluir que:

As amostras Solo 1, Solo 2 e Solo 3 apresentaram características semelhantes, conforme classificação pelos métodos unificado e rodoviário.

Todas as amostras apresentaram características não plásticas, sendo denominadas como NP.

Os corpos de prova foram moldados com índice de vazios próximos de 0,55 e com umidade igual a 10%.

Analisando os resultados do ensaio de compressão simples, os corpos de prova com maiores teores de cimento e menor índice de vazios tiveram maiores resistências máximas nos ensaios.

Amostra Solo 2 apresentou, para todos os teores de cimento, maiores valores de resistência a compressão simples. Já os menores resultados foram obtidos para a amostra Solo 3. Os maiores valores obtidos para a amostra Solo 2 se deve a sua maior parcela arenosa, além de que sua curva granulométrica ser mais bem graduada do que as demais.

dos solos. 3.ed. São Paulo: oficina de textos, 367 p.
Santos Filho, W.M. dos et al. (2014) *Análise da Utilização de Solo-Cimento em Fundação Tipo Alicerce Corrido : Estudo de Caso*. COBRAMSEG 2014. Goiânia-GO, 7 p.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, NBR – 12025/1990: *Solo-cimento Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos*, Rio de Janeiro, 3.p.
- _____. NBR – 12770/1992: *Ensaio de compressão simples*, Rio de Janeiro, 3 p.
- _____. NBR 6502/1995: *Rochas e Solos*. Rio de Janeiro, 18 p.
- _____. NBR – 5733/1991: *Cimento Portland de alta resistência inicial*, Rio de Janeiro, 5 p.
- _____. NBR 7180/1984: *Solo - determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro, 3 p.
- _____. NBR – 7181/1984: *Solo- Análise granulométrica*, Rio de Janeiro, 13 p.
- Caputo, H.P. (1988) *Mecânica dos solos e suas aplicações I*. 6.ed. Rio de Janeiro: livros técnicos e científicos, 234 p.
- Cruz, R.C. e Consoli, N.C. (2010) *Metodologia de dosagem de um solo cimentado submetido à tração*. Porto Alegre:UFRS, 4 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, *Cidades*. Disponível em:<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=240080&search=rio-grande-do-norte|angicos>>. Acesso em 10 mai. 2016.
- Lopes, F.M.G. (2012) *Estudo do comportamento mecânico de areias artificialmente cimentadas*. 109 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 212.
- ME -18/Métodos de ensaio (2007). *Ensaio à Compressão de Corpos-de-prova de Solo-cimento*. Recife. 7 p.
- Pinto, C. de S. (2006) *Curso básico de mecânica*