

*XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*  
*IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas*  
*IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens*  
*VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens*  
*15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP*



## Estudo da Dosagem e Comportamento do Mecânico de Solo-Cimento Autoadensável com variação no teor de cimento e água

Gabriel Andrin Anater

Acadêmico do Curso de Engenharia Civil, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, Brasil, gabrielanater@gmail.com

Lucas Quicca Zampieri

Professor Mestre, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, Brasil, lucas.zampieri@unoesc.edu.br

Ana Cristina Bernardi

Engenheira Civil, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, Brasil, acristinabernardi@gmail.com

Fabiano Alexandre Nienov

Professor Doutor, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, Brasil, fabiano.nienov@unoesc.edu.br

Gislaine Luvizão

Professora Mestre, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, Brasil, gislaine.luvizao@unoesc.edu.br

**RESUMO:** Este estudo apresenta um estudo sobre solo-cimento autoadensável, buscando relacionar parâmetros de dosagem com o desempenho mecânico resultante e também quanto o comportamento reológico das misturas no estado fresco. Para tal estudo foram utilizados como materiais o solo da região de Joaçaba – Santa Catarina, cimento Portland, água e aditivo superplastificante. Para a proporção dos materiais, utilizou-se de maneira constante a quantidade de solo e a porcentagem de aditivo superplastificante de 3,5% para todas as misturas. Os teores de adição de cimento variaram em 20%, 25% e 30% e de água em 52%, 56% e 60%. Os ensaios do estado fresco foram realizados para julgar as misturas autoadensáveis, através de ensaios de espalhamento, com um pequeno cone, e de fluidez, com o V-Funil, que apresentaram comportamentos semelhantes ao do concreto. Para os ensaios de estado endurecido, foram realizados ensaios de resistência à compressão simples, tração por compressão diametral e massa específica natural. Os ensaios mecânicos apresentaram valores fortemente relacionados ao fator água/cimento, com resultados que variam de 1,25 MPa à 3,05 MPa aos 28 dias. A resistência à tração por compressão diametral apresentou valores de aproximadamente 10% da resistência à compressão simples.

**PALAVRAS-CHAVE:** Solo-cimento, autoadensável, reologia, resistência mecânica

**ABSTRACT:** The article presents a study on soil-cement self-compacting, seeking to relate the dosing parameters to the mechanical performance, as well as on the rheological behavior of the fresh state mixtures. For the study it was used soil from the region of Joaçaba – Santa Catarina, Portland cement, water, and superplasticizer additive. For the proportion of materials, it was used a constant amount of a soil quantity, the percentage of superplasticizer additive was 3.5%, the cement contents varied by 20%, 25% and 30% as the water by 52%, 56% and 60%. The fresh state tests were performed to analyze the self-sustaining conditions through spreading test, using a small-cone, and fluidity, with V-Funil test, which presented a similar behavior to concrete. About the tests of hardened state, were carried out tests of simple compression, diametral compression traction and natural mass. The mechanics tests showed strongly related values to water/cement factor with resistance tests variation at 1,25 MPa at 3,05 MPa at 28 days for compressive strength.

**KEYWORDS:** Soil-cement, self-compacting, rheology, mechanical performance.



## 1 Introdução

A técnica do solo-cimento se propagou pelo setor da engenharia civil, uma vez que traz a possibilidade de aproveitar um recurso abundante dentro de um canteiro de obras, o solo. A maneira mais aplicada e difundida de emprego do solo-cimento é a compactada, sendo moldando ou conformando a mistura. Essa técnica é utilizada em situações diversas como nas obras de pavimentação e barragens, nesses casos envolvendo a conformação, ou na produção de materiais de construção civil como tijolos, acontecendo a moldagem. Contudo, para o emprego do solo-cimento compactado é indispensável a utilização equipamentos como prensas manuais e automáticas, para que a mistura obtenha as características dela esperadas. Porém, tais equipamentos muitas vezes se tornam inviáveis devido ao investimento que eles demandam.

Devido a esse impasse, torna-se interessante o estudo de uma outra alternativa de emprego de solo-cimento que não demande um investimento inicial tão significativo, algo capaz de dispensar uso da compactação. Uma possível solução é apresentada no solo-cimento autoadensável, que pode ser executado utilizando um misturador e aditivos superplastificantes, e para a moldagem utiliza apenas a ação da gravidade.

Dessa maneira, este estudo possui o objetivo de analisar o comportamento de misturas de solo-cimento com comportamento autoadensável variando parâmetros de dosagem, com o intuito de encontrar conformidades entre os parâmetros e o comportamento mecânico.

## 2 Referencial Teórico

O solo-cimento, conforme Abiko (1980), é resultado da mistura entre solo, cimento e água, onde o solo é um material abundante e de fácil obtenção, e o cimento trata-se de uma adição que auxilia na estabilização do solo reduzindo a sua instabilidade volumétrica e aumentando as propriedades quanto a resistência à compressão.

Qualquer tipo de solo pode ser utilizado na elaboração de misturas de solo cimento, de acordo com Abiko (1980), contudo alguns solos necessitarão de uma maior quantidade de cimento para obter melhores resultados.

Felt (1955) explica que, as diferenças encontradas nos resultados dos estudos de solo-cimento existem por causa das propriedades dos solos envolvidos, que reagem de maneira diferente quanto o cimento devido a sua composição química.

Quanto aos aspectos tecnológicos de dosagem, em estudos direcionados a solos-cimento compactados muitos autores relatam que existe uma certa dificuldade em adotar o fator água/cimento como uma variável de estudo, porque, conforme relatam Fonseca et al. (2009) e também Consoli et al. (2007), cada solo possui sua particularidade quanto a sua estrutura, compactação e ações físico-químicas decorrentes das misturas.

O fator considerado na grande maioria dos trabalhos como parâmetro de estudo dos solos-cimento é a relação dos índices de vazios do solo com o volume de cimento adicionado, que foi um objeto de estudo de Consoli et al. (2007) e também de Fonseca et al. (2009), e chegou-se na conclusão que conforme obtém-se uma redução da porosidade ocorre um aumento exponencial da resistência à compressão, isso acontece porque a diminuição da porosidade desencadeia um aumento no número de contatos, e além disso, conforme acrescenta-se cimento na mistura, ocorre um aumento da resistência à compressão do solo-cimento.

Quanto as maneiras que o solo-cimento pode ser categorizado se encontram o solo-cimento compactado (SCC), o solo-cimento plástico (SCP) e o solo-cimento de característica autoadensável (SCAA). Todos possuem em suas composições os componentes: solo, cimento e água, contudo a diferenciação está na maneira como os mesmos são executados (SEGANTINI, 2000, apud SILVA 2016).

O solo-cimento autoadensável é apresentado por Alcântara e Berté (2013) com o acréscimo de um aditivo químico, porque segundo os autores, o SCAA deve ser capaz de adensar-se unicamente sob a ação da gravidade, ou seja, seu peso próprio, possuindo uma característica fluída mas sem apresentar sinais de exsudação e segregação dos componentes.

## 2.1 Interferência do cimento e aditivos superplastificantes

Quanto aos parâmetros reológicos, quanto maior for a superfície específica do cimento, ou seja, quanto maior for a quantidade de partículas de cimento em contato com água dentro de uma mistura, maior será a viscosidade da amostra devido a diminuição da distância entre as partículas de cimento e o aumento de colisões das mesmas, reduzindo a tensão de escoamento (GJORV, 1992 apud TUTIKIAN e MOLIN, 2015).

Os aditivos superplastificantes são adições químicas que conseguem manter uma boa trabalhabilidade nos concretos mesmo com um baixo teor de água/cimento, sendo muitas vezes denominados como redutores de água de longo alcance. Eles podem ser utilizados de duas maneiras, podem ser usados para manter a fluidez, possibilitando uma redução de água e implicando no volume de vazios ou ele pode ser um agente fluidificante, aumentando a fluidez com um fator água/cimento constante (CATARINO, 2012).

Tutikian e Molin (2015) relatam que os superplastificantes a base de policarboxilatos são os mais adequados na utilização de concretos autoadensáveis, uma vez que é de alta eficiência quanto a dispersão do cimento. Trata-se de uma geração de aditivos que aumentam a carga negativa do cimento, causando a dispersão por repulsão elétrica, de maneira mais eficiente já que possui cadeias ramificadas.

## 3 Materiais e métodos

Durante o desenvolvimento do estudo foram utilizados os seguintes materiais: solo da região de Joaçaba – SC; cimento Portland do tipo II Z 32 e aditivo superplastificante a base de policarboxilatos com ação eletrostática. Como equipamento para a realização da mistura, utilizou-se uma argamassadeira.

O solo utilizado no estudo foi caracterizado pelo método trilinear de classificação textural como uma argila. Para os limites de Attenberg, o limite de plasticidade, segundo a NBR 7180 (ABNT, 2016), atingiu o valor de 44% de umidade, enquanto o limite de liquidez encontrou-se aos 70%, conforme as diretrizes da NBR 6459 (ABNT, 2016). Além destes, também foi executado o ensaio para a determinação de massa específica do solo, conforme o método do departamento nacional de estradas de rodagem (1994) chegando-se ao resultado de 2,69 g/cm<sup>3</sup>.

### 3.1 Programa experimental

Para a realização da pesquisa foram elaboradas nove misturas de solo-cimento, conforme a Figura 1, onde a quantidade de solo mantinha-se fixa, assim como a porcentagem de aditivo na relação superplastificante/cimento. Já as quantidades de agente cimentante e água sofriam variações, com o intuito de estudar a influência que essas diferenciações causariam.

Para definir os teores de umidade das misturas, utilizou-se o teor de umidade encontrado no ensaio de limite de liquidez. A partir da umidade encontrada no ensaio, foram realizados testes diminuindo a quantidade de água devido a ação do aditivo superplastificante. Aferiu-se que com 56% de umidade a mistura apresentava bom comportamento e decidiu-se usar a umidade das misturas com esse teor e uma variação de  $\pm 4\%$ , resultando nos teores de 52% e 60%.

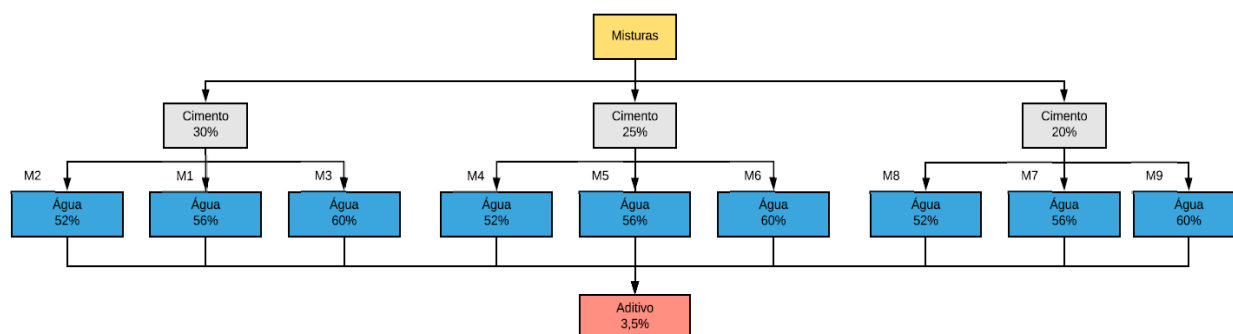


Figura 1. Diagramas das misturas



Quanto ao procedimento de realização das misturas, inicialmente executava-se a dosagem dos materiais e os misturava na cuba da argamassadeira. Em seguida a massa era batida, sempre em velocidade lenta, até atingir homogeneidade, sendo que nesse ponto o processo era interrompido para adição de 50% do aditivo superplastificante. O processo era retomado e após alguns instantes adicionava-se o restante do aditivo. A mistura era concluída no momento quando não era mais observada uma mudança de consistência.

Para a moldagem dos corpos de prova foram utilizados moldes de PVC, com um diâmetro de 50mm e altura de 100mm. Durante o processo de moldagem também foi avaliado o adensamento, que deveria ocorrer apenas com o peso próprio da mistura.

Quanto ao processo de cura os CPs, eram moldados e deixados em repouso por um dia, posteriormente submersos em recipientes com água até o momento de desmoldagem, que era seguida dos ensaios. Em momento algum foi realizado um controle de temperatura.

Foram moldados 16 corpos de prova para cada mistura, sendo que metade deles seriam rompidos aos 7 dias e a outra aos 28 dias. A cada 8 corpos de prova, 4 seriam submetidos ao ensaio de compressão simples e os outros 4 submetidos ao ensaio de tração por compressão diametral.

A desmoldagem dos corpos de prova cilíndricos acontecia com o auxílio de um macado hidráulico, seguido da extração das informações quanto as dimensões e peso de cada um.

### 3.2 Ensaios no estado fresco e no estado endurecido

Para validar a característica de autoadensável das misturas de solo-cimento, foram realizados os ensaios de espalhamento por escoamento livre, conhecido como “slump-flow”, e o ensaio de escoamento confinado, o V-funil. Quanto o ensaio de espalhamento, descrito em Nunes (2001), consistia em utilizar um cone com 65 mm de altura e diâmetros menor e maior de 78 mm e 125 mm, respectivamente, e uma placa metálica como base em um local nivelado. O tronco de cone era umidecido e posteriormente preenchido com a mistura. Na sequência erguia-se o cone com um movimento vertical e media-se o maior diâmetro e o perpendicular.

Já o ensaio do V-funil ocorreu conforme descrito por Alcântara e Berté (2013). Para a execução foi utilizado uma garrafa pet apoiada sobre um tripé. O processo de ensaio consistia em encher a garrafa pet com 1000g de mistura e cronometrar o tempo de escoamento, obtendo assim um valor de tempo em segundos. A cronometragem era pausada no momento em que se notasse os primeiros pontos de luz no fundo do funil.

Quanto aos ensaios no estado endurecido, foram realizados o de Resistência à Compressão Simples, seguido as orientações da NBR 12025 (ABNT, 2012), e de Resistência à Tração por Compressão Diametral, segundo o Brazilian test method, ambos aos 7 e 28 dias.

## 4 Resultados dos ensaios no estado fresco

Na Figura 2 são apresentados os resultados do ensaio de escoamento livre das misturas estudadas e demonstrados conforme os teores de umidade.

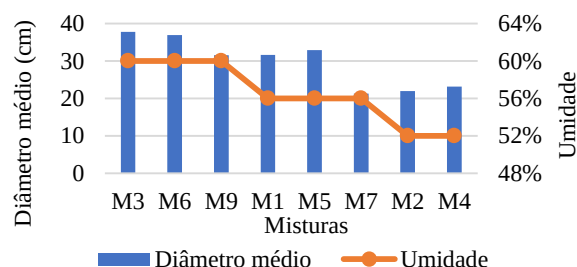


Figura 2. Resultados dos ensaios de empalhamento.

Durante a realização do ensaio de espalhamento foram checadas as condições da superfície das misturas que se apresentaram homogêneas, sem sinais de segregação, sem diferenças notáveis quanto à altura

das amostras espalhadas. De maneira geral, as superfícies apresentavam formatos circulares que sofriam diferenciações quanto os diâmetros de acordo com a quantidade de água empregada na mistura. Notou-se que as misturas que possuíam um maior teor de umidade empregado se encontram entre os maiores diâmetros, comprovando a ação da água como um agente fluidificante na mistura.

Também foi observado que as misturas que continham um teor de cimento mais elevado apresentaram resultados mais satisfatórios quanto ao espalhamento, com diâmetros médios maiores, situação que está de acordo com o que relata Tutikian e Molin (2015), já que quanto maior for a quantidade de cimento em uma mistura com água, menor será a distância entre as partículas e maior será a frequência de colisão entre elas, resultando em redução da tensão de escoamento.

Na Figura 5 aparecem os resultados quanto os ensaios do V-Funil, ou escoamento confinado. Observa-se que as misturas com os maiores diâmetros no ensaio anterior apresentaram um período de escoamento mais curto, tornando os resultados coerentes quanto a fluidez das misturas.

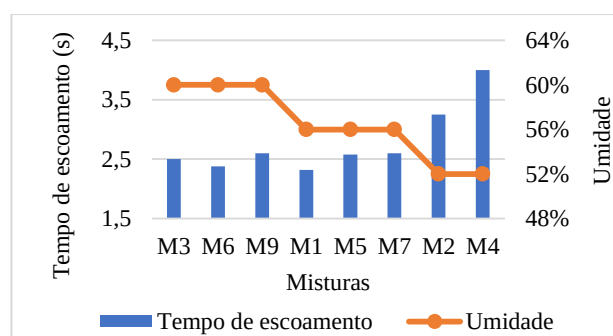


Figura 3. Resultados do ensaio do V-Funil.

Na realização deste ensaio deve-se levar em consideração que o fator humano pode influenciar diretamente no resultado por se tratar de um ensaio relativamente veloz.

A mistura 8 não foi capaz de desempenhar o comportamento autoadensável em ambos os ensaios, sendo então tratada como uma mistura não autoadensável.

## 5 Resultado dos ensaios no estado endurecido

Quanto aos resultados dos ensaios do estado endurecido, é possível verificar os valores de resistência média à compressão simples, aos 7 e 28 dias, para as misturas estudadas na Figura 4.

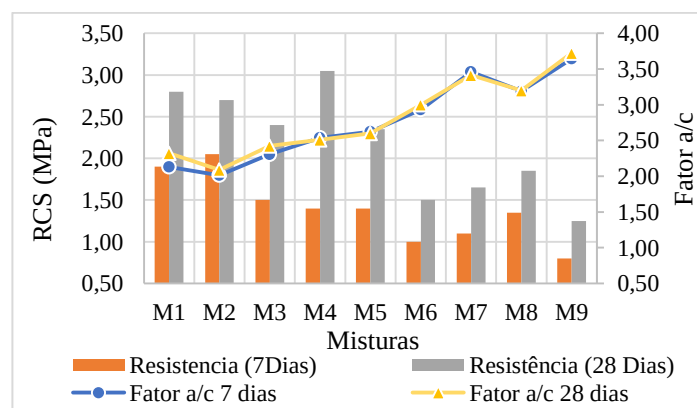


Figura 4. Variação da resistência à compressão simples com discriminação das misturas com fator água/cimento.

Observando os resultados alcançados por meio dos ensaios, se faz perceber que as misturas que possuíam um maior teor de cimento e uma porcentagem mais baixa de umidade apresentaram resultados com

valores mais elevados, uma vez que com uma menor quantidade de água criam-se menos vazios, e a exemplo do concreto, obtêm-se melhores resultados. Situação explicada por Consoli et al. (2007) e Fonseca et al. (2009), onde os autores relatam que isso acontece porque a diminuição da porosidade desencadeia um aumento no número de contatos, e além disso, conforme acrescenta-se cimento na mistura, ocorre um aumento da resistência à compressão do solo-cimento.

Por meio da Figura 5 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de tração por compressão diametral das misturas estudadas, as relacionando com a relação água/cimento. Os resultados seguiram o mesmo raciocínio dos ensaios de compressão simples, tendendo a apresentar melhores resultados quando possuem teores de cimento mais altos e teores de água mais baixos.

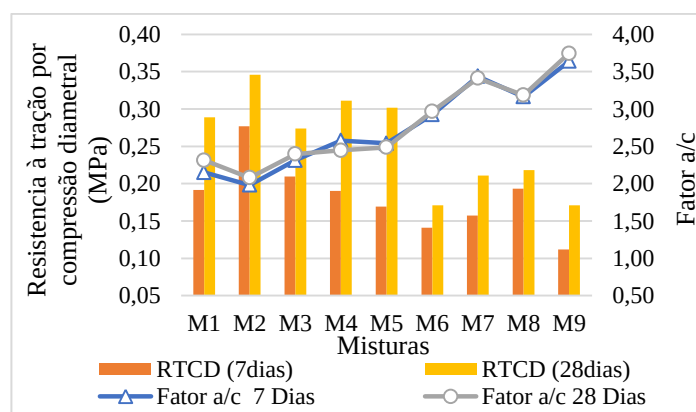


Figura 5. Variação da resistência à tração por compressão diametral e discriminação das misturas com fator água/cimento.

Na Figura 6 foi demonstrada uma relação entre a resistência à tração por compressão diametral e a resistência à compressão simples, aos 7 e 28 dias.

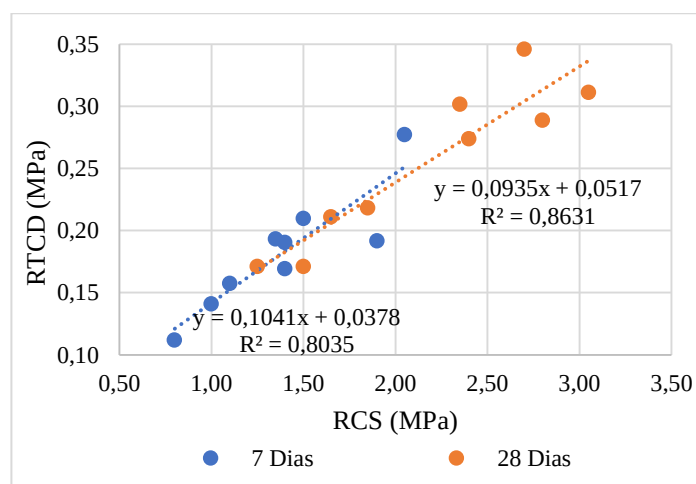


Figura 6. Relação RTCD x RCS aos 7 e 28 dias

Realizando uma relação das resistências obtidas nos ensaios, é possível observar nas figuras que existe uma relação linear crescente entre os resultados. A resistência à tração possui valores de aproximadamente 10% da resistência a compressão.

Para ilustrar a relação das massas específicas naturais e a resistência à compressão simples e a resistência à tração por compressão diametral, as Figuras 7 e 8 apresentam essas associações com o período de cura de 28 dias.



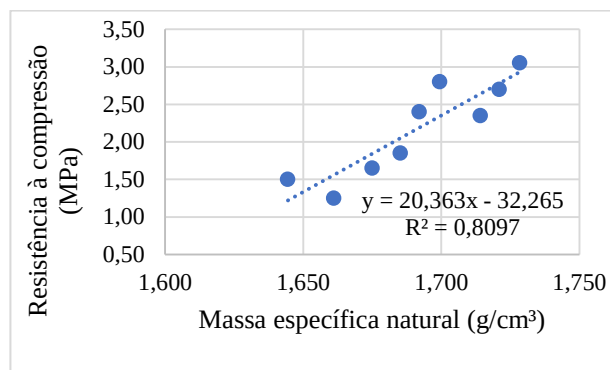


Figura 7. Relação resistência à compressão simples das misturas com massa específica natural aos 28 dias

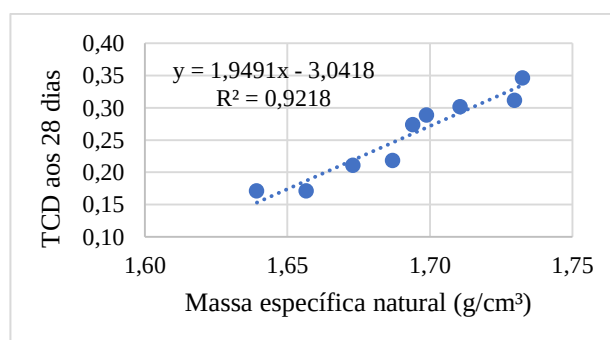


Figura 8. Relação resistência à tração por compressão diametral das misturas com massa específica natural aos 28 dias

É possível observar uma relação entre as resistências e a massa específica natural, onde os valores mais elevados de resistência se encontram com as maiores massas específicas. Esse fato mostra como o fator água/cimento está fortemente ligado ao valor da resistência mecânica, já que quanto maior a quantidade de água empregada no traço menor será a massa específica pois a água ocupará um volume maior no corpo de prova, diminuindo o volume de cimento e solo. Essa situação está coerente com os trabalhos de Consoli et al. (2007) e Fonseca et al. (2009), onde os autores chegam a conclusão que a redução da porosidade e, conseqüentemente, aumento da massa específica, proporciona um aumento da resistência mecânica devido ao maior número de pontos de contato na mistura.

## 6 Conclusão

Com a conclusão dos ensaios e análise dos dados extraídos foi observado que, o fator água/cimento possui uma grande influência nas propriedades reológicas das misturas de solo-cimento autoadensável, uma vez que misturas com teores mais elevados de água e cimento obtiveram os melhores resultados quanto os ensaios de espalhamento e escoamento. Destaca-se também, que com um comportamento similar ao do concreto, quanto maior for o consumo de cimento menor será a tensão de escoamento.

Para a os ensaios do estado endurecido, a relação água/cimento se apresentou um parâmetro significativo de dosagem de misturas de solo-cimento, tanto nos ensaios de compressão simples e tração por compressão diametral, uma vez que foi observado uma perda de resistência mecânica com o aumento dos valores do fator água/cimento. O teor de umidade mostrou-se um grande influenciador das propriedades mecânicas.

Os dados de massa específica natural relacionados com as resistências mecânicas, assim como o fator água/cimento, também se mostraram coerentes. Eles demonstraram que conforme é reduzido o numero de vazios ocorre um aumento na resistência.

XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia  
Geotécnica  
IX Simpósio Brasileiro de Mecânica das Rochas  
IX Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens  
VI Conferência Sul Americana de Engenheiros Geotécnicos Jovens  
15 a 18 de Setembro de 2020 – Campinas - SP



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcantara, M. A. M; Nunes, S. C. B; Rio J. P. M. E. *Estudo do solo-cimento-autoadensável produzido com solos da região do Porto-PT. Parte I: caracterização de propriedades mecânicas*. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil - ISSN 2179-0612, v. 7, n. 2, p. 37-51, 2014
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6459: Determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro. 2016.
- \_\_\_\_\_. *NBR 7180: Determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro. 2016.
- \_\_\_\_\_. *NBR 12025: Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro. 2012.
- Berte, S. D. D; Alcantara, M. A. M. *Estudo do comportamento do solo-cimento auto-adensável*. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil - ISSN 2179-0612, v. 7, n. 2, p. 16-31, 2013
- Catarino, J. F. *Avaliação da Influência do Cimento na Interação Cimento-Superplastificante*. 179 p. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa. 2012.
- Consoli, N. C.; Foppa, D.; Festugato, L; Heineck, K. S. *Key parameters for Strength Control or Artificially Cemented Soils*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, New York, v. 133, n. 2, p.197-205, 2007.
- Da Silva, C. I. *Interação físico-química das misturas de solo-cimento com aditivo superplastificante a base de poliacarboxilatos*. Trabalho de Conclusão de Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2016.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. *DNER – ME 093/94 – Solos- Determinação da densidade real*. 1994, 4p.
- Felt, E. J. *Factors influencing physical properties of soil– cement mixtures*. Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association: Bulletin D5. Authorized Reprint from Bulletin 108 of the Highway Research Board, p. 138-162. 1955.
- Fonseca, A. V; Cruz, R. C; Consoli, N. C. *Strength properties of a sandy soil-cement admixtures*. Journal Geotechnical & Geological Engineering, Oklahoma, v. 27, n. 6, p. 681-686. 2009.
- Nunes, S. C. B. *Betão Auto-Compactável: Tecnologia e Propriedades*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Setembro, 2001. 198p.
- Tutikian, Bernardo Fonseca; Molin, Denise Carpena Dal. *Concreto autoadensável*. 2 ed. São Paulo: Pini, 2015.