

Luis Ricardo Fernandes da Costa
(Organizador)

GEOCIÊNCIAS:

Desenvolvimento científico,
tecnológico e
econômico

2



Luis Ricardo Fernandes da Costa
(Organizador)

GEOCIÊNCIAS:

Desenvolvimento científico,
tecnológico e
econômico

2



Atena
Editora
Ano 2022

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Geociências: desenvolvimento científico, tecnológico e econômico 2

Diagramação: Camila Alves de Cremona
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizador: Luis Ricardo Fernandes da Costa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G342 Geociências: desenvolvimento científico, tecnológico e econômico 2 / Organizador Luis Ricardo Fernandes da Costa. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0743-0

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.430220411>

1. Geociências. I. Costa, Luis Ricardo Fernandes da (Organizador). II. Título.

CDD 550

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

É com muito prazer que apresentamos a obra “Geociências: Desenvolvimento científico, tecnológico e econômico 2”, que apresenta uma série de doze artigos com diferentes propostas de análise espacial, com ênfase em estudos aplicados ou de cunho metodológico.

A obra é composta por trabalhos voltados para as geociências e que abordam diferentes perspectivas, desde análises voltadas para a dinâmica das geociências, passando pela importância dos estudos de impacto ambiental em áreas urbanas, além de estudos em bacias de sedimentação, mineração e impactos de inundações em diferentes ambientes.

Como destaque, cabe ressaltar a aplicabilidade em diferentes contextos e realidades no país. Diante dos desafios e atual conjuntura da ciência brasileira, a presente obra é uma possibilidade e esforço de divulgação de trabalhos com diferentes abordagens e perspectivas de análise nas esferas das geociências.

Convidamos a todos os leitores a percorrer pelo sumário e conferir o novo volume para essa coleção, com possibilidades de expansão e disseminação nos próximos trabalhos da área.

Luis Ricardo Fernandes da Costa

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

A PERSPECTIVE FOR GEOSCIENCE EDUCATION TO IMPROVE THE FUTURE OF HUMANITY

Guilherme O. Estrella

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4302204111>

CAPÍTULO 2..... 12

ALTERAÇÕES GEOMÓRFICAS COSTEIRAS ENTRE ANCHIETA E GUARAPARI, NO ESPÍRITO SANTO, APÓS IMPLANTAÇÃO DO E UBUOS DA COSTA DE ANCHIETA A ABRANGE TRECHO QUE VAI DE ANCHIETA AT SITIVOS DESTESTERMINAL PORTUÁRIO DE UBÚ DA SAMARCO MINERAÇÃO

Roberto José Hezer Moreira Vervloet

Pablo Merlo Prata

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4302204112>

CAPÍTULO 3..... 40

AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTABILIZAÇÃO MECÂNICA FÍSICO-GRANULOMÉTRICA DOS SOLOS DA FORMAÇÃO CABO PARA APLICAÇÃO EM OBRAS DE ENGENHARIA

Eduardo Jorge Nunes Cavalcanti

Anderson José da Silva

Cecília Maria Mota Silva Lins

Samuel França Amorim

Eduardo Antonio Maia Lins

Túlio Pedrosa de Souza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4302204113>

CAPÍTULO 4..... 52

CARACTERIZAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA DO RIO MOXOTÓ, COMO INDICADOR DE AUMENTO NA EMISSÃO DE CO₂ NUM AMBIENTE DE SEMIÁRIDO

Sávio Barbosa dos Santos

Ailton Feitosa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4302204114>

CAPÍTULO 5..... 67

CONJUNTURA DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES DO GRUPO BALSAS NA PROVÍNCIA PARNAÍBA

Cláudio José da Silva de Sousa

Laura Martins Mendes

Paula Fernanda Massetti de Lima

Maria Eduarda da Silva Martins

Karina Suzana Feitosa Pinheiro

Daniel de Lima Nascimento Sório

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4302204115>

CAPÍTULO 6..... 77

CURSO DE EXTENSÃO NA ÁREA DE MINERAÇÃO: O CASO DA COMUNIDADE QUILOMBOLA SUMIDOURO (QUEIMADA NOVA-PI)

Messias José Ramos Neto
Naedja Vasconcelos Pontes
Flávia Bastos Freitas
Wladmir José Gomes Florêncio
Francielson Da Silva Barbosa
Ijan de Carvalho Silva
James Elemieverson Carvalho Oliveira
Alexandre Souza Rodrigues
Vinicius Igor Albuquerque Batista de Araújo
João Paulo Araújo Pitombeira

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4302204116>

CAPÍTULO 7..... 87

ESTUDO DE LIQUEFAÇÃO EM PILHAS DE REJEITO: ELABORAÇÃO DE UM MODELO FÍSICO REDUZIDO PARA ILUSTRAÇÃO DO FENÔMENO

Luísa de Andrade Araújo
Rafael Mendonça Carvalhais
Renata Pereira Gomes
Rodrigo Augusto Rodrigues Alves
Sofia Martins Torres

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4302204117>

CAPÍTULO 8..... 99

USO DAS FERRAMENTAS DO QGIS NA COMPILAÇÃO E VISUALIZAÇÃO ESPACIAL DE DADOS DO MERCADO IMOBILIÁRIO

Bruno Pereira Correia
Daniella Rodrigues Tavares

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4302204118>

CAPÍTULO 9..... 111

EXPLOSÃO E FRAGMENTAÇÃO DA ROCHA DURANTE IMPACTO EM EVENTO DE QUEDA DE BLOCOS – O CASO BANQUETE / RJ

Paulo Pinheiro Castanheira Neto
Armando Prestes de Menezes Filho
Rogério Luiz Feijó

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4302204119>

CAPÍTULO 10..... 122

INFLUÊNCIA DE ONDAS SÍSMICAS GERADAS POR DESMONTES DE ROCHA EM BARRAGEM DE MINERAÇÃO

Sebastião Longino. Silva
Márcio Fernandes Leão

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.43022041110>

CAPÍTULO 11	131
UM BREVE HISTÓRICO DE EPISÓDIOS DE INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS NA ÁREA CENTRAL DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO E AS POLÍTICAS PÚBLICAS DE DRENAGEM URBANA	
Fernanda Figueiredo Braga	
 https://doi.org/10.22533/at.ed.43022041111	
SOBRE O ORGANIZADOR	144
ÍNDICE REMISSIVO	145

AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTABILIZAÇÃO MECÂNICA FÍSICO-GRANULOMÉTRICA DOS SOLOS DA FORMAÇÃO CABO PARA APLICAÇÃO EM OBRAS DE ENGENHARIA

Data de aceite: 01/11/2022

Data de submissão: 08/09/2022

Eduardo Jorge Nunes Cavalcanti

Universidade Federal Rural de Pernambuco/
Unidade Acadêmica do Cabo de Santo
Agostinho
Cabo de Santo Agostinho – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/4405328186529368>

Anderson José da Silva

Universidade Federal de Pernambuco
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/0895425089026343>

Cecília Maria Mota Silva Lins

Universidade Federal Rural de Pernambuco
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/4861195143983172>

Samuel França Amorim

Universidade Federal de Pernambuco
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/6103083772511910>

Eduardo Antonio Maia Lins

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Pernambuco, Universidade
Católica de Pernambuco
Recife – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/6148771863554184>

Túlio Pedrosa de Souza

Universidade Federal Rural de Pernambuco/
Unidade Acadêmica do Cabo de Santo
Agostinho
Cabo de Santo Agostinho – Pernambuco
<http://lattes.cnpq.br/9784237189330033>

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivo avaliar o melhoramento de solos compactados com adição de materiais alternativos, como pó de pedra e fibras de polipropileno, a fim de determinar e avaliar as características físicas e a resistência dos solos a compressão não confinada, antes e depois da estabilização. Para isso foram coletadas duas amostras deformadas distintas de um mesmo talude da Formação Cabo, no Cabo de Santo Agostinho. O melhoramento do solo por meio do reforço físico-granulométrico foi realizado adicionando aos solos secos 5% de pó de pedra, 0,75% de fibras de polipropileno e uma adição conjunta com 5% de pó de pedra e 0,75% de fibras de polipropileno. Os solos foram classificados pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos como SM (solo 1) e um MH (solo 2), ambos com massa específica dos grãos de 2,65 g/cm³. Os ensaios de compressão simples determinaram o ganho de resistência para o solo 1, tendo seu pico na mistura com o pó de pedra com um ganho em média de 117%. Para o solo 2, a fibra obteve resultados expressivos com relação ao solo natural, sendo obtido um ganho de resistência médio de 99,0%. A junção do pó de pedra com a fibra no solo 1, não teve alteração significativa, enquanto no solo 2 ocorreu um aumento de 6,7%, ambos comparados a inserção apenas da fibra, e de 112,25% com o solo natural. Concluiu-se que os materiais utilizados auxiliam no melhoramento de um solo, sendo as técnicas de estabilização física adotadas uma alternativa tecnicamente viável que pode ser utilizada para solos em camadas de base de aterros, pavimentos, etc.

PALAVRAS-CHAVE: Formação Cabo,

EVALUATION OF DIFFERENT METHODS OF PHYSICAL-GRANULOMETRIC MECHANICAL STABILIZATION OF SOILS IN CABO FORMATION FOR APPLICATION IN ENGINEERING WORKS

ABSTRACT: The present work aims to evaluate the improvement of compacted soils with the addition of alternative materials, such as stone powder and polypropylene fibers, in order to determine and evaluate the physical characteristics and resistance of the soils to unconfined compression, before and after stabilization. For this, two different deformed samples were collected from the same embankment of the Cabo Formation, in Cabo de Santo Agostinho. The improvement of the soil through the physical-granulometric reinforcement was carried out by adding 5% stone powder, 0.75% polypropylene fibers to the dry soil and a joint addition with 5% stone powder and 0.75% fiber. polypropylene. The soils were classified by the Unified Soil Classification System as SM (soil 1) and an MH (soil 2), both with a grain bulk specific gravity of 2.65 g/cm³. The simple compression tests determined the resistance gain for soil 1, with its peak in the mixture with the stone powder with an average gain of 117%. For soil 2, the fiber obtained expressive results in relation to the natural soil, with an average resistance gain of 99.0%. The junction of stone powder with fiber in soil 1, did not change significantly, while in soil 2 there was an increase of 6.7%, both compared to the insertion of only fiber, and 112.25% with natural soil. It was concluded that the materials used assist in the improvement of a soil, and the physical stabilization techniques adopted are a technically viable alternative that can be used for soils in base layers of embankments, pavements, etc.

KEYWORDS: Cabo Formation, Physical-Granulometric Stabilization, Mechanical Improvement, Polypropylene Fibers, Stone Powder.

1 | INTRODUÇÃO

No âmbito da engenharia civil, o solo é definido como um agregado não cimentado de grãos minerais e matéria orgânica decomposta, com líquido e gás preenchendo os espaços vazios existentes entre as partículas sólidas (DAS, 2014). O solo é usado como material de construção em diversos projetos da engenharia civil e de suporte para fundações estruturais. Neste estudo para o conhecimento das propriedades e o comportamento do solo, a caracterização física e geomecânica possuem grande relevância.

É frequente encontrar solos naturais sem os requisitos necessários para cumprir adequadamente a função a que estão destinados (CRUZ et al., 2010). Para que os projetos ocorram de forma correta e sem danos técnicos, econômicos, sociais e ambientais, os processos de estabilização das características dos solos por meio do melhoramento são saídas eficazes para solucionar tal problema. De modo geral, para melhorar as características de um solo podem ser utilizados processos de natureza física (estabilização granulométrica), físico-química (uso de materiais compósitos, por exemplo, solo-cimento-

fibra), química (adição de cal, betume, etc) ou mecânica (compactação) de forma a tornar esse solo estável para os limites de sua utilização (GUEDES et al.,2014).

Em se tratando do melhoramento do solo por meio da incorporação de fibra, nos últimos 20 anos, tem-se observado um número crescente de relatos sobre a utilização de fibras de diversos materiais em pesquisas de laboratório, na área de geotécnica. Segundo Trindade et al. (2004) A grande maioria desses trabalhos atesta ganhos de resistência e confirmam a ação de fibras como meio de aumentar a ductibilidade dos solos. As fibras de polipropileno são bastante flexíveis e possuem grande tenacidade. Festugato (2008) observou que uma matriz de solo arenoso com adição de fibras apresentou maior resistência do que o solo sem reforço. O autor verificou, além disso, um comportamento de endurecimento nas misturas solo-fibra estudado, como também que o aspecto das fibras tem importante influência sobre o ganho de resistência e a expansibilidade do material. Segundo Trindade (2006) em seu estudo comparando diferentes comprimentos e quantitativos de fibras para o melhoramento em um solo, obteve-se maior resistência a compressão não confinada para todos os comprimentos em um quantitativo de 0,75% de adição de fibras no solo.

Outro métodos para melhoramento do solo é a aplicação do pó de pedra, onde segundo Bauer (2015) é um material inerte, mais fino que pedrisco, de graduação entre 0 e 4,8 mm que tem maior porcentagem de finos que as areias padronizadas, chegando a 28% do material abaixo de 0,075 mm. Santos (2016), em seu estudo sobre o melhoramento do solo com adição de cal hidratada e pó de pedra, constatou que o maior ganho de resistência deu-se com a adição de 5% de pó de pedra, mostrando ser, dentre as adições analisadas, a mais favorável para o incremento de resistência para este solo, o que pode ser visto como alternativa para solucionar problemas referentes à baixa resistência do solo. Por ser um material inerte, não reage com o solo quimicamente, com isso a sua utilização para a estabilização se baseia nas técnicas de melhoramento físico pelo método de estabilização granulométrica.

O propósito deste trabalho é analisar a viabilidade técnica do uso de materiais alternativos, no caso o pó de pedra e fibras de polipropileno, como estabilizantes em solos com baixa resistência mecânica visando uma melhora em suas propriedades para a aplicação em obras de engenharia, tendo como referência a resistência das misturas obtidas a partir do ensaio de resistência a compressão simples (não confinada).

2 | METODOLOGIA

2.1 Coleta de amostras

As amostras de solos para o desenvolvimento da pesquisa foram retiradas de um mesmo talude, da Formação Cabo, no município do Cabo de Santo Agostinho-PE. A coleta foi realizada a partir de uma visita de campo, onde foram retiradas duas amostras

distintas deformadas para caracterização física e ensaios mecânicos. O talude de onde foram retiradas as amostras é composto por um solo formado por conglomerados, bem característicos da Formação Cabo, composto por clastos que apresentam diferentes granulometrias e composições granulométricas. O local fica ao lado do Campus Provisório da Unidade Acadêmica do Cabo de Santo Agostinho (UACSA/UFRPE), na Rodovia Armínio Guilherme, nº 2685, no bairro Garapu, próximo à rodovia PE-60. As amostras estavam a uma distância de cerca de 1,5 m, mas já apresentavam visualmente características diferentes marcantes, como é possível ver na Figura 1 do talude e das amostras dos solos 1 e 2. A escolha da área foi influenciada pelo atrativo causado pela construção do Shopping Costa Dourada para a região em seu entorno, com um aumento considerável de construções regulares e irregulares.



Figura 1: Talude de onde foram retiradas as amostras dos solos para ensaios e as amostras 1 e 2. Fonte: Autores.

2.2 Procedimento experimental

2.2.1 Caracterização dos solos

Os ensaios para determinação da caracterização física e para avaliação da resistência dos solos seguiram as normas específicas da ABNT e foram realizadas no Laboratório de Mecânica dos Solos da UACSA/UFRPE. Os ensaios que estão apresentados na Tabela 1 foram realizados tanto para os solos em seu estado natural quanto após o melhoramento com a incorporação do pó de pedra e das fibras de polipropileno.

Parâmetros Avaliados	Teor de Umidade	Massa Específica	Análise Granulométrica	Limite de Liquidez	Limite de Plasticidade	Compactação	Compressão Simples
Normas de Referência	6457/2016	6458/2016	7181/2016	6459/2016	7180/2016	7182/2016	12770/1992

Tabela 1: Parâmetros e normas para determinação da caracterização física e resistência a compressão não confinada dos solos. Fonte: Autores.

Em se tratando da determinação da análise granulométrica, da massa específica, dos limites de Atterberg e do ensaio de compactação as amostras de solos foram preparadas com secagem prévia até a umidade higroscópica. Para o ensaio de compactação foi utilizado o método do Proctor Normal.

2.2.2 Caracterização dos materiais alternativos

O pó de pedra foi caracterizado segundo a norma da ABNT NBR NM 248/2003, com a obtenção da sua composição granulométrica, diâmetro máximo e módulo de finura, segundo a norma ABNT NBR 16605/2017, com a obtenção da massa específica do agregado miúdo e segundo a norma ABNT NBR NM 46/2003, com a obtenção do teor de materiais pulverulentos. As fibras de polipropileno seguiram as especificações do fabricante, sendo constituídas de monofilamentos extremamente finos de polipropileno com diâmetro de 18 μm e um comprimento de 12 mm, possuindo resistência a tração de 500-600 MPa e peso específico de 0,91 g/cm³. A mistura dos solos com as fibras de polipropileno foi realizada de forma manual, segundo Guedes (2014).

2.2.3 Preparação dos corpos de prova

O pó de pedra apresentou influência na granulometria e compactação dos solos, sendo necessário a caracterização do material em conjunto com os solos, tal influência não foi apresentada pelas fibras de polipropileno.

Os corpos de prova com os solos foram moldados em um molde cilíndrico de 10x12,7 cm, sendo as adições realizadas ainda com os solos na umidade higroscópica. Os corpos tiveram dimensões de 6,3x12,6 cm. A incorporação com o pó de pedra se deu com uma porcentagem de 5% segundo Santos (2016), enquanto a adição de fibras de polipropileno se deu com uma porcentagem de 0,75%, segundo Trindade (2016), ambos em relação ao peso do solo seco. A incorporação conjunta das porcentagens teve o intuito de determinar a influência simultânea dos materiais.

Todos os corpos de prova foram envoltos em insulfilm de PVC e mantidos sobre a bancada por um período de 24 horas, sendo este o previsto para o seu rompimento pelo ensaio de compressão não-confinada. Foram realizados dois corpos de prova para cada situação prevista, apresentada na Figura 2.



Figura 2: Corpos de prova moldados na umidade ótima, durante o tempo de espera de 24 horas.

Fonte: Autores.

2.2.4 Ensaio de compressão simples

Após a moldagem dos corpos e o tempo de espera de 24 horas foi realizado a determinação das suas resistências através do ensaio de compressão simples (não-confinada), sendo realizado em uma prensa para ensaios de CBR, com velocidade constante de carregamento e anotadas as medidas de deslocamento do manômetro em um intervalo pré-estabelecido, igual a todos.

3 | RESULTADOS

3.1 Caracterização dos materiais alternativos

O pó de pedra tem um diâmetro máximo característico de 4,8 mm, teor de materiais pulverulentos de 18,9%, módulo de finura de 2,34, sendo considerado uma areia média. A massa específica do agregado foi determinada como 2,660 g/cm³.

3.2 Caracterização dos solos

As análises granulométricas foram realizadas para os solos em estado natural e com a adição do pó de pedra e estão expressas na Figura 3, onde foi possível observar que a presença do pó de pedra no solo 1 teve um aumento na porcentagem de finos com uma escala maior do que realizado na incorporação com o solo 2. A incorporação das fibras não alterou as características granulométricas, mas foi verificada uma alteração nos limites de consistência.

Os limites de liquidez, limites de plasticidade, índices de plasticidade e as classificações segundo o Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS) estão expressos na Tabela 2, para o os solos em seus estados naturais e com as adições dos materiais alternativos.

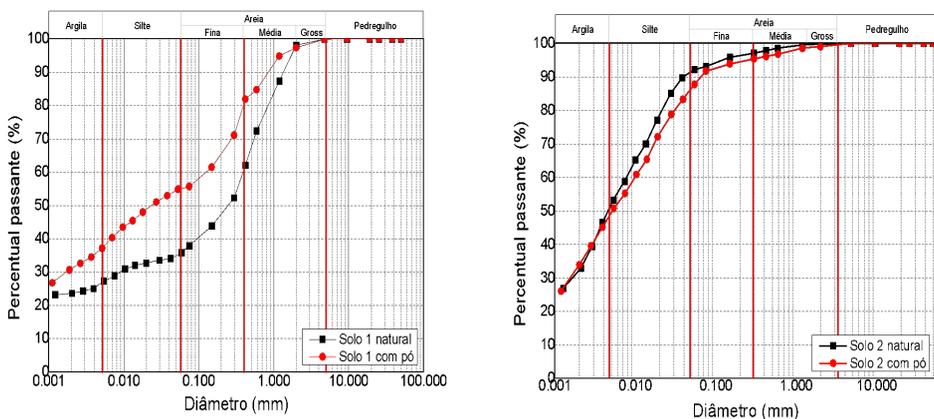


Figura 3: Curvas Granulométricas dos solos 1 e 2 no estado natural e com o pó de pedra.

Fonte: Autores.

Amostras	Solo 1 natural	Solo 1 com pó de pedra	Solo 1 com fibras	Solo 1 com pó de pedra e fibras	Solo 2 natural	Solo 2 com pó de pedra	Solo 2 com fibras	Solo 2 com pó de pedra e fibras
Limite de Liquidez(%)	46,0	54,0	56,0	59,0	65,0	59,0	63,0	65,0
Limite de Plasticidade(%)	40,0	34,0	31,0	32,0	56,0	50,0	44,0	40,0
Índice de Plasticidade(%)	6,0	20,0	24,0	27,0	9,0	9,0	19,0	25,0
Massa Específica dos grãos (g/cm ³)	2,653	2,548	-	-	2,646	2,779	-	-
Classificação	SM*	-	-	-	**MH	-	-	-

*SM- Areia Siltosa

** MH – Silte de alta compressibilidade

Tabela 2: Resultados dos ensaios de caracterização física dos solos.

Fonte: Autores.

Quanto aos limites de Atterberg verificou-se que a incorporação das fibras teve um desempenho maior que a do pó de pedra, onde ela aumentou o limite de liquidez de ambos os solos e diminuiu o limite de plasticidade, tirando os solos classificados como pouco plásticos para uma plasticidade média. Essa característica se dá pela capacidade das fibras de aumentarem a ductibilidade dos solos, auxiliando no grau de deformação que aumenta a relação tensão x deformação. A presença apenas do pó de pedra no solo 1 obteve resultados favoráveis à sua plasticidade, a confirmar pelos seus índices, saindo de um solo pouco plástico para um de plasticidade média. Neste caso a presença dos finos presente no pó de pedra auxiliou no ganho, caso que aconteceu de maneira inversa a sua adição no solo 2, o qual tem grande presença de finos. A ação conjunta dos dois materiais em ambos os solos contribuiu para um ganho de plasticidade.

A Tabela 3 apresenta os dados obtidos com os ensaios de compactação dos solos naturais e com adições do pó de pedra, já as fibras de polipropileno não alteraram as condições granulométricas dos solos e não tinham capacidade de absorver água, pela sua composição, não alterando a umidade durante as misturas. Esses resultados mostraram a ação do pó de pedra, dando ao solo 2, um silte de alta compressibilidade, uma quantidade maior de finos, o que aumentou sua umidade ótima e sua massa específica máxima, enquanto que no solo 1, a areia siltosa, ocorreu uma diminuição de sua umidade ótima e sua massa específica máxima.

Amostras	Solo 1 natural	Solo 1 com pó de pedra	Solo 2 natural	Solo 2 com pó de pedra
Umidade ótima (%)	18,3	16,0	31,1	32,2
Massa Específica Máxima (g/cm³)	1,812	1,780	1,432	1,532

Tabela 3: Resultados dos ensaios de compactação dos solos.

Fonte: Autor.

A diminuição da umidade ótima e da massa específica no solo 1 com pó de pedra em relação ao solo 1 natural e o aumento delas no solo 2 com pó de pedra em relação ao solo 2 natural se dá pela grande quantidade de materiais finos no pó de pedra, que deixou a mistura com o solo 1 menos densa e no solo 2 mais densa.

3.3 Ensaios de compressão simples

Os corpos de prova que foram rompidos em seu estado natural e com a presença do pó de pedra apresentaram uma ruptura bem mais frágil do que as misturas com as fibras, onde apresentaram altos graus de deformação. Na Figura 4 estão apresentadas as amostras, após o rompimento.



Figura 4: Corpos de prova após a realização do ensaio de compressão simples. Descrição: S1-Nat: Solo 1 natural, S1-P: Solo 1 com pó de pedra, S1-F: Solo 1 com Fibras, S1-P+F: Solo 1 com Pó de Pedra e Fibras, S2-Nat: Solo 2 natural, S2-P: Solo 2 com Pó de pedra, S2-F: Solo 2 com Fibras, S2-P+F: Solo 2 com Pó de Pedra e Fibras.

Fonte: Autores.

Nenhuma das amostras utilizadas apresentaram ruptura brusca, sendo possível a coleta dos resultados após início de ruptura. A Figura 5 apresenta os resultados das resistências do solo 1, antes e após o melhoramento e a Figura 6 os dos solos 2, antes e após o melhoramento. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos de tensão máxima para cada uma das amostras em cada um dos solos naturais e com as misturas. Ela apresenta também a média das duas tensões, valores esses usados para calcular e expressar as porcentagens de melhoramento de uma mistura em relação à outra.

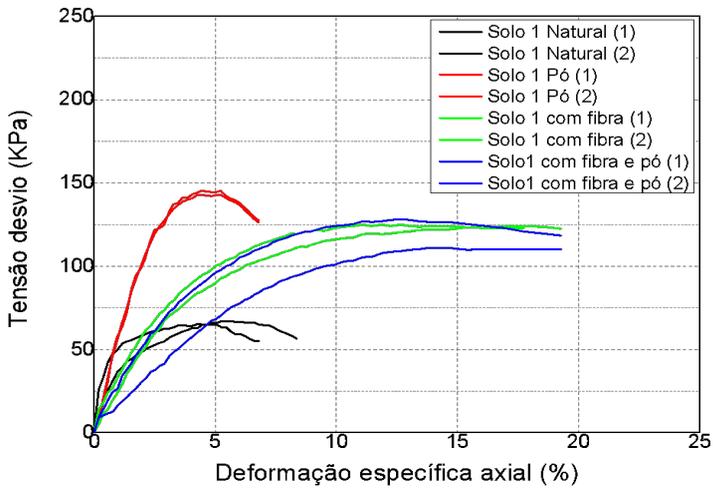


Figura 5: Resultados das compressões simples do solo 1 em todas as misturas utilizadas.

Fonte: Autores.

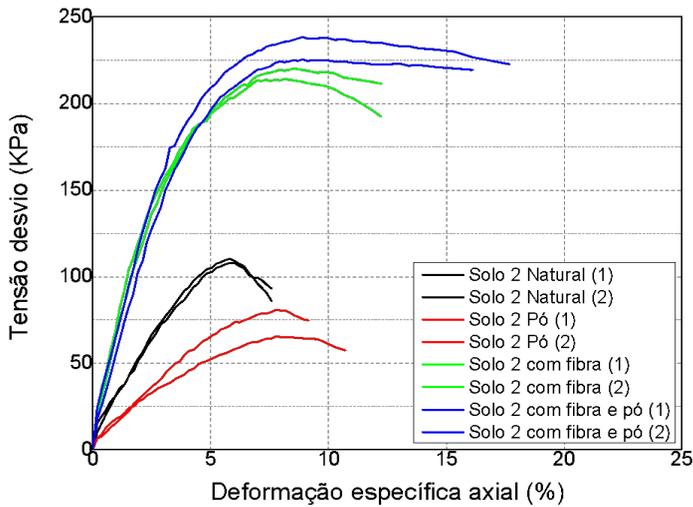


Figura 6: Resultados das compressões simples do solo 2 em todas as misturas utilizadas.

Fonte: Autores.

Corpos de prova	Tensão Máxima (kPa)		
	Amostra 1	Amostra 2	Média
Solo 1 natural	67,08	65,31	66,20
Solo 1 com pó de pedra	143,03	145,18	144,11
Solo 1 com fibras	124,81	124,02	124,42
Solo 1 com pó de pedra e fibras	111,02	128,18	119,60
Solo 2 natural	107,89	110,32	109,11
Solo 2 com pó de pedra	80,72	65,28	73,00
Solo 2 com fibras	220,20	214,04	217,12
Solo 2 com pó de pedra e fibras	238,04	225,13	231,59

Tabela 4: Tensões máximas obtidas no ensaio de compressão simples.

Fonte: Autores.

O solo 1 obteve ganho de resistência com todas as misturas realizadas, tendo seu pico na incorporação com o pó de pedra, sendo cerca de 117% em média maior que o solo natural. O pó de pedra teve grande relevância na obtenção da resistência na mistura com o solo 1, possivelmente por contribuir com a estabilização granulométrica do solo, visto que o solo 1 apresentava-se com fração de partículas maiores que 0,1mm e quando incorporado pó de pedra aumentou-se a fração de partículas finas do solo. A incorporação das fibras aos solos também influenciou no aumento da resistência, onde foi observado que o ganho de resistência do solo 1 com fibras foi semelhante a incorporação conjunta das fibras com o pó de pedra, visto não só no solo 1, como também no solo 2. Analisando os resultados obtidos para o solo 2 foi observado que a incorporação do pó de pedra não contribuiu favoravelmente para a resistência do solo, tendo melhores resultados com a mistura com fibras. A incorporação da fibra no solo 2 apresentou resultados expressivos, onde houve um aumento de resistência de 99,0% em média em relação ao solo natural. Recomenda-se estudos mais aprofundados para avaliar com mais detalhes esta interação das fibras e do pó de pedra em diferentes tipos de solos.

4 | CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos nos ensaios de caracterização física dos solos ao natural e com os melhoramentos e dos ensaios mecânicos foi possível avaliar o comportamento do solo natural e do solo melhorado quanto a presença dos materiais alternativos utilizados.

Em se tratando da granulometria as fibras não alteraram as composições dos solos, no entanto o pó de pedra sim, devido a sua própria composição granulométrica, como o alto teor de materiais pulverulentos, contribuiu para o aumento da fração fina principalmente do solo 1.

Com relação a plasticidade as fibras tiveram maior influência, tanto só, quanto

em conjunto com o pó de pedra alterando ambos os solos de pouca para uma média plasticidade. O pó de pedra quase não teve influência no solo 2, diminuiu os seus limites, mas não alterou o índice, em contrapartida a ação dos seus finos alteraram o solo 2, aumentando o limite de liquidez e reduzindo o limite de plasticidade, aumentando assim seu índice de plasticidade, fazendo sua plasticidade alterar de pouca para média.

As fibras não influenciaram os índices obtidos pela compactação dos solos, já o pó de pedra, devido a sua composição granulométrica, aumentou a umidade e a massa específica máxima no solo 2 e reduziu no solo 1.

Os resultados obtidos no ensaio de compressão simples determinaram qual material proporcionou um ganho de resistência a cada tipo de solo estudado, sendo o melhoramento com o pó de pedra viável apenas para o solo 1, areia siltosa (SM), enquanto o uso das fibras de polipropileno mais viável para o solo 2, no caso o silte de alta compressibilidade (MH). O ensaio também auxiliou a determinar a grande influência das fibras sobre a ação conjunta com o pó de pedra, levando a obter resultados parecidos a incorporação apenas da fibra. Deve-se salientar que o processo de homogeneização das fibras com o solo é ainda realizado de forma muito manual, sendo necessário um estudo para viabilizar o uso em grande escala.

O pó de pedra teve grande relevância na obtenção da resistência na mistura com o solo 1, possivelmente por contribuir com a estabilização granulométrica do solo. A incorporação das fibras aos solos também influenciou no aumento da resistência, onde foi observado que o ganho de resistência do solo 1 com fibras foi semelhante a incorporação conjunta das fibras com o pó de pedra. Para o solo 2 foi observado que a incorporação do pó de pedra não contribuiu favoravelmente para a resistência do solo, tendo melhores resultados com a mistura com fibras. A incorporação da fibra no solo 2 apresentou resultados expressivos, onde houve um aumento de resistência de 99,0% em média em relação ao solo natural.

As técnicas de melhoramento mecânico físico-granulométrico estudadas proporcionaram ganho de resistência para os solos, demonstrando resultados favoráveis para o uso dessas técnicas de estabilização como forma de melhorar a capacidade mecânica dos solos. Porém, recomenda-se estudos mais aprofundados para avaliar com mais detalhes esta interação das fibras e do pó de pedra em diferentes tipos de solos e sua viabilidade técnico-financeira para o emprego nas obras de engenharia, como por exemplo camadas de base de aterros e pavimentos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Normas para os ensaios de caracterização do solo. **NBR 6458 (2016) – Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da Massa Específica, da massa específica aparente e da absorção de água.** **NBR 6457 (2016) – Amostra de Solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização.** **NBR 6459 (2016) – Solo – Determinação do Limite de Liquidez.** **NBR 7180 (2016) – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.** **NBR 7181 (2016) – Análise Granulométrica.** **NBR 7182(2016) – Solo - Ensaio de compactação.** **NBR 12770 (1992) – Solo coesivo – Determinação da resistência à compressão não confinada – Método de ensaio.** **NBR NM 248:2003 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.** **NBR NM 16605 (2017) - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação da massa específica.** **NBR NM 46 (2003) - Agregados - Determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem.**

CRUZ, M. JALALI, S. **Melhoramento do desempenho de misturas solo-cimento.** In: CONGRESSO NACIONAL DE GEOTECNIA, XII. Guimarães, 2010.

DAS, Braja M.; SOBHAN, Khaled. **Fundamentos de Engenharia Geotécnica.** São Paulo: Cengage Learning, 2014. Xv, 612 p.

FESTUGATO, L. (2008) **Análise do comportamento mecânico de um solo micro-reforçado com fibras de distintos índices aspectos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 145 p.

GUEDES, S. B.; COUTINHO, R. Q.; FONSECA, A. J. P. V. (2014). **Comportamento de Um Solo Melhorado por Processos Mecânico (Compactação), Químico (Cimento), Físico (Fibras) e Químico-Físico (Cimento-Fibra) para Aplicação como Material Contra Erosão para as Estradas de Terra Existentes no PMAHC/Cabo de Santo Agostinho.** XVII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Goiana/GO.

Materiais da Construção 1/ coordenador L.A.Falcão Bauer ; revisão técnica João Fernando Dias.- 5.ed.revisada.– IReimpr.1 – Rio de Janeiro : LTC, 2015.

SANTOS, Y. R. P. (2016). **Comportamento e melhoramento de solos compactados para aplicação em obras de engenharia civil.** Trabalho de conclusão do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Bacharel em Engenharia Civil. Caruaru-PE.

TRINDADE, T. P., Iasbik, I., LIMA, D. C., MINETTE, E., SILVA, C. H. C., CARVALHO, C. A. B., BUENO, B. S., MACHADO, C. C. **Estudos laboratoriais do comportamento de um solo residual arenoso reforçado com fibras de polipropileno, visando à aplicação em estradas florestais.** Revista Árvore. p.215-221. 2006.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aprendizagem 77, 79, 82, 83, 85

Avaliação de imóveis 99, 100, 110

B

Bacia hidrográfica 52, 55, 56, 57

Banco de dados 56, 57, 68, 99, 101, 102, 105, 107

Barragem 87, 88, 90, 98, 122, 123

C

Capacitação 77, 81, 83, 84

D

Desmonte 122, 123, 124, 125, 129, 130, 134

DNOCS 56

Drenagem urbana 131, 134, 139, 140, 141

E

Economic 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11

EMBRAPA 54, 56, 65, 66

Emissão de CO₂ 52, 56, 58, 59, 60, 61, 63, 64

Ensino 77, 78, 79, 85, 121

Equilíbrio estático 12, 35, 36

Estabilidade de maciços 87

Estabilização Físico-Granulométrica 41

Explosão das rochas 111

F

Fibras de polipropileno 40, 41, 42, 43, 44, 46, 50, 51

Formação cabo 40, 42, 43

Fragmentação de rochas 111

G

Geology 1, 7, 8, 9, 10, 38, 39

Grupo balsas 67, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 76

H

Human 1, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 65, 86, 122

I

Inundações 2, 131, 132, 134, 135, 137, 138, 139, 140, 141

L

Liquefação 87, 88, 91, 93, 94, 96, 97, 98

M

Mecânica das rochas 111

Melhoramento mecânico 41, 50

Morfodinâmica 12, 13, 14, 24, 33, 37, 38

N

Nature 2, 5, 122

P

Percolação de água 111, 114

Pó de pedra 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50

Potencial hidrogeológico 67, 68, 69

Província Parnaíba 67, 68, 69, 71, 72, 76

Q

Queda de blocos 111, 117

R

Rejeito 87, 88, 91, 92, 94, 97, 98

S

Semiárido 52, 55, 56, 64, 66

Sismografia 122

Sistema de informação geográfica 67, 99, 100

Social behavior 4

T

Teresina 86, 99, 101, 102, 110

Terminal portuário 12, 14, 22, 27, 33, 34, 35, 39

Transporte sedimentar 12, 27

U

Uso do solo 53, 68

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

GEOCIÊNCIAS:

Desenvolvimento científico,
tecnológico e
econômico

2



www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

[@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora) 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

GEOCIÊNCIAS:

Desenvolvimento científico,
tecnológico e
econômico

2

