ESG - ENVIRONMENTAL,SOCIAL AND GOVERNANCE
SINGEURB
IV Simpósio Nacional de Engenharia Urbana

Rio de Janeiro, 22 a 24 de novembro de 2023

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DA ADIÇÃO DE REJEITO DE MINERAÇÃO EM MATERIAIS PARA PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

ANALYSIS OF THE TECHNICAL FEASIBILITY OF ADDING MINING WASTE IN MATERIALS FOR ROAD PAVEMENTS

FERNANDEZ, Suzana Dias de Sá[1]; SÁ, Thomas Schatzmayr Welp[2]; ODA, Sandra[3]

[1] Universidade Federal do Rio de Janeiro, suzana.fernandez@poli.ufrj.br
[2] Université Gustave Eiffel,thomas.sa@coc.ufrj.br
[3] Universidade Federal do Rio de Janeiro, sandraoda@poli.ufrj.br

RESUMO

O Brasil é um dos principais países produtores de minérios do mundo. Apesar da importância econômica, a atividade de mineração causa um grande impacto ambiental em seu local de extração. No Brasil, a disposição dos rejeitos de mineração em barragens atingiu maior repercussão com os desastres que aconteceram em Mariana, em 2015, e em Brumadinho, em 2019. Com a finalidade de encontrar uma aplicação para esses materiais, esta pesquisa teve como objetivo principal avaliar a adição de rejeitos de minério de ferro em materiais para camadas de base e sub-base de pavimentos rodoviários. A incorporação de rejeitos em materiais para camadas de pavimentos tem o potencial de reduzir o consumo de recursos naturais, promover um novo destino aos rejeitos de mineração e, possivelmente, reduzir os custos relacionados às obras de pavimentação. Os resultados dos ensaios mecânicos mostram que a adição de rejeito de minério de ferro é tecnicamente viável nas misturas de solo-cimento com no mínimo 6% de cimento para camadas de base e de 5% e 4% de cimento para camada de sub-base, indicando que o rejeito pode ser uma excelente alternativa na redução do consumo de cimento, assim como do custo dos materiais para pavimentação.

Palavras-chave: rejeito de minério de ferro; pavimento rodoviário; solo-cimento.

ABSTRACT

Brazil is one of the main mineralproducing countries in the world. Despite the economic importance, the mining activity causes a great environmental impact in its place of extraction. In Brazil, the disposal of mining tailings in dams reached greater repercussions with the disasters that happened in Mariana, in 2015, and in Brumadinho, in 2019. In order to find an application for these materials, this research had as main objective to evaluate the addition of iron ore tailings in materials for base layers and sub-base of road pavements.The incorporation of tailings in materials for pavement layers has the potential to reduce the consumption of natural resources, promote a new destination for mining tailings, and possibly reduce costs related to paving works. The results of the mechanical tests show that the addition of iron ore tailings is technically feasible in soil-cement mixtures with at least 6% cement for base layers and 5% and 4% cement for sub-base layers, indicating that tailings

can be an excellent alternative in reducing cement consumption, as well as the cost of paving materials.

***Keywords**: iron ore tailings; road pavement; soil-cement.*

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Plano CNT de Transporte e Logística 2018 (CNT, 2019), os investimentos em obras rodoviárias deveriam ser da ordem de R$ 100 bilhões, sendo R$ 53 bilhões na manutenção de pavimentos existentes e R$ 46 bilhões na construção de novos pavimentos.Os investimentos necessários para construção de novos pavimentos são altos se comparados com os recursos disponíveis anualmente. As obras de pavimentação requerem um elevado consumo de materiais naturais, principalmente solos e materiais granulares e, consequentemente, de recursos financeiros. Por esse motivo, a avaliação do emprego de materiais alternativos, como rejeitos de mineração, é muito importante, pois, além de reaproveitar materiais que não seriam mais utilizados, também podem contribuir com a redução do consumo de recursos naturais, contribuindo com um desenvolvimento sustentável.

Um levantamento feito por Aguiar (2013) constatou que aproximadamente 49 milhões de metros cúbicos de rejeito de minério de ferro foram descartados em 2010 em barragens no estado de Minas Gerais. Esses resíduos são os principais responsáveis pelos impactos ambientais nas atividades mineradoras. O tratamento e o armazenamento destes descartes visam minimizar os custos e maximizar a segurança operacional. Esses dois fatores constituem um dos principais objetivos das mineradoras para cumprir as exigências ambientais, uma vez que a sua disposição dos resíduos é catalogada como um custo adicional sem retorno dentro do projeto.

A incorporação de rejeitos de mineração em camadas dos pavimentos, como na base, sub-base e reforço de subleito, tem o potencial de reduzir a disposição desses materiais em barragens, diminuindo os impactos ambientais gerados pela atividade, e, aumentando a segurança, tanto para a população, quanto para as empresas mineradoras.

O objetivo desse trabalho foi analisar a viabilidade técnica da adição de rejeitos de mineraçãoem materiais para pavimentação. Para isso, foram produzidas misturas de solo-cimento com adição de rejeito de minério de ferro (sedimentos de dragagem), que foram submetidas aos ensaios mecânicos, verificando se as misturas atendem ao limite mínimo de resistência à compressão exigido por especificação técnica para serem empregadas em camadas de pavimentos rodoviários.

1.1Pavimento

Tecnicamente, "pavimento é uma estrutura composta por camadas construída sobre uma fundação (terreno natural) denominada de subleito"(YODER & WITCZAK, 1975), destinado a resistir aos esforços provenientes do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários boas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (YODER & WITCZAK, 1975).Independentemente do tipo, flexível (asfáltico) ou rígido (de concreto), um pavimento pode ser constituído de revestimento, base, sub-base e reforço do subleito. A quantidade de camadas e suas espessuras variam com a qualidade do subleito, com o tráfego que irá solicitar o pavimento e as características dos materiais que irão compor a sua estrutura.

As camadas do pavimento podem ser constituídas de materiais naturais ou por materiais estabilizados ou modificados pela adição de aditivos. Geralmente, a recomendação é que essas camadas sejam constituídas por solos ou agregados naturais. No entanto, nem sempre os materiais disponíveis na região da obra apresentam características adequadas, em termos de granulometria e, principalmente, capacidade de suporte, para serem empregados puros.

Por esse motivo, o uso de aditivos que aumentem a resistência do solo temse tornado uma prática comum. Um exemplo é a adição de cimento na produção de solo-cimento para camadas de base e sub-base de pavimentos, o que aumenta a resistência da camada de forma a atingir as especificações técnicas.

A quantidade de cimento em misturas com solo varia em função das características do solo e da resistência esperada. Geralmente, em pavimentos que necessitam de menor resistência, o teor de cimento varia de 3 a 5% e a mistura é denominada de solo melhorado com cimento. Quanto existe necessidade de maior resistência, o teor pode variar de 5 a 10% e a mistura produzida é o solo-cimento.

Vale destacar que, para aumentar a resistência do material adicionando cimento, o solo não pode ser muito argiloso, pois esse tipo de solo, além de exigir um elevado teor de cimento, nem sempre atende à resistência mínima exigida pela especificação técnica, sendo necessário adicionar um material mais arenoso ou granular para melhorar as suas características. O rejeito de mineração, em função de suas características mais granulares, é considerado como um material alternativo, de baixo custo.

1.2Rejeito de mineração

A atividade de extração mineral no Brasil representa grande importância social e econômica para o país, sendo que o minério de ferro é um dos seus principais produtos. De acordo com o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), em 2019, foram produzidos 410 milhões de toneladas de minério de ferro no Brasil (IBRAM, 2020). Acompanhado da grande extração de minérios, está a produção de rejeitos de mineração.

Segundo Santos(2007), para obtenção do ferro, o minério é submetido a etapas sucessivas de peneiramento, britagem, moagem, deslamagem e flotação em colunas. A maioria das etapas envolve água, o que faz com que o rejeito produzido apresente a forma de "polpa", com uma parte líquida e outra sólida, composta por diferentes minerais em suspensão e elementos químicos dissolvidos. Para cada tonelada de minério de ferro é produzida em média 0,5 tonelada de rejeitos. Com isso, a estimativa era que, no ano de 2019, a geração de rejeitos de minério de ferro atingiria o valor de 205 milhões de toneladas (IBRAM, 2020).

Em função da grande quantidade produzida anualmente, fica evidente a necessidade de buscar novos destinos para os rejeitos de mineração. Atualmente, entre os rejeitos de mineração, o de minério de ferro é aquele que se encontra com a pesquisa mais desenvolvida, devido a sua grande participação na economia brasileira e à elevada quantidade de mineral extraída anualmente (IBRAM, 2020).

A utilização de rejeito de minério de ferro em pavimentos pode ser realizada dediferentes formas (GALHARDO, 2015; ANTT, 2018):

- misturas de solo e rejeito para camadas de reforço do subleito, sub-base e base;
- misturas estabilizadas quimicamente (rejeito + cimento ou rejeito + cal) para camadas de sub-base e base;

- misturas estabilizadas granulometricamente (agregados + rejeito) para camadas de sub-base e base;
- concreto (concreto + rejeito) para camadas de revestimento e base;
- piso intertravado (blocos de rejeito + cimento) para camadas de revestimento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais empregados na pesquisa foram: solo, cimento e rejeito de minério de ferro(sedimentos de dragagem).O solo utilizado é proveniente de um terreno localizado no bairro da Praça Seca, na cidade do Rio de Janeiro (Figura 1) e pertence à camada compreendida entre as profundidades de 1,00 m e 1,50 m. Os solos foram armazenados em sacos plásticos com capacidade de 25 kg.O cimento utilizado pertence à classe CP-II, da marca Votorantim.

O rejeito de minério de ferro foi obtido da dragagem da UHE Risoleta Neves (Figura 2). A Usina Hidrelétrica Risoleta Neves, conhecida por Candonga, está instalada no Rio Doce, no limite entre os municípios de Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado (MG). Essa foi a segunda hidrelétrica a ser atingida pela inundação de lama de rejeitos de minério da Samarco Mineração S.A., um dia após o rompimento da Barragem do Fundão, em Mariana (em 2015).

Figura 1 – Obraem que foi coletado o solo utilizado na pesquisa - Praça Seca, Rio de Janeiro.



Figura 2 - Usina Risoleta Neves inoperante devido ao acúmulo de rejeitos próximo à crista da barragem.



Fonte:FRYDMAN, 2021.

2.1 Preparação dos materiais

Antes de iniciar a caraterização dos materiais, o solo e o rejeito foram submetidos aos processos de secagem, destorroamento, homogeneização e quarteamento. Para a secagem, os materiais foram colocados sobre uma lona plástica, onde ficaram expostos ao sol, sendo o solo mantido por 48 horas e o rejeito por 72 horas. No destorroamento, os materiais foram inseridos em um equipamento (Figura 3) para que partículas aglomeradas (Figura 4a) fossem desagregadas (Figura 4b).

Figura 3 – Equipamentopara destorroamento.



Figura 4 –Destorroamento de materiais. a)Partículas aglomeradas. b)Material desagregado.





Fonte: FRYDMAN, 2021.

Para realizar a homogeneização, os materiais(solo e rejeito) foram despejados, separadamente, sobre uma lona plástica, empregando o método de pilhas alongadas (Figura 5). Para dividir as amostras em pequenas porções representativas foi realizado o quarteamento das amostras (Figura 6).

Figura 5 – Homogeneização dos materiais.

a) Solo



b) Rejeito



Figura 6 –Quarteamento de materiais.

a) Solo



b) Rejeito



Fonte: FRYDMAN, 2021.

2.2 Caracterização dos materiais

Após a preparação, os materiais foram submetidos aos ensaios para caracterização (análise granulométrica, massas específicas e limites de consistência). A análise granulométrica foi realizada por peneiramento, onde foi possível determinar,além da granulometria dos materiais(Tabela 1), a composição dos materiais (Tabela 2).

Tabela 1. Granulometria dos materiais.

Peneira (mm)	% passante		
	Solo	Rejeito	Solo + Rejeito
25,0	100,0	100,0	100,0
19,1	100,0	96,1	99,6
9,52	99,7	78,4	97,6
4,75	99,3	56,1	95,0
2,38	96,7	31,7	90,2
1,18	77,1	17,3	71,1
0,60	53,7	14,9	49,8
0,42	37,9	12,2	35,3
0,30	22,9	10,0	21,6
0,15	9,5	5,6	9,1
0,075	3,9	2,2	3,7

Fonte: FRYDMAN, 2021.

Tabela 2. Composição dos materiais.

Material	Solo	Rejeito
Pedregulho	3,3%	68,3%
Areia Grossa	43,0%	16,8%
Areia Média	38,7%	6,4%
Areia Fina	12,0%	6,5%
Silte + Argila	3,0%	2,0%

Fonte: FRYDMAN, 2021.

Os limites de consistência (LL - limite de liquidez e IP - índice de plasticidade) permitem avaliar o comportamento do solo em relação a umidade, sendo importantes para avaliar a estabilização do material em uma camada do pavimento.

A classificação do solo foi realizada empregando dois métodos: HRB (Highway Research Board) e MCT (miniatura, compactado, tropical). Apesar do método HRB ter sido desenvolvidopara classificar solos para pavimentação, os solos de climas tropicais não foram considerados nessa classificação. Por isso, também foi realizada a classificação MCT, que é um método específico para solos tropicais para uso em pavimentação.

2.3 Dosagem de solo-cimento

Em função dos resultados de caracterização, o solo puro não pode ser utilizado, pois não atende a especificação para materiais para camadas de pavimentação, por isso foi feita a mistura com cimento para verificar se atenderia as exigências técnicas. A quantidade de cimento foi determinada a partir da dosagem de solo-cimento, empregando o método da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), de acordo com a norma ABNT NBR 12253.

Como o cimento é o produto de maior custo, além da sua produção gerar uma grande quantidade de emissão de poluentes, o objetivo é sempre reduzir o seu consumo. Por isso, buscou-se determinar o menor teor de cimento que poderia ser utilizado nas misturas de solo-cimento ou de solo melhorado com cimento de forma a atender aos requisitos para camadas de base e sub-base de pavimentos.

Inicialmente, foi determinado o teor provávelde cimento para uma mistura de solo+cimentopadrão, considerando a composição do solo (Tabela 2). O teor obtido foi de 8%. O mesmo teor foi adotado para produzir asmisturas de rejeito+cimento e de solo+cimento+rejeito.Vale destacar que o teor de rejeito empregado foi de 10%, obtido em trabalho realizado anteriormente no laboratório(SÁ et al., 2019).

2.4 Moldagem e cura dos corpos de prova

As dimensões escolhidas dos corpos de prova, CPs, cilíndricos para os ensaios de compressão uniaxial nas misturas de solo-cimento foram de 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Foram moldados 4 CPS de cada mistura. O preparo das misturas e a moldagem dos CPs foram feitos na seguinte ordem:

- pesagem das massas dos materiais (Figura 7a);
- mistura do cimento, solo e rejeito, respectivamente, e homogeneização manual da mistura (Figura 7b);
- moldagem dos CPs em três camadas, onde o material de cada camada foi compactado com a energia intermediária do ensaio de Proctor (Figuras 7c e 7d);

Figura 7 – Moldagem dos CPs.

a) Pesagem dos materiais



b) Mistura dos materiais



c) Compactação



d) Identificação dos CPs



Fonte:FERNANDEZ, 2022.

- desmoldagem dos CPs após um período de cura de 24 horas;
- armazenamento dos CPs em câmara úmida, onde permaneceram por 6 dias, concluindo um período total de cura de 7 dias;
- a fim de garantir o paralelismo entre as superfícies de topo e base, os CPs foram submetidos, após a cura e antes dos ensaios de resistência à compressão simples (RCS), ao capeamento com enxofre e cinza volante (Figuras 8 e 9).

Figura 8 – Capeamento dos CPs com enxofre.



Figura 9–CPs prontos para o ensaio de RCS.



Fonte:FERNANDEZ, 2022.

2.4 Procedimentos de ensaios

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos pertencente ao Laboratório de Estruturas (LABEST) da COPPE/UFRJ, em uma prensa com capacidade de 100 toneladas e seguiram os procedimentos da ABNT NBR 12025:2012. A velocidade de deslocamento da mesa foi de 0,3 mm/min e os deslocamentos axiais foram medidos por dois transdutores elétricos fixados na zona central do CP. A partir da aquisição dos dados de força e deslocamentos axiais, foi possível determinar a curva tensão por deformação axial de cada CP.

3 RESULTADOS

Os resultados obtidos de caracterização dos solos apresentaram limite de liquidez, LL=37,6% e índice de plasticidade,IP=16,4%, mostrando que esse solo não atende aos limites para solos convencionais (LL≤25% e IP≤6%), o que indica que não pode ser utilizado puro em camadas de pavimentos. Por esse motivo, foi feita a estabilização com cimento.

A massa específica real do solo foi de 2,597g/cm^{3}e a do rejeito foi de 2,801 g/cm^3. A

superfície específica do rejeito foi de 1640 cm^2/g.

De acordo com a HRB, o solo é um material granular de classe A 2-6, em que o material predominante é a areia siltosa ou argilosa. Segundo a metodologia MCT, esse solo foi classificado como de classe LA' - solo arenoso laterítico.

A Tabela 3 apresenta os resultados das misturas com 8% de cimento.

Tabela 3. Resistência à compressão das misturas com 8% de cimento.

Teor de cimento	Mistura	Tensão de pico (MPa)				Média (MPa)	Aplicação
		CP1	CP2	CP3	CP4		
8%	S + C	4,72	5,29	4,67	4,44	**4,78**	**Base**
	S+ C + R	3,74	3,96	4,9	4,15	**4,19**	**Base**
	R + C	1,39	1,64	1,56	1,09	**1,42**	**Não atende**

Fonte: FERNANDEZ, 2022.

A partir dos resultados obtidos, pode-se verificar que as misturas de solo + cimento + rejeito atenderam aos requisitos de resistência (limite mínimo de 2,1 MPa), com valores considerados altos, quase o dobro do limite.

A mistura de rejeito + cimento, por terapresentado mau desempenho não foi mais ensaiada, já que a redução do teor de cimento tende a reduzir a resistência à compressão.

Foram estudadas oito misturas com as seguintes composições:

Mistura	Teor de cimento			
S + C	6%	5%	4%	3%
S + C + R				

Os resultados de resistência à compressão uniaxial de cada mistura são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Resistência à compressão das misturas com 6%, 5%, 4% e 3% de cimento.

Teor de cimento	Mistura	Tensão de pico (MPa)			Média (MPa)	Aplicação	Tipo
		CP1	CP2	CP3			
6%	S + C	2,81	3,00	3,28	**3,03**	**Base**	Solo-cimento
	S+ C + R	3,24	2,80	3,43	**3,16**	**Base**	
5%	S + C	0,57	0,96	1,14	**1,05**	**Não atende**	Solo-cimento
	S+ C + R	1,10	1,11	1,52	**1,25**	**Sub-base**	
4%	S + C	0,55	1,48	1,48	**1,48**	**Sub-base**	Solo melhorado com cimento
	S+ C + R	1,02	1,03	1,22	**1,09**	**Não atende**	
3%	S + C	0,62	0,88	1,35	**0,75**	**Não atende**	Solo melhorado com cimento
	S+ C + R	0,76	0,58	0,60	**0,65**	**Não atende**	

Fonte: FERNANDEZ, 2022.

Pode-se observar que todas as misturas com 6% de cimentoapresentaram valores acima do limite de 2,1 MPa para camada de base.A mistura S+C com 5% de cimento, com resistência média de 1,05 MPa, não atendeu ao requisito de resistência mínima para utilização em camadas de base ou sub-base (de 1,2 MPa). No entanto, a mistura S+C+R com 5% de cimento apresentou resultado que atende a resistência mínima para sub-base.

Para ser considerado solo-cimento, a mistura deve conter no mínimo 5% de cimento, sendo que as misturas com 4% e 3% são denominadas de solo melhorado

com cimento. No caso das misturas com 4% de cimento, apenas a mistura S+C atendeu ao limite para aplicação em sub-base. As misturas com 3% de cimento não atenderam a especificação.

Vale ressaltar, que os resultados dos CP1 das misturas S+C com 5% e 4% e do CP3 com 3% foram descartados devido aos resultados discrepantes. Além disso, pode-se observar que nas misturas com4% e 3% de cimento, a adição do rejeito reduziu a resistência à compressão da mistura, o contrário das misturas com teores mais altos.

CONCLUSÕES

A quantidade de rejeito de mineração, particularmente de minério de ferro, gerada anualmente no Brasil faz com que seja necessária a busca por alternativas para uso do rejeito. Atualmente, já existem diversas pesquisas sobre aplicação desses materiais em diversas áreas, como na pavimentação.

O consumo de materiais naturais (solos e agregados) nas camadas de pavimentos é alto, chegando a quase 10 mil toneladas por quilômetro. Muitas vezes, os materiais disponíveis na regiãoda obra não atendem às exigências das especificações técnicas, não sendo permitido o emprego desses materiaisem camadas do pavimento. No entanto, em muitos casos, o custo de transporte de materiais adequados pode encarecer a obra, tornando inviável economicamente. Por esses motivos, é essencial a busca pode materiais alternativos. A estabilização do solo da região a partir da mistura com cimento e outros materiais pode ser uma alternativa.

Os resultados da adição de rejeito de mineração nas misturas de solo-cimento com teores de 5% e 6% de cimento mostraram que essa pode ser uma excelente alternativa como material para camadas de sub-base e base de pavimentos, respectivamente, uma vez que as misturas com adição de sedimentos de dragagem apresentaram resistência à compressão simples bem acima do mínimo exigido. Já a aplicação de misturas de solo, rejeitos e teores inferiores a 5% de cimento não é recomendada em camadas de base nem de sub-base de pavimentos.

Portanto, esta pesquisa apresentou uma alternativa do uso de rejeito de minério de ferro em materiais para pavimentação, mostrando que a substituição de parte do solo pelo rejeito reduz o consumo de recursos naturais, podendo contribuir para minimizar os impactos ambientais, além de reduzir o custo das obras.

Como complemento e continuidade ao estudo, a fim de comparar os impactos ambientais da construção de um pavimento rodoviário composto por solo-cimento com e sem a utilização de rejeitos de minério de ferro nas camadas de base e sub-base, será realizada a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) dos dois casos. Para isso, pretende-se definir a distância máxima de transporte do rejeito de minério de ferro até o empreendimento para a qual o seu emprego seja vantajoso do ponto de vista ambiental.

Um aspecto que não será avaliado no estudo são determinações da legislação vigente, como a obrigação de desativação, descomissionamento e descaracterização de barragens a montante e barragens construídas por métodos declarados como desconhecidos (Resolução ANM nº 95 de 2022). Nesse caso, seria necessário comparar o impacto ambiental da destinação desses rejeitos a outros tipos de barragens ou a outros fins com o impacto da sua utilização em pavimentos rodoviários.

Os sistemas de produto a serem avaliados são as etapas para produção de solo-cimento. A fronteira de estudo adotada será do berço ao portão, onde serão considerados os processos de coleta do solo e do rejeito, o processo de obtenção do cimento, o transporte desses até o local do empreendimento e a sua mistura. A unidade funcional adotada será 1 m³ de mistura solo-cimento normalizada pela resistência a compressão da mistura, em MPa, após 7 dias de cura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12025**: Solo-cimento - Ensaio de compressão simples de corpos de prova cilíndricos - Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12253**: Solo-cimento - Dosagem para emprego como camada de pavimento - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, RJ, 2012.

AGUIAR, F. L. **Redução do Impacto Ambiental Através da Recuperação dos Ultrafinos de Minério de Ferro** – Uma Revisão. Dissertação (Mestrado) - Pós-graduação em Engenharia de Recursos Minerais, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, 73 p., 2013.

Agência Nacional De Transporte Terrestre - ANTT. **Estudo da Viabilidade Técnica de Utilização de Rejeitos de Minério de Ferro em Pavimentos Rodoviários**. Brasília, DF, 2018.

Confederação Nacional dos Transportes - CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019**. Disponível em: https://pesquisarodovias.cnt.org.br/relatorio-gerencial. Publicado em 22/10/2019. Acesso em 08/03/2020.

FERNANDEZ, S. D. S. **Análise da adição de rejeito de minério de ferro em misturas de solo-cimento para camadas de base e sub-base de pavimentos rodoviários**. Relatório Final. Programa de Iniciação Científica – PIBIC-UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2022.

FRYDMAN, A.D. **Análise da adição de rejeito de mineração em materiais para pavimentação**. Relatório Final. Programa de Iniciação Científica – PIBIC-UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, 2021.

GALHARDO, D. C. **Estudo sobre a viabilidade técnica da utilização de rejeitos de mineração de ferro em camadas de pavimentos rodoviários**. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 186 p.2015.

Instituto Brasileiro de Mineração -IBRAM. **Economia Mineral**. Fevereiro de 2020. Disponível em: http://portaldamineracao.com.br/wp-content/uploads/2020/02/Econ-mineral-fev2020.pdf Acesso em 24/04/2020, 2020.

SÁ, T.S.W; ODA, S.; TOLEDO FILHO, R.D.; BALTHAR, V.K.C.B.L. Utilização de rejeitos de minério de ferro em camadas estruturais de pavimentos. In: **6º Encontro Nacional sobre Aproveitamento de Resíduos na Construção Civil**, 2019.

SANTOS, D. A. M. dos. **Técnicas para a disposição de rejeitos de minério de ferro**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2007.

YODER, E. J. & WITCZAK, M. W. **Principles of Pavement Design**. Ed. John Wiley & Sons Inc., 2nd Edition, 736 p., 1975.