



ANÁLISE DA INCOPORAÇÃO DO RESÍDUO DE DOLOMITA COMO APLICAÇÃO ALTERNATIVA NA PAVIMENTAÇÃO

Jonatas Kennedy Silva de Medeiros (*), Marco Antônio Assis de Oliveira, Deividy Kaik de Lima Araújo, Larissa Santana Batista, Manoel Domiciano Dantas Filho, Suelen Silva Figueiredo

* Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, e-mail: jonataskennedy@hotmail.com

RESUMO

A construção civil é responsável por um elevado consumo dos recursos naturais, logo, a importância da criação de produtos alternativos que atendam o setor, de maneira a diminuir os impactos ambientais e custos. O aumento de resíduos de mineração tem entrado em pauta nos debates ambientais e sociais em decorrência dos danos provocados ao meio ambiente, já que na maioria das vezes não apresentam destino adequado e são despejados de qualquer maneira. Ver-se a necessidade de destinar essa matéria à alguma finalidade para reduzir os danos ambientais e promover uma política que alie um bom relacionamento com o meio ambiente e uma atividade sustentável. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo central a realização de um estudo das propriedades do resíduo de dolomita por meio da mecânica dos solos e dos pavimentos, verificando sua possível utilização como material alternativo na pavimentação, em que, a priori, fez-se necessário realizar a caracterização física do resíduo através dos ensaios de granulometria, limite de liquidez e de plasticidade. Por sua vez, a caracterização mecânica foi feita por meio dos ensaios de *California bearing ratio* e resistência à compressão simples. Com o incremento do resíduo no reforço de camadas do pavimento, espera-se diminuir parcialmente a quantidade de resíduo de dolomita que tem destinação final inadequada, fornecendo assim uma alternativa de reutilização. A partir dos resultados obtidos pelos ensaios de caracterização física e mecânica, possibilitou o conhecimento dos constituintes e das propriedades do resíduo de dolomita, no qual possui considerável quantidade de finos que quando unido às frações granulares colabora com um maior entrosamento entre os grãos. Conclui-se que, o resíduo de dolomita pode ser aplicado em camadas como reforço de subleito, sub-base e como o próprio subleito do pavimento, contribuindo assim, para a redução das pilhas de rejeitos e desenvolvimento de um setor sustentável com opções de materiais alternativos.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos de mineração, materiais alternativos, dolomita, pavimentação, concreto.

ABSTRACT

Civil construction is responsible for a high consumption of natural resources, thus, the importance of creating alternative products that serve the sector, in order to reduce environmental impacts and costs. The increase in mining waste has been on the agenda of environmental and social debates due to the damage caused to the environment, since most of the time they do not have an adequate destination and are dumped anyway. There is a need to allocate this material to some purpose to reduce environmental damage and promote a policy that combines a good relationship with the environment and a sustainable activity. Thus, the central objective of this work is to conduct a study of the properties of dolomite residue through soil and sidewalk mechanics, verifying its possible use as an alternative material in paving. In turn, the mechanical characterization was done through the California bearing ratio and compressive strength tests. With the increment of the residue in the reinforcement of sidewalk layers, it is expected to partially reduce the amount of dolomite residue that has inadequate final destination, thus providing an alternative for reuse. From the results obtained by the physical and mechanical characterization tests, it was possible to get to know the constituents and properties of dolomite residue, which has a considerable amount of fines that when joined to the granular fractions collaborate with a greater meshing between grains. It is concluded that the dolomite residue can be applied in layers as subgrade reinforcement, sub-base and as the sidewalk subgrade itself, thus contributing to the reduction of waste piles and the development of a sustainable sector with alternative material options.

KEY WORDS: Mining waste, alternative materials, dolomite, paving, concrete.



ATENÇÃO: A área que está sombreada (em amarelo) é a que poderá ser livremente editada pelo autor do trabalho. Isto é para proteger o cabeçalho e o rodapé de eventuais desformatações. Posteriormente, a Comissão Organizadora retirará este sombreado e transformará o texto em arquivo PDF.

INTRODUÇÃO

O setor da mineração contribui significativamente na economia do Brasil, sendo fundamental para o desenvolvimento do país, pois está entre os maiores setores de produção, cooperando de forma notável para a criação de empregos, equilíbrio econômico e avanço da tecnologia.

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) (2018b), a indústria mineral se destaca por colaborar decisivamente na geração de superávits à balança comercial brasileira. Em 2017, o Brasil exportou um volume superior a 403 milhões de toneladas de bens minerais, e gerou divisas de US\$ FOB 28,3 bilhões. Este valor representou 13% das exportações totais do país, e 30,5% do saldo comercial.

Em contrapartida, o setor da mineração também se destaca pela quantidade de resíduos que são produzidos devido aos processos utilizados para extração e beneficiamento dos minerais. O IBRAM (2018a) aponta que, estes resíduos podem ser pilhas de minérios pobres, estéreis, rochas, sedimentos, solos, aparas e lamas das serrarias de mármore e granito, as polpas de decantação de efluentes, as sobras da mineração artesanal de pedras preciosas e semipreciosas e finos e ultrafinos não aproveitados no beneficiamento.

Dentre os rejeitos da mineração, podem-se encontrar aqueles provenientes da dolomita. De acordo com Wilson et al., (2008), a dolomita é um material carbonático abundante na natureza, de baixo custo e de baixa toxicidade, que apresenta diversas aplicações industriais, como por exemplo, fundente na indústria siderúrgica, matéria-prima para indústria da química fina e de tintas, corretivo de solo na agricultura, catalisador de filtros em chaminés industriais e, mais recentemente, há pesquisas para utilização como catalisador heterogêneo na produção de biodiesel.

Apesar de a indústria mineradora contribuir substancialmente para a economia do país, comparando-se a outras, ainda possui um baixo índice de desenvolvimento sustentável, revelando a elevada necessidade de avaliar suas relações com o meio ambiente e adotar medidas mitigadoras dos impactos causados por essa atividade, fazendo-se necessários estudos de viabilidade de ordem técnica, econômica e ambiental (SOUZA et al., 2018).

Com o crescente aumento da concorrência e das preocupações com a melhoria da qualidade do meio ambiente, as indústrias vêm buscando alternativas para diminuir os custos visando à redução dos impactos ambientais e o aumento da credibilidade perante o mercado consumidor (PORTO et al., 2012).

Nessa perspectiva, o trabalho proposto é motivado a buscar fins alternativos para o resíduo de dolomita para que possa ser utilizado como subleito ou reforço de subleito, camadas de base e sub-base do pavimento. Dessa forma, objetiva-se com essa técnica, uma finalidade para o resíduo da mineração se apresentar como uma alternativa viável, pois está disposto sem valor econômico e com características que pode ser reaproveitada para esse fim.

OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo central a realização de um estudo das propriedades do resíduo de dolomita com base na mecânica dos solos e dos pavimentos, verificando suas prováveis utilizações como material alternativo na pavimentação, bem como realizar sua caracterização física e mecânica. Os resultados pretendem comprovar que o resíduo apresenta um bom comportamento mecânico, e com o incremento do resíduo no reforço de camadas do pavimento espera-se diminuir parcialmente a quantidade de resíduo da dolomita que tem destinação final inadequada.

METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa, fez-se necessária primeiramente a coleta e preparação das amostras do resíduo de dolomita para a realização dos ensaios. O resíduo de dolomita utilizado nesta pesquisa foi coletado na Armil Mineração do Nordeste na cidade de Parelhas, região do Seridó do estado do Rio Grande do Norte (RN). O material foi armazenado em sacos de 50 kg e transportado para o Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Posteriormente, o resíduo de mineração foi disposto em bandejas metálicas para secagem ao ar.



A localização está apresentada na Figura 1, com coordenadas geográficas de 6°38'56.46" S e 36°39'11.58" O e as amostras de resíduo de dolomita podem ser observadas através da Figura 2.

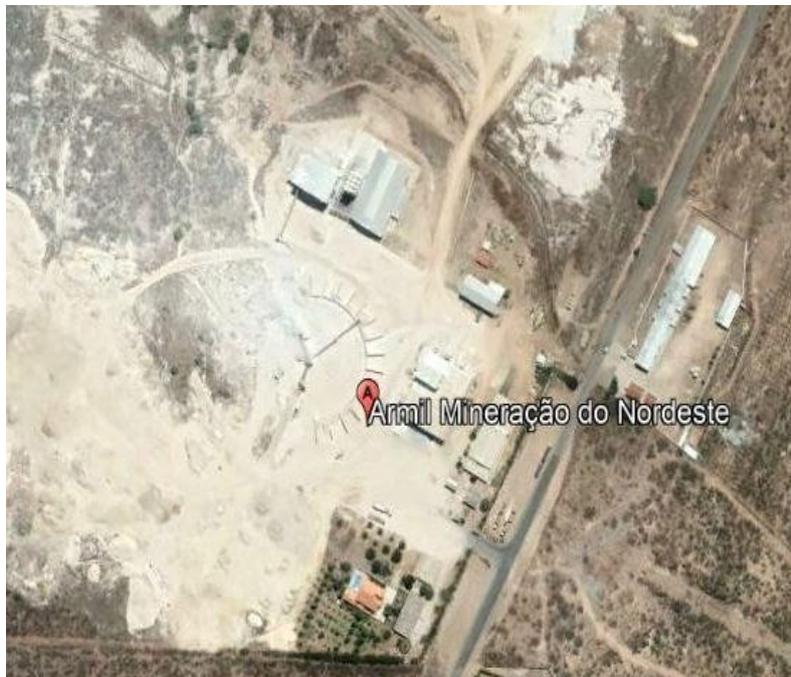


Figura 1. Local de coleta da amostra. Fonte: Autor do trabalho.



Figura 2. Amostra do resíduo de dolomita. Fonte: Autor do trabalho.

A priori, fez-se necessário realizar a caracterização física do resíduo através dos ensaios de granulometria, limite de liquidez e de plasticidade. Por sua vez, a caracterização mecânica foi feita por meio dos ensaios de *California bearing ratio* e resistência à compressão simples. As Tabelas 1 e 2 abaixo mostram a relação dos ensaios e suas respectivas normas.



Tabela 1. Ensaios realizados para caracterização física com suas normas correspondentes. Fonte: Autor do trabalho.

Ensaio	Normas utilizadas
Granulometria	ABNT - NBR 7181/2018
Determinação do Limite de Liquidez	ABNT - NBR 6459/2017
Determinação do Limite de Plasticidade	ABNT - NBR 7180/2016

Tabela 2. Ensaios realizados para caracterização mecânica com suas normas correspondentes. Fonte: Autor do trabalho.

Ensaio	Normas utilizadas
Determinação do Índice de Suporte Califórnia	DNIT – ME 172/2016
Resistência à Compressão Simples	ABNT - NBR 12025/2012*

*Adaptada

RESULTADOS

Estão expressos os resultados dos ensaios da caracterização física e mecânica que foram realizados nessa pesquisa, como também as devidas análises fundamentadas na mecânica dos solos e dos pavimentos.

A partir dos dados dos ensaios de peneiramento e sedimentação, tornou-se possível elaborar a curva granulométrica do resíduo conforme exibido na Figura 3.

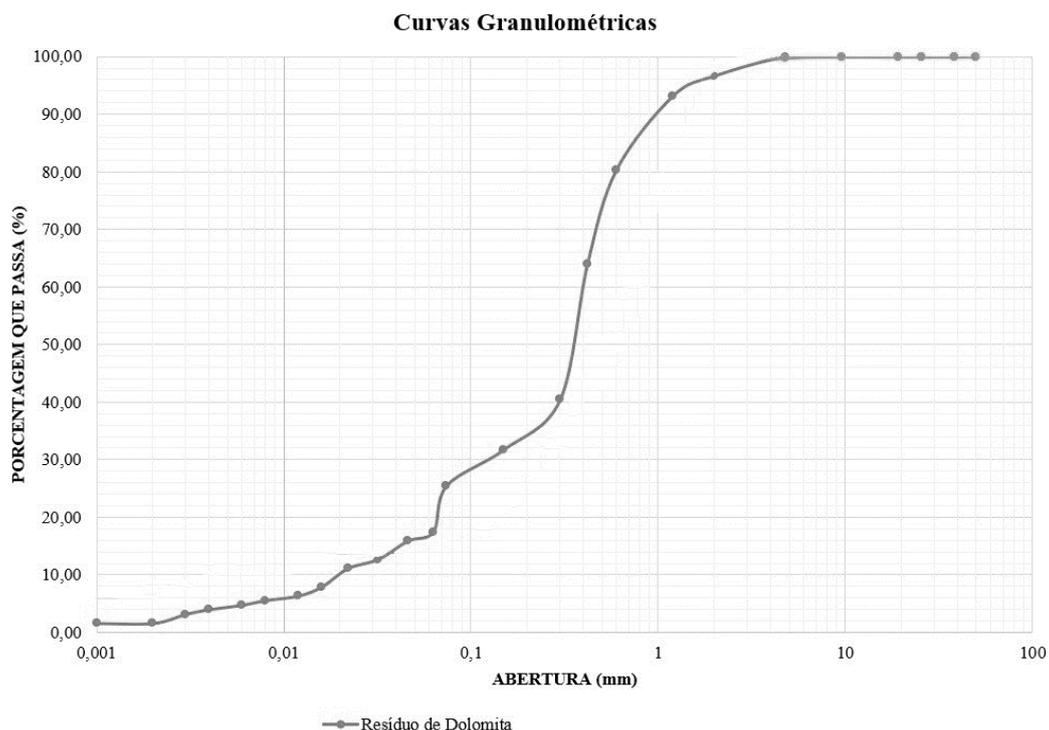


Figura 3. Curva granulométrica do resíduo de dolomita. Fonte: Autor do trabalho.

Os parâmetros de diâmetro efetivo (D_{10}), coeficiente de uniformidade (C_u) e coeficiente de curvatura (C_c) referentes ao resíduo, foram extraídos da Figura 3 e estão expostos na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3. Parâmetros determinados para os resíduos. Fonte: Autor do trabalho.

Diâmetro efetivo (D_{10})	0,02
Coeficiente de uniformidade (C_u)	20
Coeficiente de curvatura (C_c)	2,11



Dessa forma, espera-se que a água não possua muita dificuldade de se movimentar entre as partículas do resíduo de dolomita, tendo em vista seu diâmetro efetivo. Analisando os dados obtidos, nota-se que o resíduo possui $C_u > 15$, revelando uma desuniformidade nos grãos, característica positiva para abordagem na mecânica dos solos e dos pavimentos, e que se encaixa no intervalo proposto para o coeficiente de curvatura.

Abaixo, na Tabela 4, é possível visualizar a composição granulométrica do resíduo, segundo a ABNT.

Tabela 4. Composição granulométrica segundo ABNT. Fonte: Autor do trabalho.

Granulometria (mm)	Resíduo de Dolomita (%)
Pedregulho ($4,8 < \phi < 7,6$)	0,02
Areia grossa ($2 < \phi < 4,8$)	3,32
Areia média ($0,42 < \phi < 2$)	32,61
Areia fina ($0,05 < \phi < 0,42$)	48,05
Silte ($0,005 < \phi < 0,05$)	12
Argila ($\phi < 0,005$)	4

Nota-se que o resíduo de dolomita possui em sua constituição uma grande proporção de areia, composto por 83,98% e o segundo por 85,45% de partículas dentro dessa faixa granulométrica. De forma mais específica, o resíduo de dolomita tem 48,05% dos seus grãos concentrados no intervalo correspondente a areia fina.

Ao realizar os ensaios de Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade para verificar a influência das frações finas do resíduo, notou-se que não apresentou características plásticas e/ou líquidas, tendo em vista que a maior fração dos grãos corresponde a areia, conforme analisado através da curva granulométrica.

A partir dos resultados da granulometria e dos limites de Atterberg, torna-se possível classificar o resíduo. Conforme propõe a metodologia da AASHTO, o resíduo de dolomita enquadra-se no subgrupo A-2-4 tendo como material constituinte areia siltosa

Além disso, para avaliar a qualidade de um solo como material de subleito de rodovia deve-se incorporar o índice de grupo com os grupos e subgrupos. A qualidade de desempenho do solo como material de subleito é inversamente proporcional ao índice de grupo, logo, o resíduo em estudo demonstrou através desse índice valores ótimos como capacidade de suporte do terreno de fundação de um pavimento.

Em relação a classificação proposta pelo SUCS, tem-se que o resíduo analisado foi classificado como SM, ou seja, areia siltosa. Essa classificação corresponde ao material com 50% ou mais da fração grossa passando na peneira ABNT nº 4 com mais de 12% de finos.

Por fim, ao comparar a classificação do resíduo segundo os sistemas da AASHTO e SUCS confirma-se a coerência dos resultados, pois conforme expressa Liu (1967), o solo classificado no grupo A-2-4 pela AASHTO é mais provável de ser identificado como SM pelo sistema unificado. O resumo dessa classificação está exibido na Tabela 5.

Tabela 5. Classificação dos resíduos segundo metodologia da AASHTO e SUCS. Fonte: Autor do trabalho.

Classificação	Resíduo de dolomita
AASHTO	A-2-4
SUCS	SM
Material constituinte	Areia siltosa
Qualidade como subleito	Excelente a boa

Avaliando as características principais e comportamentos do solo de cada grupo e subgrupo, levando em consideração os limites de Atterberg, Senço (2007) afirma que o solo classificado sobre o grupo A-2 contém uma das mais importantes faixas de solos tanto pelo comportamento como subleito, quanto pela possibilidade de estabilização com ligantes. De maneira mais específica, cita que os solos classificados no subgrupo A-2-4, que é o caso do resíduo de dolomita, contém alguma quantidade de pedregulho e silte, sendo que o segundo material pode estar misturado com areia fina, e nessa situação, o silte é não plástico.

Embora o resíduo estudado apresente uma certa quantidade de finos, podendo oferecer até mesmo um determinado valor para a coesão, não foi possível observar características plásticas, pois segundo Knappett e Craig (2016) a plasticidade é



verificada quando o solo puder ser deformado sem se romper ou esfarelar, ou seja, sem perder a coesão, o que não ocorreu com os resíduos.

Dessa forma, a análise da influência dos limites de Atterberg nas características do resíduo para aplicação na pavimentação é importante, haja vista a afirmação de Lambe e Whitman (1969) em que frequentemente utilizam-se esses limites diretamente nas especificações para controle de solo para uso em aterro e em métodos semiempíricos de projeto.

No que se refere à caracterização mecânica, o resultado do CBR do resíduo de dolomita demonstrou um valor de 22,72%. Senço (2007) apresentou tabelas que mostram correlações entre o CBR e a Classificação de solos de HRB da AASHTO (Figura 4) e do CBR e a Classificação Unificada de Solos (Figura 5). O objetivo é estimar, a partir dos sistemas de classificação de solos, os resultados de CBR.

Solo (Classificação HRB)	CBR provável (%)
A-1-a	40 a 80 (ou mais)
A-1-b	20 a 80 (ou mais)
A-2-4 e A-2-5	25 a 80 (ou mais)
A-2-6 e A-2-7	12 a 30
A-3	15 a 40
A-4	4 a 25
A-5	2 (ou menos) a 10
A-6 e A-7	2 (ou menos) a 5

Figura 4. Correlação provável entre CBR e Classificação HRB. Fonte: Senço 2007.

Solo (Classificação Unificada)	CBR provável (%)
GW	40 a 80 (ou mais)
GP	30 a 80 (ou mais)
GM	20 a 60 (ou mais)
GC e SW	20 a 40
SP e SM	10 a 40
SC	5 a 20
ML, CL e CH	2 (ou menos) a 15
MH	2 (ou menos) a 10
OL e OH	2 (ou menos) a 5

Figura 5. Correlação provável entre CBR e Classificação Unificada. Fonte: Senço 2007.

Analisando a Figura 4, vê-se que o resíduo de dolomita (A-2-4) pode possuir provavelmente valor de CBR entre 25 e 80%. Ao observar a Figura 5, nota-se que o resíduo pode expor resultados de CBR na faixa de 10 a 40%, tendo em vista que foi classificado pelo Sistema Unificado como SM.

Nesta pesquisa, para o resíduo de dolomita, o valor de CBR não alcançou a escala prevista conforme os limites da Figura 4, contudo, seu resultado ficou bastante aproximado. Realizando a comparação com a Figura 5, percebe-se que apresentou valores de CBR que se enquadram nos limites propostos.

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

Quanto aos valores de expansão, pode-se observá-los na Tabela 6. Verifica-se que o resíduo de dolomita exibiu uma contração de 0,13%.



Tabela 6. Valor de expansão para o resíduo de dolomita. Fonte: Autor do trabalho.

Resíduo	Expansão (%)
Dolomita	-0,13

O valor de expansão resultante do resíduo de mineração, nessa pesquisa, é de baixa magnitude, favorecendo sua utilização como material de construção para a pavimentação, sendo essa propriedade de suma importância visto que, conforme explica Bernucci (1987), os materiais expansivos perdem capacidade de suporte em presença de água, gerando por vezes deformações excessivas no subleito ou nas camadas compactadas da estrutura do pavimento.

Diante do exposto, verifica-se que tanto o resíduo de dolomita 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, para esses parâmetros, correspondendo também às afirmações de Senço (2007) que evidencia a importância dos resultados de CBR como umas das características mais aceitas para avaliar o comportamento de um solo, quer como fundação de pavimento, quer como componente das camadas desse pavimento.

O ensaio de RCS foi efetuado com o intuito de obter a tensão de ruptura de cada corpo de prova moldado nos parâmetros ótimos para a energia intermediária. Conforme os resultados alcançados, o resíduo de dolomita apresentou uma RCS de 64 kPa. Analisando esse resultado isoladamente, percebe-se que não é um valor satisfatório, visto que a NBR 12025/2015 que diz respeito ao ensaio de RCS para amostras de solo-cimento, utilizada como parâmetro, estabelece que resultados significativos devem apresentar-se superiores a 2,1 MPa, quando a finalidade é utilização do material em sub-base ou base.

Sendo assim, verifica-se que o resíduo de mineração em questão evidenciara um valor abaixo da exigência de tal norma, pois o parâmetro adotado é para materiais com uso de estabilizante, justificando-se o respectivo desempenho. Logo, o resíduo na forma pura, não são indicados para utilização em camadas superiores, pois conforme explica Senço (2007), as camadas superiores estão submetidas a maiores pressões, exigindo na sua construção materiais de melhor qualidade.

CONCLUSÕES

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

O resíduo de dolomita foi classificado segundo o SUCS como SM e conforme a metodologia da AASHTO como integrante do grupo A-2-4, possuindo IG=0 e comportamento como subleito de excelente a bom. O resíduo demonstrou $Cu > 15$, com granulometria bem graduada.

Verificou-se também, que o resíduo de dolomita tem maior quantidade de finos, que quando unido às frações granulares possibilitaram maior entrosamento entre os grãos, aumentando sua massa específica e melhorando as condições de compactação e resistência.

Com base nos valores de CBR e expansão, é permitido utilizar o resíduo, segundo as exigências do DNIT, como material constituinte da camada de reforço de subleito e sub-base, além de empregá-lo 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 os resíduos de mineração como materiais constituintes das camadas de reforço de subleito e sub-base, sendo o resíduo de dolomita, de forma geral, com comportamento mecânico aceitável, corroborando para uma diminuição dos rejeitos dispostos inadequadamente no meio ambiente como também para a aplicação de material alternativo na pavimentação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERNUCCI, Liedi Legi Bariani. Expansão e contração de solos tropicais compactados e suas aplicações as obras viárias. Classificação de solos tropicais com base na expansão e contração. 1987. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
2. INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Relatório Anual de Atividades: Julho de 2017 - Junho de 2018. 2018b. Disponível em: <<http://portaldamineracao.com.br/ibram/wp>



content/uploads/2018/07/Diagrama%C3%A7%C3%A3o_Relat%C3%B3rioAnual_vers%C3%A3oweb.pdf>.

Acesso em: 29 jan. 2019.

. Eleições 2018: Políticas Públicas para a Indústria Mineral. 2018a. Disponível em:

<[http://portaldaminerao.com.br/ibram/wp-](http://portaldaminerao.com.br/ibram/wp-content/uploads/2018/11/Lei%C3%A7%C3%B5es-2018-Pol%C3%ADticas-P%C3%BAblicas-para-a-Ind%C3%BAstria-Mineral-1.pdf)

content/uploads/2018/11/Lei%C3%A7%C3%B5es-2018-

Pol%C3%ADticas-P%C3%BAblicas-para-a-Ind%C3%BAstria-Mineral-1.pdf>. Acesso em: 29 jan. 2018.

3. KNAPPETT, J. A.; CRAIG, R. F..Craig Mecânica dos Solos. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2016. 419 p.
4. LAMBE, T. William; WHITMAN, Robert V. Soil Mechanics. New York: John Wiley & Sons, 1969. 548 p.
5. LIU, T. K. A Review of Engineering Soil Classification Systems. Highway Research Record nº 156, National Academy of Sciences, Washington, D. C., p. 1-22, 1967.
6. PORTO, V. S. et al. Substituição parcial do feldspato pelo resíduo de vidro plano em massas para cerâmica branca. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 56, 2012, Curitiba. Anais Curitiba: ABCERAM, 2012. p. 2097 - 2106
7. SENÇO, Wlastermiler de. Manual de Técnicas de Pavimentação. 2. ed. São Paulo: PINI, 2007. 1 v.
8. SOBREIRA, Danielle Savala Vieira. 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.
9. SOUZA, Marcondes Mendes de et al. Estudo do comportamento térmico e absorção de água em revestimento cerâmico, utilizando na formulação da massa: argila, quartzo, feldspato e resíduos do beneficiamento do caulim. In: Congresso sul-americano de resíduos sólidos e sustentabilidade, 1, 2018, Gramado. Anais Gramado: IBEAS, 2018. v. 1, p. 1 - 5.
10. WILSON, K. et al.; The application of calcined natural dolomitic rock as a solid base catalyst in triglyceride transesterification for biodiesel synthesis; Green Chemistry; Volume 10, p. 654 – 659; 2008.