

Ciência e Engenharia de Materiais e o Desenvolvimento Socioambiental



Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)

Ciência e Engenharia de Materiais e o Desenvolvimento Socioambiental



Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Geraldo Alves
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. 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.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof^a Dr^a Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Sandra Regina Gardacho Pietrobom – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^a Dr^a Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^a Dr^a Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^a Dr^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
C569	<p>Ciência e engenharia de materiais e o desenvolvimento socioambiental [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-848-9 DOI 10.22533/at.ed.489191912</p> <p>1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Materiais – Análise. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Biscaia, Vinicius Bubna.</p> <p style="text-align: right;">CDD 620.11299</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais, vem cada vez mais ganhando espaço nos estudos das grandes empresas e de pesquisadores. Esse aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Neste contexto o tema socioambiental pode ser inserido, visto que devido à redução nas disponibilidades de matérias primas, a elevação de custos de descarte dos materiais, sua reciclagem vem ganhando cada vez mais destaque a nível mundial. Hoje optar por produtos reciclados bem como sustentáveis se torna uma vitrine as vendas.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de materiais e de sustentabilidade, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente. A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas técnicas e econômicas. Pode-se dizer que a área de reciclagem está intimamente ligada ao estudo dos materiais, para que possam ser desenvolvidas técnicas e processos para um eficiente aproveitamento.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO DA ADIÇÃO DE ADITIVOS NÃO CONVENCIONAIS NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSAS	
Antonio Dias de Lima Terceiro Neto Daniel Baracuy da Cunha Campos Francisco Humberlânio Tavares de Araújo Júlio Lopes da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.4891919121	
CAPÍTULO 2	12
ESTUDO DA INFLUÊNCIA NA CONCENTRAÇÃO DE FIBRAS DE POLIPROPILENO NO CONCRETO DE ALTA RESISTÊNCIA	
Wendel Melo Prudêncio de Araújo Thays Mabelly Bezerra e Silva Kássia Hellen Souza de Oliveira João Marcos Lima Veras Joaquim Lucas de Souza Paixão João Emmanuel Alves Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.4891919122	
CAPÍTULO 3	24
TIJOLO PRODUZIDO POR COMPÓSITO DE EXOCARPO DE LICURI FRAGMENTADO	
Bárbara Jane Martins Borges Rafael Santos de Sousa Silva Rúi Carlos de Sousa Mota	
DOI 10.22533/at.ed.4891919123	
CAPÍTULO 4	31
PRODUÇÃO DE AGREGADOS UTILIZANDO LAMA VERMELHA: O ESTUDO DA CINÉTICA DE SECAGEM	
Bruno Marques Viegas Edílson Marques Magalhães Julia Alves Rodrigues Josiel Lobato Ferreira Diego Cardoso Estumano José Antônio da Silva Souza Emanuel Negrão Macêdo	
DOI 10.22533/at.ed.4891919124	
CAPÍTULO 5	39
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DO RESÍDUO DE FELDSPATO COMO MATERIAL PARA CAMADAS DOS PAVIMENTOS	
Jonatas Kennedy Silva de Medeiros Larissa Santana Batista Giovanna Feitosa de Lima	
DOI 10.22533/at.ed.4891919125	

CAPÍTULO 6 52

FÔRMAS: UTILIZAÇÃO E REUTILIZAÇÃO DE FÔRMAS REVESTIDAS COM POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEDB - SACOLAS PLÁSTICAS)

Lucas Prestes Chize
Léo Jaime de Amorim e Silva
Aída Pereira Baêta
Flávia da Silva

DOI 10.22533/at.ed.4891919126

CAPÍTULO 7 61

OBTENÇÃO DE UM COPO MAIS SUSTENTÁVEL: PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS NATURAIS E DE BIOCÓMPÓSITOS

Emília Satoshi Miyamaru Seo
Nicolle Silva da Silva
Isabella Tereza Ferro Barbosa
Alessandro Augusto Rogick Athiê
Adriano Camargo de Luca

DOI 10.22533/at.ed.4891919127

CAPÍTULO 8 74

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E RESISTÊNCIA À CHAMA DE CÓMPÓSITOS POLIMÉRICOS COM ADIÇÃO DE RESÍDUOS DE LAMA VERMELHA E CAULIM

Mario Henrique Moreira de Moraes
Diogo Pontes de Queiroz
Luiz Gabriel da Silva Nascimento
José Antônio Silva Souza
Roberto Tetsuo Fujiyama
Deibson Silva da Costa

DOI 10.22533/at.ed.4891919128

CAPÍTULO 9 85

DISPERSÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA SOBRE PÓ POLIMÉRICO PARA PRODUÇÃO DE FILME PLÁSTICO

Lucas Matono Casagrande
Paulo Henrique Chulis
Fabrício Antônio Moreno Zanetelli
Márcia Silva de Araújo
José Alberto Cerri

DOI 10.22533/at.ed.4891919129

CAPÍTULO 10 99

INFLUENCE OF LIGNIN CONTENT IN MACADAMIA NUTSHELL ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF HDPE BIOCÓMPÓSITOS

Bruno Chaboli Gambarato
Heitor Buzetti Simões Bento
Ana Karine Furtado de Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.48919191210

CAPÍTULO 11 104

MÉTODOS DE SÍNTESE DAS NANOESTRUTURAS A BASE DE TITÂNIO

Jardel Meneses Rocha

Reinaldo Nascimento Morais
Fernando Pereira Lima
Tiago Linus Silva Coelho
Patrícia Santos Andrade
Angélica de Brito Sousa
Juracir Francisco de Brito
José Milton Elias de Matos

DOI 10.22533/at.ed.48919191211

CAPÍTULO 12 113

APLICAÇÕES DAS NANOESTRUTURAS A BASE DE TITÂNIO

Jardel Meneses Rocha
Reinaldo Nascimento Morais
Fernando Pereira Lima
Tiago Linus Silva Coelho
Patrícia Santos Andrade
Angélica de Brito Sousa
Juracir Francisco de Brito
José Milton Elias de Matos

DOI 10.22533/at.ed.48919191212

CAPÍTULO 13 122

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, MECÂNICA E DA FRATURA DE TRILHOS PERLÍTICOS

Beatriz Seabra Melo
Vinicius Silva dos Reis
Clóvis Iarlande Oliveira Santana
Carlos Vinicius de Paes Santos
Gregory de Oliveira Miranda
Andrey Coelho das Neves
José Maria do Vale Quaresma

DOI 10.22533/at.ed.48919191213

CAPÍTULO 14 135

ANÁLISE DOS EFEITOS DA CORROSÃO EM ELETRODO DE ATERRAMENTO ELÉTRICO COBREADO

Walter Leandro Cordeiro da Silva Filho
Magda Rosângela Santos Vieira
Ivanilda Ramos de Melo
Roseana Florentino da Costa Pereira
Severino Leopoldino Urtiga Filho

DOI 10.22533/at.ed.48919191214

CAPÍTULO 15 145

INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS GASES DE PROTEÇÃO E PARÂMETROS DE SOLDAGEM NA MICROESTRUTURA E MICRODUREZA DO AÇO SAE 1035 SOLDADO POR PROCESSO MAG

Perla Alves de Oliveira
Thiago Monteiro Maquiné
Marcia Cristina Gomes de Araújo Lima
José Costa de Macêdo Neto
Suelem de Jesus Pessoa
Efraim Ribas Linhares Bruno

Anne Gabrielle Mendes Xavier
Josiel Bruno de Oliveira
DOI 10.22533/at.ed.48919191215

CAPÍTULO 16 155

A RELAÇÃO ENTRE A LOGÍSTICA REVERSA E O *TRIPLE BOTTOM LINE* EM COOPERATIVAS DE RECICLAGEM

Alequexandre Galvez de Andrade
Nélio Fernando dos Reis
Jair Minoro Abe

DOI 10.22533/at.ed.48919191216

CAPÍTULO 17 165

A UNIVERSALIZAÇÃO DO SANEAMENTO E O SUBSÍDIO CRUZADO: CRÍTICA À PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DAS DIRETRIZES NACIONAIS

Joel de Jesus Macedo
Leura Lucia Conte de Oliveira
Marcus Venicio Cavassin

DOI 10.22533/at.ed.48919191217

SOBRE OS ORGANIZADORES..... 185

ÍNDICE REMISSIVO 186

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DO RESÍDUO DE FELDSPATO COMO MATERIAL PARA CAMADAS DOS PAVIMENTOS

Data de aceite: 18/11/2019

Jonatas Kennedy Silva de Medeiros

Universidade Federal de Campina Grande
Pombal - Paraíba

Larissa Santana Batista

Universidade Federal de Campina Grande
Pombal - Paraíba

Giovanna Feitosa de Lima

Universidade Federal de Campina Grande
Pombal - Paraíba

RESUMO: A indústria mineral se destaca pela contribuição significativa com a economia do Brasil, contudo, possui um baixo índice de desenvolvimento sustentável, pois produz uma grande quantidade de resíduos. Dentre eles, pode-se mencionar os provenientes do beneficiamento do feldspato, que são abundantes na natureza e apresentam características com diversas aplicações industriais. Assim, devido à crescente preocupação com a questão ambiental, surge então, a possibilidade de incorporação desses rejeitos como novos produtos ou componentes dos diversos fins, como por exemplo, a pavimentação. Pavimento é uma superestrutura formada por camadas de espessuras finitas, assentes sobre o subleito, admite-se ainda uma camada de reforço de subleito, além das camadas de sub-base, base

e revestimento. Nessa perspectiva, este artigo teve por objetivo analisar o comportamento físico e mecânico do resíduo de feldspato, verificando suas prováveis utilizações como material alternativo na pavimentação. Para tanto, efetuou-se a caracterização física através dos ensaios de granulometria, limite de liquidez e de plasticidade e permeabilidade. Por sua vez, a caracterização mecânica se deu através dos ensaios de compactação, *California bearing ratio* e cisalhamento direto. Os resultados demonstraram que o resíduo possui areia como maior fração granulométrica, não apresentando plasticidade e possuindo coeficiente de permeabilidade mediano. Além disso, exibiu comportamento mecânico satisfatório frente às exigências das camadas dos pavimentos. Logo, é possível concluir que o resíduo de feldspato pode ser aplicado em camadas como reforço de subleito, sub-base e como o próprio subleito do pavimento, colaborando assim, para a redução das pilhas de rejeitos e desenvolvimento de um setor mais sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Mineração, Sustentabilidade, Pavimentação.

ANALYSIS OF PHYSICAL AND MECHANICAL BEHAVIOR OF FELDSPATO WASTE AS PAVEMENTS LAYER MATERIAL

ABSTRACT: The mineral industry stands out

for its significant contribution to the Brazilian economy, however, has a low index of sustainable development, as it produces a large amount of waste. Among them, we can mention those derived from the processing of feldspar, which are abundant in nature and have characteristics with various industrial applications. Thus, due to the growing concern about the environmental issue, the possibility of incorporating these tailings as new products or components of various purposes, such as paving, arises. Pavement is a superstructure formed by layers of finite thickness, resting on the subgrade, and a subgrade reinforcement layer is allowed, in addition to the sub-base, base and coating layers. From this perspective, this article aimed to analyze the physical and mechanical behavior of feldspar residue, verifying its probable uses as an alternative paving material. To this end, the physical characterization was performed through the tests of grain size, liquidity limit and plasticity and permeability. In turn, the mechanical characterization occurred through the compaction, California bearing ratio and direct shear tests. The results showed that the residue has sand as the largest particle size fraction, without plasticity and having a median permeability coefficient. In addition, it exhibited satisfactory mechanical behavior against the demands of the floor layers. Therefore, it can be concluded that the feldspar residue can be applied in layers as subgrade reinforcement, subfloor and as the pavement subgrade itself, thus contributing to the reduction of tailings piles and development of a more sustainable sector.

KEYWORDS: Mining, Sustainability, Paving.

1 | INTRODUÇÃO

Entre os setores que mais contribuem para alavancar a economia brasileira está a indústria de mineração. De acordo com a Agência Nacional de Mineração (2018), estima-se que o Valor da Produção Mineral (VPM) brasileira cresceu 0,73% no 1º semestre de 2018 em relação ao 2º semestre de 2017. Se a referência para a análise for o 1º semestre de 2017, então registrou-se um acréscimo de 5,88%. Sendo assim, o VPM no primeiro semestre de 2018 aproximou-se de R\$ 57,7 bilhões.

No entanto, como consequência dessa contribuição, há também um crescimento notório na produção de resíduos. Dentre esses resíduos pode-se encontrar os provenientes do feldspato, que pertencem ao grupo dos aluminossilicatos de potássio, sódio, cálcio e mais raramente bário, formam um dos mais importantes grupos de minerais, estando presentes em cerca de 60% da crosta terrestre, podendo ser encontrados em quase todas as rochas eruptivas e metamórficas, assim como em algumas rochas sedimentares (LIRA; NEVES, 2013).

Paralelo a isso, o elevado tráfego nas rodovias provoca, de forma mais significativa, o crescimento da pavimentação. Com essa expansão, surge uma maior demanda pelo consumo de grande parte dos recursos naturais, pois os mesmos

são utilizados para compor as camadas do pavimento. Nesse sentido, nota-se a importância da incorporação desses rejeitos como novos produtos ou componentes para as mais variadas finalidades, dentre elas, observa-se a aplicação alternativa na pavimentação, uma estratégia viável para o reaproveitamento dos resíduos, como também uma opção menos onerosa para garantir a qualidade dos pavimentos.

Assim, a reutilização desses rejeitos como possíveis materiais constituintes das camadas dos pavimentos é uma oportunidade de diminuir os gastos com deposição e consumo exacerbado de recursos naturais, contribuindo para eliminar a necessidade de armazenamento da grande quantidade de resíduos, além de favorecer o desenvolvimento sustentável dos setores.

Dessa forma, este artigo tem como finalidade analisar as propriedades físicas e mecânicas do resíduo de feldspato como material constituinte das camadas dos pavimentos rodoviários, visando a redução dos impactos ambientais ocasionados pela má disposição desse rejeito e o desenvolvimento de material alternativo para a pavimentação.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Resíduos da mineração

Na atividade de mineração existem dois tipos principais de resíduos sólidos: os estéreis e os rejeitos. Os estéreis são os materiais escavados, gerados pelas atividades de extração (ou lavra) no decapeamento da mina, não têm valor econômico e ficam geralmente dispostos em pilhas. Os rejeitos são resíduos resultantes dos processos de beneficiamento a que são submetidas as substâncias minerais (IPEA, 2012).

O IBRAM (2016) enfatiza que um desafio premente da sociedade é a redução dos resíduos gerados mantendo o mesmo patamar de qualidade de vida. Para tanto, a eficiência no uso dos recursos e o desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento de resíduos devem ser estratégicos.

2.2 Feldspato

Segundo Caputo (2015), feldspatos são duplos de Al e de um metal alcalino ou alcalino terroso (K, Na ou Ca). Os principais são ortoclasita, anortita e albita. Há ainda combinações dos dois últimos, chamados de plagioclásios. Eles sofrem decomposição mais ou menos acentuada pelos agentes da natureza e constituem quase a metade dos minerais da crosta terrestre.

O beneficiamento de feldspato geralmente fundamenta-se na flotação e separação magnética para remover os minerais acessórios, tais como a mica, granada, ilmenita e quartzo. No caso de pegmatito e de areia feldspática, o quartzo é

aproveitado como co-produto. Em algumas aplicações, a existência de sílica (quartzo) é vantajosa, no entanto em outras requer um feldspato bastante puro (BARBATO; OGASAWARA; SAMPAIO, 2008).

2.3 Pavimentação rodoviária

Pavimento de uma rodovia é a superestrutura formada por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semiespaço considerado teoricamente como infinito - o terreno de fundação, designado de subleito. Além disso, é uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocadas em contato (DNIT, 2006).

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (2006) estabelece algumas exigências para esses materiais. Os empregados como subleito devem apresentar uma expansão, medida no ensaio de *California Bearing Ration* (CBR) $\leq 2\%$ e um CBR $\geq 2\%$. As características geotécnicas para o reforço de subleito devem ser superiores a do subleito, demonstrados pelo ensaio de CBR e de caracterização, com expansão $\leq 1\%$. Para sub-base é necessário CBR $\geq 20\%$, índice de grupo (IG) = 0 e expansão $\leq 1\%$, para qualquer tipo de tráfego. Por fim, os materiais para base devem se enquadrar em uma das faixas granulométricas das especificações, além de apresentar CBR $\geq 60\%$ para número N $\leq 5 \times 10^6$, CBR $\geq 80\%$ para qualquer tipo de tráfego e expansão $\leq 0,5\%$, LL $\leq 25\%$ e IP $\leq 6\%$.

3 | MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 exibe o fluxograma das atividades desenvolvidas na fase experimental.

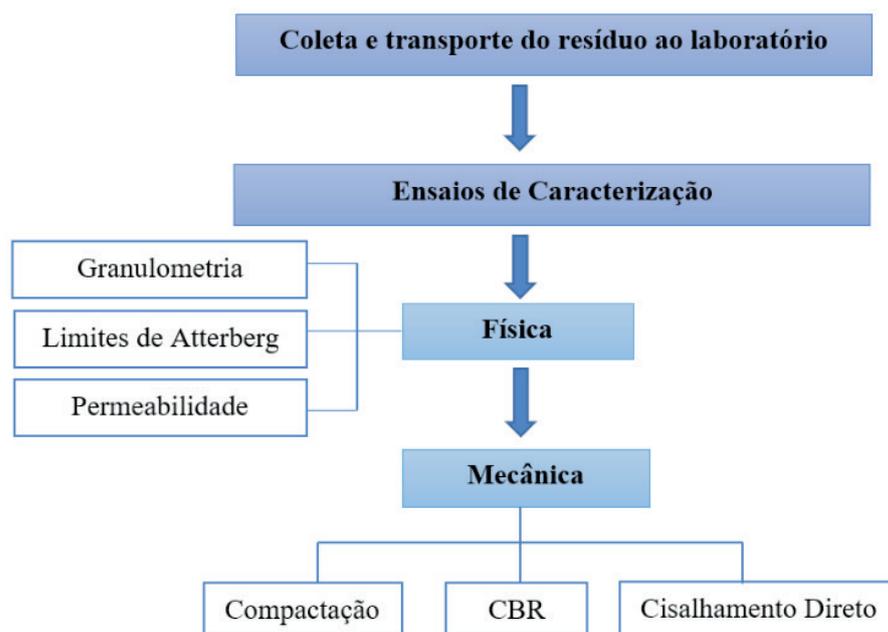


Figura 1 - Fluxograma da metodologia.

Fonte: Autor, 2019.

Primeiramente realizou-se a coleta do resíduo de feldspato na Arnil Mineração do Nordeste, cidade de Parelhas, região do Seridó do Rio Grande do Norte (RN). Em seguida, transportou-se o material em sacos plásticos até o Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Posteriormente, o resíduo de feldspato foi disposto em bandeja metálica para secagem ao ar e realização dos ensaios.

Os ensaios de caracterização física consistiram na análise granulométrica, através do peneiramento e sedimentação, dos limites de liquidez e plasticidade, como também do ensaio de permeabilidade a carga variável. Por sua vez, a caracterização mecânica foi realizada por meio do ensaio de compactação na energia intermediária (cilindro e soquete grande, com 26 golpes e 5 camadas), do ensaio de *California Bearing Ratio* (CBR) e cisalhamento direto (na condição não drenada, velocidade de 0,3 mm/min e tensões de 50, 100 e 200 kPa). Todos os ensaios foram realizados conforme as normas vigentes, sendo essas apresentadas na Tabela 1.

Ensaio	Normas
Granulometria	ABNT - NBR 7181/2018
Determinação do Limite de Liquidez	ABNT - NBR 6459/2017
Determinação do Limite de Plasticidade	ABNT - NBR 7180/2016
Permeabilidade – Carga Variável	ABNT – NBR 14545/2000
Compactação	ABNT - NBR 7182/2016
Determinação do Índice de Suporte Califórnia	DNIT – ME 172/2016
Cisalhamento Direto	ASTM - D3080/2004

Tabela 1 - Ensaio realizados e suas respectivas normas.

Fonte: Autor, 2019.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização física

Os resultados da caracterização física subdividiram-se em tópicos referentes a cada ensaio, como granulometria, limites de Atterberg e permeabilidade.

4.1.1 Granulometria

A partir dos dados dos ensaios de peneiramento e sedimentação, tornou-se possível elaborar a curva granulométrica do resíduo de feldspato, conforme exibido na Figura 2. Além disso, a fim de enquadrá-lo em uma das faixas granulométricas propostas pela norma do DNIT ES 141/2010, para materiais utilizados em bases granulares, estabeleceu-se a curva granulométrica do rejeito com os limites da faixa F ($N < 5 \times 10^6$), tendo em vista que essa foi a classificação mais aproximada para a

sua granulometria.

Verifica-se que o resíduo de feldspato poderá ser utilizado de forma direta como material de base granular, para a faixa F do DNIT. No entanto, somente a composição granulométrica não é suficiente para confirmar a sua aplicação como material para camada de base, tornando-se necessário avaliar os demais parâmetros, que serão apresentados no decorrer dessa pesquisa.

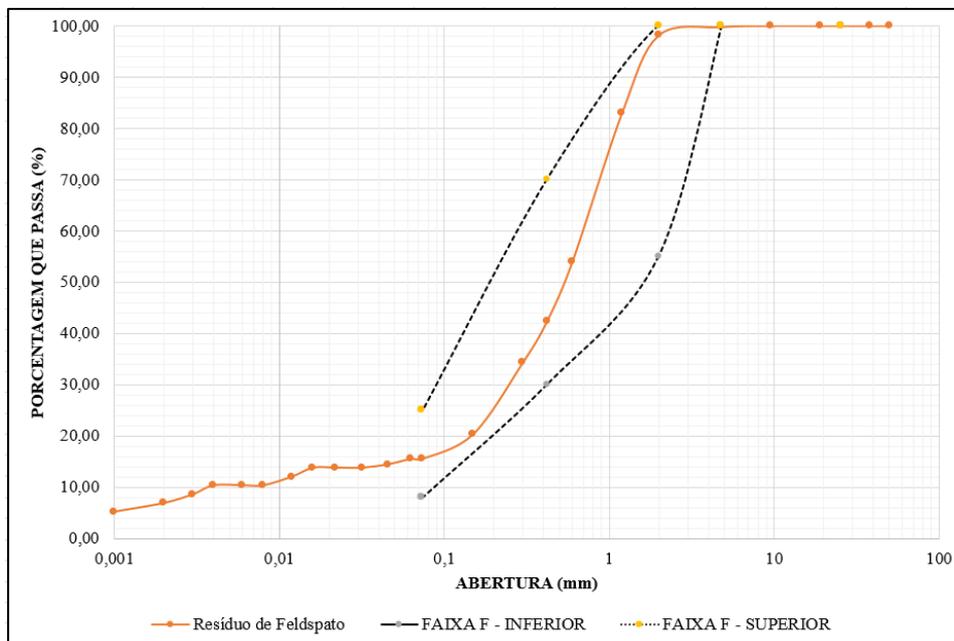


Figura 2 - Curva granulométrica com limite da faixa F proposta pelo DNIT.

Fonte: Autor, 2019.

Os parâmetros de diâmetro efetivo (D_{10}), coeficiente de uniformidade (Cu) e coeficiente de curvatura (Cc), foram extraídos da Figura 2 e estão expostos na Tabela 2 a seguir.

Resíduo	Diâmetro efetivo (D_{10})	Coeficiente de uniformidade (Cu)	Coeficiente de curvatura (Cc)
Feldspato	0,004	175	22,32

Tabela 2 – Parâmetros determinados para o resíduo de feldspato.

Fonte: Autor, 2019.

Analisando os dados obtidos através da curva granulométrica do resíduo, nota-se que o mesmo possui $Cu > 15$, revelando uma desuniformidade nos grãos, característica positiva para abordagem na mecânica dos solos e dos pavimentos, porém, não se encaixou no intervalo de bem graduado proposto pelo coeficiente de curvatura, em que varia de 1 a 3, segundo Caputo (2016). Além disso, espera-se que a água possua uma certa facilidade de se movimentar entre as partículas desse resíduo, tendo em vista que seu diâmetro efetivo é pequeno.

Abaixo, na Tabela 3, é possível visualizar a composição granulométrica do resíduo, segundo a classificação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Granulometria (mm)	Resíduo de Feldspato (%)
Pedregulho ($4,8 < \phi < 7,6$)	0,25
Areia grossa ($2 < \phi < 4,8$)	1,62
Areia média ($0,42 < \phi < 2$)	55,85
Areia fina ($0,05 < \phi < 0,42$)	27,98
Silte ($0,005 < \phi < 0,05$)	4,3
Argila ($\phi < 0,005$)	10

Tabela 3 - Composição granulométrica segundo ABNT.

Fonte: Autor, 2019.

Nota-se que o resíduo de feldspato possui em sua constituição uma grande proporção de areia, sendo composto por 85,45% de partículas dentro dessa faixa granulométrica. De forma mais específica, contém 55,85% de grãos equivalentes à areia média. Apesar desse material ter areia em maior porcentagem, ainda há presença de finos ($\phi < 0,074$). Analisando essas partículas, percebe-se que o resíduo possui 15,48% de grãos passante, na peneira ABNT de nº 200, sendo 10% de suas frações granulométricas do tamanho da argila. Esses grãos menores ocupam os espaços vazios deixados pelos maiores, criando um bom entrosamento.

4.1.2 Limites de Atterberg e classificação dos solos

Ao realizar os ensaios de LL e LP observou-se que o resíduo apresentou fissuras que dificultaram a realização da ranhura, como também a moldagem do cilindro com 3 mm de diâmetro. Assim, notou-se que não há características plásticas e/ou líquidas, tendo em vista que a maior fração dos grãos corresponde a areia, conforme visto através da curva granulométrica.

A partir dos resultados da granulometria e dos limites de Atterberg, torna-se possível classificar o resíduo. De acordo com a metodologia da *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO) o resíduo de feldspato encaixa-se no subgrupo A-1-b possuindo a areia como material constituinte, demonstrando qualidade geral como subleito de excelente a boa. Quanto à classificação proposta pelo Sistema Unificado de Classificação dos Solos (SUCS), tem-se que o resíduo analisado foi classificado como SM, ou seja, areia siltosa.

4.1.3 Permeabilidade

O coeficiente de permeabilidade do resíduo de feldspato está apresentado na

Tabela 4, corrigido para a temperatura de 20°C.

Resíduo	Coefficiente de permeabilidade (cm/s)
Feldspato	$8,66 \times 10^{-5}$

Tabela 4 - Coeficiente de permeabilidade.

Fonte: Autor, 2019.

O valor do coeficiente de permeabilidade do resíduo de mineração estudado está dentro do intervalo de variação de k , apresentado por Caputo (2016), para areias muito finas, que corresponde à faixa de 10^{-3} a 10^{-7} cm/s. Nessa perspectiva, o resíduo de feldspato apresentou características medianas quanto a permeabilidade, favorecendo sua possível aplicação nas camadas dos pavimentos.

4.2 Caracterização mecânica

Os dados dos ensaios de caracterização mecânica estão apresentados em subtópicos que detalham mais especificadamente os resultados da compactação, do CBR e cisalhamento direto.

4.2.1 Compactação

Após realizar a compactação do resíduo, sob condições diferentes de teores de umidade na energia de compactação Proctor intermediário, obteve-se a curva apresentada na Figura 3.

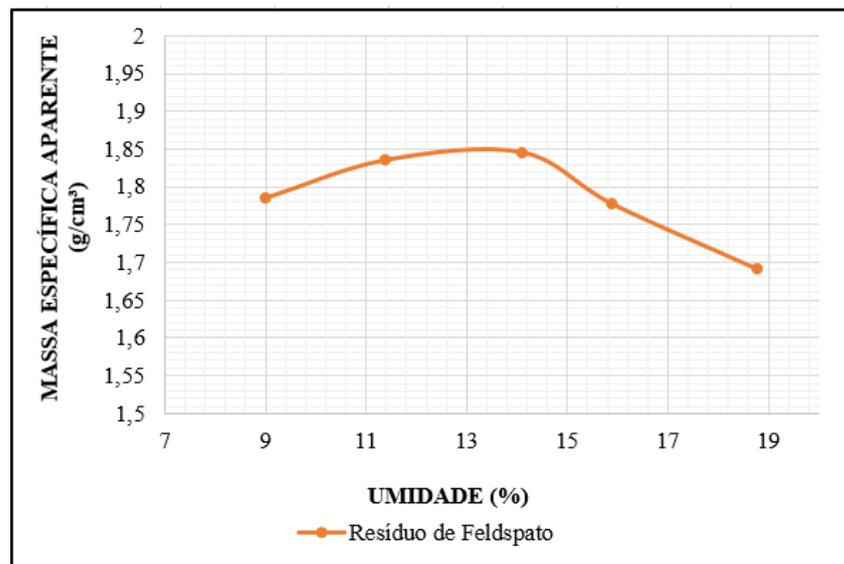


Figura 3 - Curva de compactação.

Fonte: Autor, 2019.

Avaliando a curva de compactação, verifica-se para o resíduo de feldspato uma massa específica aparente seca máxima ($\gamma_{s, \text{máx}}$) de $1,858 \text{ g/cm}^3$ e umidade ótima

(h_{ot}) de 13,01%. Embora cada material seja diferente, as curvas de compactação demonstram semelhança quanto à forma para uma mesma energia. Segundo as características propostas por Pinto (2006), a classificação mais próxima para a curva do resíduo de feldspato é de areia fina argilosa laterítica, exibindo umidades ótimas de 12 a 14% com densidades secas máximas de 1,9 g/cm³.

O teor de umidade elevado e massa específica aparente baixa do resíduo de feldspato pode ser justificado pela sua caracterização física, pois demonstrou possuir a maior parte de finos correspondente ao tamanho das frações de argila. Por isso, torna-se necessário adicionar mais água para lubrificar suas partículas, conforme explica Senço (2007), nessas condições, a água não encontrará lugar nos vazios, e parte da energia de compactação será absorvida pelo excesso de água, que desenvolverá pressões que tendem a separar as partículas de solo e, por conseguinte, reduzir a massa específica aparente seca pelo aumento de vazios.

4.2.2 CBR

O resultado do CBR e expansão do resíduo de mineração está exibido na Tabela 5.

Resíduo	CBR (%)	Expansão (%)
Feldspato	24,21	0,03

Tabela 5 - Valor de CBR e expansão.

Fonte: Autor, 2019.

Senço (2007) apresentou tabelas que mostram correlações entre o CBR e a Classificação de solos da AASHTO e do CBR e a Classificação Unificada de Solos. O objetivo é estimar, a partir dos sistemas de classificação de solos, os resultados de CBR. Analisando isso, vê-se que o resíduo de feldspato, pela sua classificação no subgrupo A-1-b pode exibir CBR mais provável entre 20 e 80% e CBR na faixa de 10 a 40%, tendo em vista que foi classificado pelo Sistema Unificado como SM. Nesta pesquisa, o resíduo de feldspato apresentou valor de CBR igual a 24,21%, que se enquadra nesses limites.

Diante disso, pode-se confirmar a consistência dos resultados, como também, verificar que tanto a classificação AASHTO como SUCS, tem se mostrado aptas a preverem o potencial de utilização do resíduo de mineração no que se refere aos valores de CBR (SOBREIRA, 2014).

Quanto ao resultado de expansão, verifica-se que o resíduo de feldspato demonstrou uma expansão de 0,03%, valor de baixa magnitude, favorecendo sua utilização como material de construção para a pavimentação. Ao analisar a expansão, Silva (2015) expressa que sua ocorrência é função da mineralogia, da estrutura e

da textura do solo. Em geral, acredita-se que a expansão esteja associada ao tipo e quantidade de finos que estão presentes nos solos, sendo maior a expansão, quanto maior for a quantidade de finos. Dessa forma, justifica-se o menor valor de expansão para o resíduo de feldspato, pois de acordo com sua composição granulométrica, há uma porcentagem menor de grãos passantes na peneira ABNT nº 200.

Diante do exposto, verifica-se que o resíduo de feldspato, não possui CBR suficiente para aplicação na camada de base, porém, pode ser empregado como material de sub-base, reforço do subleito e subleito de pavimentos, pois se enquadra nas especificações preconizadas pelo Manual de Pavimentação do DNIT.

4.2.3 Cisalhamento direto

Os resultados do ensaio de cisalhamento direto estão apresentados a seguir, podendo-se verificar primeiramente, na Figura 4, as curvas de tensões cisalhantes versus deslocamentos horizontais e, na Figura 5, a envoltória de ruptura do resíduo de feldspato.

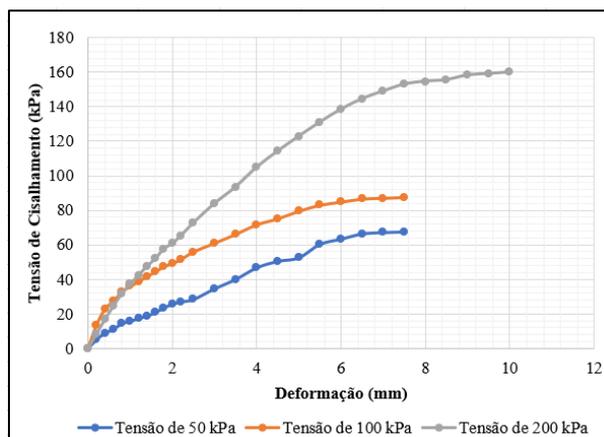


Figura 4 -Curvas de tensão cisalhante vs deformação.

Fonte: Autor, 2019.

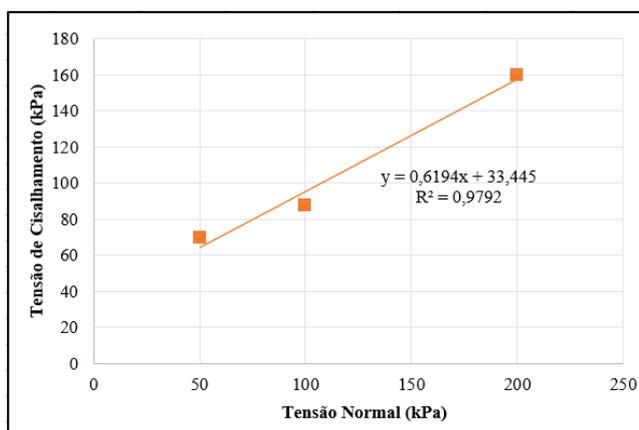


Figura 5 - Envoltória de ruptura.

Fonte: Autor, 2019.

A curva tensão de cisalhamento vs deformação do resíduo estudado é não-linear, sem exibir pico bem definido. Marangon (2018) estabelece para essa situação, a ruptura do tipo plástica, cujo esforço máximo é mantido com a continuidade da deformação, comportamento típico de areias fofas ou pouco compactas, em que pode-se obter assim, a resistência residual.

Por outro lado, a partir do ajuste da envoltória de ruptura, tornou-se possível obter os parâmetros de resistência ao cisalhamento de Mohr-Coulomb para o resíduo. Esses parâmetros estão apresentados na Tabela 6, são o ângulo de atrito interno (ϕ), e a coesão (c).

Resíduo	Ângulo de atrito interno ($^{\circ}$)	Coesão (kPa)
Feldspato	31,77	33,44

Tabela 6 - Valor do *ângulo* de atrito interno e coesão.

Fonte: Autor, 2019.

Observando esses parâmetros, vê-se que o resíduo de feldspato demonstrou valores consideráveis de ϕ e c , correspondendo à análise granulométrica, tendo em vista que possui em sua composição tanto frações granulares quanto finas.

Das (2007) estabelece alguns valores de ϕ para solos granulares com grãos angulares, sendo o intervalo para areia fofa, variando de 30 a 35°. De acordo com o autor, pode-se enquadrar o resíduo de feldspato nessa faixa, confirmando a análise realizada pelas curvas de tensão de cisalhamento x deformação. O maior valor de coesão no resíduo de feldspato pode ser justificado pelas partículas correspondentes ao tamanho de frações argilosas em sua granulometria, que conferem a esse material maior aglutinação entre as partículas.

Marangon (2018) alerta que chegar a valores próximos da máxima tensão cisalhante que o solo suporte pode ocasionar a ruptura do material. Diante disso, o comportamento do resíduo apresenta-se mais favorável à estabilidade das obras civis, visto que, sua maior resistência ao cisalhamento contribuirá para evitar problemas de estabilidade de aterros e de cortes.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização dos ensaios de caracterização física e mecânica, possibilitou o conhecimento dos constituintes e das propriedades do resíduo de feldspato, obtendo maior clareza quanto à possível aplicação desse material nas camadas dos pavimentos.

O resíduo de feldspato foi classificado segundo a AASHTO como integrante do grupo A-1-b e de acordo com o SUCS como SM, possuindo a areia como material

constituente e comportamento como subleito de excelente a bom. Além disso, possui granulometria que satisfaz a faixa F do DNIT. Quanto à permeabilidade, o resíduo de mineração exibiu k mediano, o que contribuirá para que a água percole com certa facilidade todas as camadas do pavimento.

Por fim, o resíduo demonstrou comportamento mecânico satisfatório, sendo possível utilizá-lo, segundo as exigências do DNIT, como material constituinte das camadas de reforço de subleito e sub-base, além de empregá-los como o próprio subleito dos pavimentos, porém, para aplicá-lo como material de base, o valor de CBR não é suficiente. Desse modo, verifica-se ao final do estudo, a viabilidade técnica de utilizar o resíduo de feldspato nas camadas dos pavimentos, corroborando para uma diminuição dos rejeitos dispostos inadequadamente no meio ambiente como também para a aplicação de material alternativo na pavimentação.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Informe mineral**: Janeiro - Junho de 2018. Brasília: DNPM, 2018. 16 p.
- BARBATO, C. N.; OGASAWARA, T.; SAMPAIO, J. A. **Série Rochas e Minerais Industriais**: Aproveitamento de feldspato pegmatítico da região Borborema-Seridó para produção de vitrocerâmica feldspática reforçada com leucita. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 41 p.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. 256 p.
- CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos solos e suas aplicações**: Mecânica das rochas, fundações e obras de terra. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2015. 2 v.
- DAS, B. M. **Fundamentos da engenharia geotécnica**. 6. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2007. 577 p. Tradução de: AllTasks.
- DNIT. **ES 141**: Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010. 9 p.
- DNIT. **Manual de Pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro: IPR, 2006. 274 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração**. Brasília: IBRAM, 2016. 128 p.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Atividade de Mineração de Substâncias Não Energéticas**. Brasília: IPEA, 2012. 46 p.
- LIRA, H. L.; NEVES, G. A.. Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 8, n. 3, p.110-117, nov. 2013.
- MARANGON, M. **Mecânica dos Solos II**. Resistência ao cisalhamento dos solos. Juiz de Fora: UFJF, 2018. 40 p.
- PINTO, C. de S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006. 368 p.

SENÇO, W. de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2. ed. São Paulo: PINI, 2007. 1 v.

SILVA, A. M. da. **Estudo de parâmetros de compactação proctor no comportamento mecânico do solo**. 2015. 183 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

SOBREIRA, D. S. V. **Comparação entre os métodos de compactação de solos por impacto e por amassamento**. 2014. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Henrique Ajuz Holzmann - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência do Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

Ricardo Vinicius Bubna Biscaia - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: análise microestrutural e de microdureza de ferramentas de usinagem, modelo de referência e processo de desenvolvimento de produto e gestão da manutenção.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acesso ao saneamento 168
Aditivos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 14
Agregado leve 31, 34, 37, 38
Análise da fratura 122, 126, 130
Análise de variância 99
Aplicações biomédicas 113, 119
Argamassas 1, 2, 3, 4, 10, 11

B

Baterias de lítio 106, 113, 118
Biomassa 99

C

Características 3, 29, 32, 38, 39, 42, 45, 46, 47, 56, 61, 64, 65, 74, 83, 84, 88, 89, 97, 110, 118, 122, 127, 128, 129, 134, 136, 146, 147, 150, 151, 153, 164, 168
Caulim 74, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84
Células combustível 113
Compensado 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 170
Compósito 20, 24, 25, 61, 75, 76, 77, 79, 80, 84
Compósitos 22, 24, 29, 30, 63, 64, 72, 74, 75, 76, 79, 80, 81, 82, 84, 99, 119, 135
Concreto de alta resistência 12, 14, 15, 17, 19, 20, 22, 23
Cooperativas 155, 156, 157, 158, 159, 162, 163, 164
Corrosão 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 143, 144, 185
Cristalização hidrotérmica 104

D

Dispersão 82, 85, 86, 89, 90, 91, 92, 94, 95

E

Economia solidária 155, 162, 163, 164

F

Fadiga 122, 124, 129, 134
Fibra de polipropileno 12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 22
Fibras de cana-de-açúcar 61
Fibras de côco verde 61
Filme plástico 85
Fôrmas 52, 54, 58, 60
Fotocatálise 113, 114

I

Instalações elétricas 135, 144

italic 105

L

Lama vermelha 31, 32, 33, 34, 37, 38, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 81, 82, 83, 84

Licuri 24, 25, 26, 29, 30

M

Marco regulatório do saneamento 165, 166, 181, 183

Materiais conjugados 74

Materiais de construção 1, 2, 11

Mercerização 61, 65, 66, 67, 68, 71

Microemulsão 104

Mineração 32, 39, 40, 41, 43, 46, 47, 50, 75, 84

N

Nanoestruturas de titânio 113

Nanopartículas de prata 85, 86, 87, 89, 91, 96

P

Pavimentação 39, 40, 41, 42, 47, 48, 50, 51

Polietileno 52, 53, 54, 55, 61, 64, 65, 66, 72, 85, 88, 89

Propriedades mecânicas 12, 14, 15, 19, 20, 22, 64, 81, 82, 83, 99, 124, 132, 134, 147, 148, 151, 152, 153

R

Resina poliéster 74

Resistência à compressão 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 20, 22, 61, 64

Resistência à compressão diametral 12, 20

Riscos do fim do subsídio 166

S

Sacolas plásticas 52, 53, 54, 55, 56, 59, 60

Secagem 24, 25, 26, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 43, 66, 76, 93, 105, 107, 117

Síntese TiO₂ nanoestruturado 104

Sistemas de aterramento 135, 136, 144

Slump test 12, 13, 18

Sobrecarga 21, 122

Sol-gel 104, 105, 111, 112

Subsídio cruzado 165, 166, 168, 169, 170, 174, 175, 180, 182

Substituto 52

Sustentabilidade 2, 25, 39, 53, 61, 155, 156, 159, 160, 161, 163, 164, 169

T

Técnicas eletroquímicas 135, 144

Tijolo 24, 25, 26, 28, 29

Trilho ferroviário 122

Triple bottom line 155, 156, 157, 159

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-7247-848-9



9 788572 478489