

ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES EM SOLO CIMENTADO COMPOSTO POR CIMENTO PORTLAND E AREIA DE OSÓRIO

Prof. Dr. Antônio Thomé

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Civil da Universidade de Passo Fundo
thome@upf.br

Mateus Forcelini

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade de Passo Fundo
mateusforcelini@yahoo.com.br

Gregório Rigo Garbin

Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade de Passo Fundo
120355@upf.br

Vítor Pereira Faro

Doutorando em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
vitorpereirafaro@gmail.com

Resumo: *Este artigo apresenta resultados e análises realizadas sobre o rompimento à compressão axial de solo-cimento composto por cimento Portland e areia de Osório. A importância deste trabalho é conhecer parâmetros básicos deste material que apresenta importante aplicação como reforço de solos em fundações submetidas a carregamentos horizontais. O produto da mistura foi dosado com 7% de Cimento Portland CPV-ARI, areia de Osório e umidade de 10%, ensaiados conforme ABNT/NBR 12025. Também foram moldados e compactados conforme um dos três parâmetros de vazios pré-estabelecidos, o qual caracteriza as diferentes configurações. Os índices de vazios utilizados foram 0,60; 0,66 e 0,72, e a partir destes, realizou-se o rompimento para idades de cura de sete e quatorze dias.*

Palavras-chave: *Solo-Cimento. Ensaio de Compressão Simples. Cimento Portland e Areia de Osório.*

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento do produto da mistura entre Cimento Portland e Areia de Osório quando submetidos à compressão axial (compressão simples).

Foram dosados e moldados três corpos de prova cilíndricos para cada configuração e idade de ruptura. Tais misturas possuem valores fixos de umidade e percentual de cimento, 10% e 7% respectivamente, variando o índice de vazios da mistura entre 0,60, 0,66 e 0,72. Posteriormente, realizou-se a ruptura em prensa de compressão simples nos corpos de prova cilíndricos conforme NBR 12025.

Na sequência serão descritos os materiais e métodos utilizados, dando por fim os resultados e conclusões obtidas.

2. MATERIAIS UTILIZADOS

Em suma foram utilizados três materiais para a execução da mistura: Areia de Osório; Cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI) e Água. Tais materiais serão descritos detalhadamente na sequência.

2.1. Areia de Osório

A areia de Osório é um agregado miúdo proveniente da cidade de Osório – Rio Grande do Sul, Brasil. É uma areia de granulometria fina, arredondada, uniforme e ausente de material orgânico, conforme determinado no laboratório Environgeo/UFRGS e FARO *et al* (2011) seguindo Tabela 1 e Figura 1.

Tabela 1: Índices físicos da areia de Osório.

Índices Físicos	Areia de Osório
Massa específica real dos grãos	2,65kN/m ³
Coefficiente de uniformidade, C _u	2,11
Coefficiente de curvatura, C _c	1,15
Diâmetro médio, D ₁₀	0,09mm
Diâmetro médio, D ₅₀	0,17mm
Índice de vazios mínimo, e _{min}	0,60
Índice de vazios máximo, e _{máx}	0,85

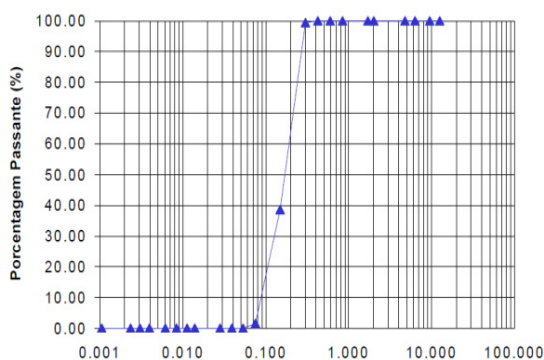


Figura 1: Curva de distribuição Granulométrica da areia de Osório.

2.2. Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

O cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI) tem como característica fundamental o seu potencial aglomerante na presença da água, fator intrínseco aos materiais cimentantes. Possui como diferencial apresentar ganhos de resistência elevados logo após os primeiros dias de hidratação e tendência à estabilização após os sete dias de cura.

O cimento CPV-ARI apresenta as supracitadas resistências devido ao alto grau de moagem ao qual é submetido após a calcinação. Em comparação com os outros cimentos Portland, este possui também uma mistura mais pura, sendo composto por 95 a 100% de clínquer e podendo receber a adição de 0 a 5% de filer calcárico, ausente de adições pozolânicas ou escória de alto forno.

O uso do CPV-ARI se justifica por apresentar o mesmo desenvolvimento de resistência à compressão simples observado nos outros cimentos Portland com cura de sete dias, aos três dias de cura (Figura 2),

permitindo assim a execução dos ensaios com uma idade menor - no mínimo sete dias.

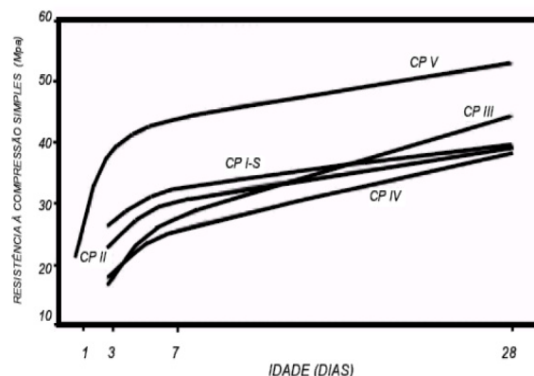


Figura 2: Evolução média de resistência à compressão dos diferentes tipos de Cimento Portland ABCP (2002)

2.3. Água.

Durante o ensaio foi utilizada água proveniente dos poços artesianos da Universidade de Passo Fundo - tanto para a moldagem quanto para a preparação dos rompimentos dos corpos de prova -, podendo conter impurezas. Entretanto, é o tipo de água que mais se aproxima dos casos de utilização na mistura de solo-cimento em campo.

3. PROCEDIMENTOS UTILIZADOS.

Para a confecção da mistura foram estipulados índices de vazios de 0,60; 0,66 e 0,72 que intercalam valores dentro dos intervalos mínimo e máximo da Areia de Osório.

A porcentagem de solo de cimento é definida pela razão entre a massa de cimento e a massa da mistura de solo-cimento seco e foi estabelecida como sendo de 7%.

De forma a distinguir os corpos de prova de solo cimento foi utilizado a seguinte denotação: 7%_{ex_yd}CP_j, onde os 7% representam a porcentagem de cimento sobre a massa da mistura, o parâmetro *x* representa o índice de vazios (*e*), a variável *y* representa a idade de cura do corpo de prova e a incógnita *z* representa a numeração do corpo de prova.

3.1. Moldagens dos Corpos de Prova.

A preparação dos corpos de prova para ensaios de compressão simples se realizou em laboratório e sucedeu-se à norma NBR 12024/92.

Os corpos de prova foram moldados para contemplar o tempo de cura do cimento de sete e quatorze dias, realizando cura em ambiente hermético sem perda de umidade. Foram utilizados moldes de 50 milímetros de diâmetro por 100 milímetros de comprimento, sendo estes fabricados de Policloreto de Vinila (PVC), com paredes reforçadas, e braçadeiras metálicas de modo a resistir aos esforços de compactação.

Já para a compactação dos corpos de prova foi utilizado um soquete de madeira com marcações de três camadas iguais de modo a contemplar os 100 mm de altura, onde se obteve o índice de vazios desejados apenas alterando a massa da camada à altura constante.

As amostras preparadas foram armazenadas até 24 horas antes da realização dos ensaios em sacos plásticos para evitar a perda de umidade, a partir de onde foram imersas em águas para realizar o rompimento em estado de próximo ao de saturação.

3.2. Controle da Umidade.

Tendo uma umidade de mistura fixa de 10% conforme proposta por CONSOLI *et al* (2010). A areia utilizada para a mistura foi seca em estufa por no mínimo 24 horas, e após a confecção ainda foram retiradas amostras para secagem em estufa a 105 °C de modo a realizar a conferência da umidade da mistura.

A realização do controle de umidade mostrou uma variação de 0,7 pontos percentuais na umidade para mais ou para menos e um desvio padrão no controle de 0,38 pontos percentuais conforme explicitado na Tabela 2.

Tabela 2: Resultado do controle da umidade para os corpos de prova.

Umidades Corpos de Prova	
Corpo de Prova	Resultado Controle Umidade (%)
7%_0,60_7d_CPI	9,82
7%_0,60_7d_CPII	9,93
7%_0,60_7d_CPIII	9,20
7%_0,66_7d_CPI	9,87
7%_0,66_7d_CPII	10,41
7%_0,66_7d_CPIII	9,37
7%_0,72_7d_CPI	9,55
7%_0,72_7d_CPII	9,55
7%_0,72_7d_CPIII	9,37
7%_0,60_14d_CPI	10,07
7%_0,60_14d_CPII	10,11
7%_0,60_14d_CPIII	10,41
7%_0,66_14d_CPI	9,15
7%_0,66_14d_CPII	9,79
7%_0,66_14d_CPIII	9,73
7%_0,72_14d_CPI	9,91
7%_0,72_14d_CPII	9,89
7%_0,72_14d_CPIII	9,31
Desvio Padrão :	0,38

3.3. Controle do Peso e Dimensão dos Corpos de Prova.

Após a desmoldagem dos corpos de prova era realizada a verificação da massa e conseqüentemente o calculo de relação entre a massa específica encontrada com a massa específica natural da mistura úmida e massa específica seca, onde se observou variações máximas de 0,05. Quando o valor de relação é unitário implica que o corpo de prova possui exatamente a massa teórica de dosagem.

Quanto ao controle das dimensões, foram utilizados procedimentos semelhantes ao controle da massa, contudo este apresentou variações de cerca de 6 milímetros para o comprimento dos corpos de prova e variações de 0,2 milímetros em relação ao diâmetro.

3.4. Ensaio de Compressão Simples.

Para a realização dos ensaios foi utilizada uma prensa de compressão simples automática (1,14 mm/min) com célula de carga de capacidade máxima de 10000 kgf.

Vinte e quatro horas antes da ruptura, os corpos de prova eram imersos em um recipiente cheio d'água para aproximar o estado do corpo de prova ao estado de saturação - situação mais desfavorável.

4. RESULTADOS OBTIDOS.

Depois de realizado o rompimento dos corpos de prova, obtivemos a resistência média

das misturas em MPa, que após o tratamento dos dados, pode ser compilada como mostrados na Tabela 4 e também o gráfico apresentado pelas Figura 4 e 5.

Tabela 4: Média dos resultados à compressão simples.

Índice de Vazios	Resistência à Compressão	Resistência à Compressão
	em 7 dias (MPa)	em 14 dias (MPa)
0,60	2,35	2,38
0,66	1,82	1,85
0,72	1,48	1,53

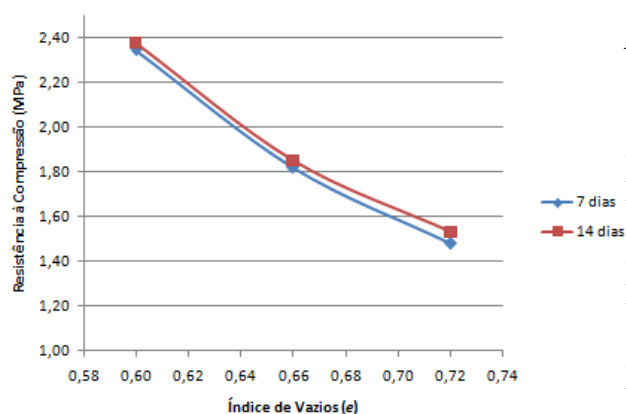


Figura 4: Gráfico dos Resultados de resistência à compressão em função do índice de vazios.

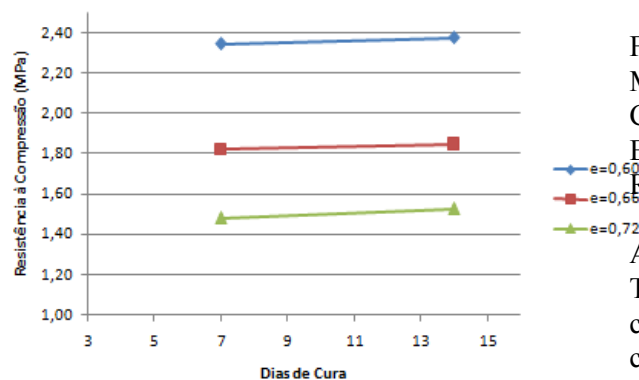


Figura 5: Gráfico da resistência à compressão em função dos dias de cura.

A Fig. 4 mostra o desenvolvimento da curva de resistência à compressão axial conforme a variação do índice de vazios para idades de ruptura de sete e quatorze dias. É possível observar o decréscimo quase exponencial desta resistência em função do aumento do índice de vazios (e), o que pode ser explicado fisicamente, pois misturas que apresentam menor índice de vazios são mais compactas e, portanto mais resistentes.

Também é visualmente notável que os corpos de prova com mais tempo de cura, no caso quatorze dias, apresentam resistências levemente superiores, porém de magnitude desprezível.

Como se pode observar, as retas da Fig. 5 – que expressam a resistência à compressão em função do tempo de cura do corpo de prova – possuem uma leve inclinação, praticamente nula, comprovando assim o baixo desenvolvimento de resistência e a tendência à estabilização do cimento Portland CPV-ARI conforme Figura 2.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao Laboratório de Geotecnia “LABGEO” da Universidade de Passo Fundo e seus funcionários; ao professor orientador Dr. Antônio Thomé; aos meus colegas e amigos Gregório Rigo Garbin e Paulo Roberto Ebone Marosin pela companhia e o auxílio dado durante a moldagem e ensaio dos corpos de prova; e especialmente ao doutorando Vítor Pereira Faro, pois sem ele esta pesquisa nunca teria sido possível.

5. REFERÊNCIAS

- FARO, V. P.; CONSOLI, N. C; CALDEIRA, G. M. I.; MARQUES, V. F. S. Estudo das Características de Resistência de uma Areia Estabilizada com Cimento e Fibra. REGEOSINTÉTICOS 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos. NBR 12025 MB 3361. Dezembro de 1990.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Solo-cimento – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos. NBR 12024. Abril de 1992.
- CONSOLI, N. C.; CRUZ, R.C; FLOSS, F.M; FESTUGATO, L. Parameters controlling tensile and compressive strenght of artificially cemented sand. JOURNAL OF GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL ENGINEERING (May 2010).