

APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DA MINERAÇÃO PARA USO EM PAVIMENTAÇÃO

Virlene Leite Silveira
Quincio Muniz Pinto Netto
Victor Hugo Rodrigues Barbosa
Carmen Dias Castro
Antônio Carlos Rodrigues Guimarães
Instituto Militar de Engenharia

RESUMO

A extração do minério de ferro vem expandindo nos últimos anos e o Brasil é considerado o segundo maior produtor mundial. Associada a esse cenário, encontra-se a grande quantidade de resíduos gerados no processo de beneficiamento. Sabe-se que meios sustentáveis, como a utilização de resíduos na construção civil e estradas, estão sendo cada vez mais pesquisados. Este trabalho tem como objetivo caracterizar o resíduo coletado no Município de Mariana/MG, para possível uso na pavimentação como agregado miúdo. Realizaram-se ensaios de caracterização física, química e ambiental, além do ensaio de Módulo de Resiliência (MR) do resíduo e em misturas com um solo local para análise do comportamento mecânico. Com relação ao MR constatou-se que o uso do resíduo é eficiente para questão de passivo ambiental e, ainda, contribui tecnicamente para a vida útil de pavimentos. Conclui-se que a utilização de resíduos da mineração do ferro na pavimentação representa uma solução econômico-sustentável.

ABSTRACT

The extraction of the iron ore has been expanding in the recent years and the Brazil is considered the second largest producer in the world. Associated with this scenery, is the large amount of waste generated in the beneficiation process. It is known that sustainable means, such as the use of waste in construction and roads, are increasingly being researched. This work has as main objective to characterizes the residue collected in the Municipa district of Mariana / MG, for possible use in paving as a small aggregate. Physical, chemical and environmental characterization tests were performed in addition to the Residuals Resilience Module (MR) test and in mixtures with a local soil for analysis of the mechanical behavior. Regarding MR, it was found that the use of waste is efficient for environmental liabilities and also contributes technically to the useful life of pavements. It is concluded that the use of iron mining residues in the paving represents an economical and sustainable solution.

1. INTRODUÇÃO

A crescente quantidade de resíduos sólidos da indústria tem sido um fator de grande preocupação global devido às questões econômicas, sociais e principalmente ambientais. Estudos em todo o mundo estão sendo desenvolvidos com o objetivo de reduzir o descarte dos mesmos, uma vez que essa preocupação traz ganhos significativos quando se trata do custo-benefício, pois novas áreas e aterros onde são dispostos estes rejeitos estão cada vez mais difíceis de serem viabilizados, aliado a toda uma estrutura de proteção que possibilite a minimização ou descontaminação do meio ambiente (PEREIRA, 2012).

As atividades de mineração geram uma quantidade significativa de estéréis e rejeitos, subprodutos inerentes ao processo de lavra e beneficiamento do minério, os quais exibem características mineralógicas, geotécnicas e físico-químicas variáveis em função do tipo de minério e do próprio processo de beneficiamento. Essa situação tem sido fonte de preocupação em todo o Brasil, principalmente na região de chamada Quadrilátero Ferrífero, em função de questões ambientais, econômicas e até sociais (GALHARDO, 2015).

Pesquisar e gerar um novo destino para os rejeitos, em geral, tem se mostrado uma alternativa bastante viável, visto que os fatores de custos com transporte e armazenamento serão atenuados

e, além disso, tem-se um ganho considerável com relação à preservação do meio ambiente. Areladas a esta ideia, diversas instituições de ensino em parceria com empresas privadas estão buscando novos projetos de pesquisas com vistas para o reaproveitamento dos resíduos. Assim, uma opção é a aplicação dos mesmos como agregados alternativos para a pavimentação asfáltica, que é largamente utilizada na malha de transportes brasileira.

Acredita-se que a minimização dos impactos ambientais é viabilizada pela reciclagem dos resíduos de minério de ferro, assim como de qualquer outro tipo de resíduo, porém neste caso, há também uma redução de área para depósitos de bota-foras e do desmatamento e de frente de lavra para exploração de materiais granulares tradicionais.

O material estudado trata-se de um rejeito arenoso coletado no município de Mariana - MG, fruto do beneficiamento do minério de ferro da empresa Samarco S.A. Nesta pesquisa, o objetivo principal foi caracterizar e avaliar a possibilidade de reaproveitar o rejeito de minério de ferro na construção de camadas estruturais de pavimentos com baixo volume de tráfego. O estudo incluiu um programa experimental envolvendo ensaios de caracterização física, química, ambiental e mineralógica do rejeito.

Atualmente ainda existe uma carência de pesquisas e trabalhos publicados que relatem o uso de rejeito de minério de ferro em pavimentação, em comparação a outros resíduos industriais, como os de aciaria.

FERNANDES (2005) foi um dos pioneiros e estudou o comportamento mecânico das misturas asfálticas contendo resíduos de minério de ferro associados à geossintéticos na construção de um trecho experimental de ferrovia e comprovou a qualidade técnica dessas misturas, sendo compatível com a de materiais normalmente utilizados em pavimentos ferroviários.

Estudos mais atuais, realizados pelo Instituto Militar de Engenharia (IME), também obtiveram resultados satisfatórios com o uso desse rejeito. Inicialmente, GALHARDO (2015) estudou a viabilidade técnica do emprego de misturas de solos com rejeitos arenosos oriundos do beneficiamento de minério de ferro, visando seu emprego em camadas estruturais, como base e sub-base, de pavimentos rodoviários.

FRIBER (2015) estudou o emprego do agregado graúdo calcinado, produzido artificialmente a partir do resíduo de mineração, para obras de pavimentação. VALADARES (2016), APAZA (2016) e ARÊDES (2016) estudaram o comportamento mecânico de misturas asfálticas, considerando variados teores do rejeito da mineração de ferro e tipos de misturas.

Todos esses estudos comprovaram o potencial do resíduo para uso como agregado em pavimentos, sendo uma forma alternativa de reduzir os danos ambientais e proporcionando uma opção ao uso de agregados convencionalmente utilizados na pavimentação.

Vislumbrando o emprego de resíduos em obras de pavimentação, a mineradora Samarco S/A, em parceria com o Instituto Militar de Engenharia (IME) estuda a possibilidade da utilização de resíduos da mineração do Fe como material de construção na pavimentação tanto nas camadas inferiores de base e sub-base quanto na camada de rolamento de um pavimento rodoviário.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O resíduo arenoso estudado foi coletado no município de Mariana - MG, fruto do beneficiamento do minério de ferro da empresa Samarco S.A (Figura 1), como dito anteriormente.



Figura 1: Aspecto do rejeito arenoso

A pesquisa abrangeu a realização de ensaios de caracterização física, química e ambiental do material.

O solo estudado foi retirado a partir da abertura de uma trincheira em uma via também localizada em Mariana – MG. Trata-se de um material já utilizado como revestimento primário e de ocorrência comum na região. A escolha do solo foi feita de acordo com as suas características de modo a viabilizar a construção de um trecho experimental no local. A Figura 2 mostra a abertura da trincheira para a coleta do material.



Figura 2: Escavação da trincheira para coleta do solo

2.1. Caracterização Física

Os ensaios realizados nessa etapa são descritos detalhadamente a seguir pela Tabela 1.

Tabela 1: Ensaios de caracterização física do rejeito

Ensaios	Metodologia
Análise Granulométrica	DNER-ME 083/98 e a laser
Densidade real dos grãos	DNER-ME 084/95
Compactação	DNER-ME 054/97
MEV	-

Para os ensaios de caracterização, a preparação das amostras do resíduo a ser utilizado, como secagem ao ar e peneiramento, seguiu as preconizações estabelecidas pela norma técnica DNER-ME 041/94.

Ressalta-se que a granulométrica dos agregados, por ser uma das suas principais características do material e, além disso, por exercer influencia efetiva no comportamento dos pavimentos, foi realizada de duas maneiras: a convencional (DNER-ME 083/98) e a laser pelo equipamento Mastersizer 2000-HYDROG.

2.2. Caracterização Química

A caracterização química foi feita através do *energy dispersive x-ray detector* (EDS). O referido ensaio é realizado em associação com o Microscópio Eletrônico por Varredura (MEV), sendo ambas as ferramentas essenciais no estudo de caracterização microscópica de materiais. Com a aplicação do EDS, foi possível determinar e quantificar os elementos químicos presentes em determinado material.

2.3. Caracterização Ambiental

A NBR 10.004 (ABNT, 2004), define resíduos sólidos como: resíduos nos estados sólidos e semissólidos resultantes de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição.

A classificação dos resíduos está ligada a seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, a fim de dar um manuseio e destino adequado. A sua periculosidade está ligada diretamente às suas propriedades físicas, químicas e/ou infectocontagiosas. Assim, conforme a NBR 10.004, os resíduos são classificados em três categorias, as quais são descritas a seguir:

- Resíduos Classe I – Perigosos: São os que apresentam periculosidade ou uma das seguintes características: Inflamabilidade, Corrosividade, Reatividade, Toxicidade e/ou Patogenicidade;
- Resíduos Classe II – Não Perigosos: Este está dividido em duas subcategorias mostradas a seguir:
 - Resíduos Classe II A – Não Inertes: São aqueles que não se enquadram na classificação de Resíduos Classe I - Perigosos ou de Resíduos Classe II B – Inertes. Estes resíduos têm características, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
 - Resíduos Classe II B – Inertes: Quaisquer resíduos quando colocados em contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme NBR 10.006 (ABNT, 2004), não tiverem seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

2.4. Caracterização Mecânica

Com o intuito de analisar o comportamento mecânico do material, para utilização em pavimentos, testou-se um solo típico da região, chamado neste trabalho como cascalho, juntamente com o resíduo em um teor previamente definido, no ensaio de Módulo de Resiliência. O teor de resíduo a ser utilizado foi definido de acordo com a norma para estabilização granulométrica (DNIT 141/2010).

Além da mistura, também foram testados o cascalho individualmente, a fim de verificar o

comportamento antes e depois da mistura. Para tal, foram realizados ensaios de Compactação em Energia Intermediária, para definição do teor de umidade ótima e massa específica aparente seca do solo e da mistura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Granulometria e Densidade Real dos Grãos do Resíduo e do Solo utilizado

A granulometria do material pode ser realizada a laser ou pelo método convencional. Com relação à técnica aplicada a laser, sabe-se, que a mesma, é amplamente utilizada para a determinação do tamanho de partículas de materiais que vão desde centenas de nanômetros a vários milímetros de tamanho.

Conforme as instruções do equipamento, a difração a laser mede as distribuições de tamanho das partículas por medição da variação angular na intensidade da luz difundida à medida que um feixe de laser interage com as partículas dispersas da amostra. Partículas grandes dispersam a luz em pequenos ângulos em relação ao feixe de laser e partículas pequenas dispersam a luz em ângulos grandes. Os dados sobre a intensidade da dispersão angular são então analisados para calcular o tamanho das partículas responsáveis por criar o padrão de dispersão, com base na teoria de difusão da luz de Mie. O tamanho das partículas é indicado como o diâmetro de uma esfera de volume equivalente. A Figura 3 ilustra a curva granulométrica do resíduo estudado, realizada a partir deste método.

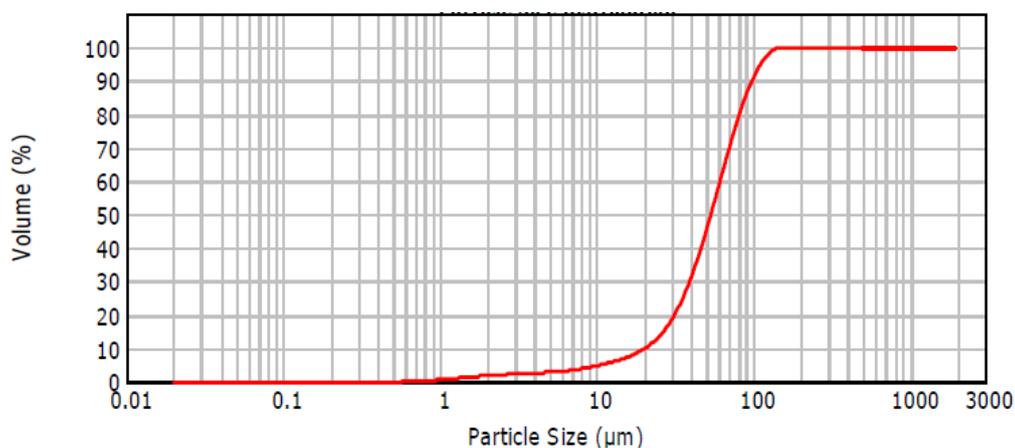


Figura 3: Curva granulométrica do resíduo realizada a laser

Por ser uma tecnologia nova para os autores e de modo a confirmar os resultados obtidos pela granulometria feita a laser, efetuou-se a granulometria pelo método tradicional conforme a DNER-ME 083/98. O resultado é apresentado na Figura 4.

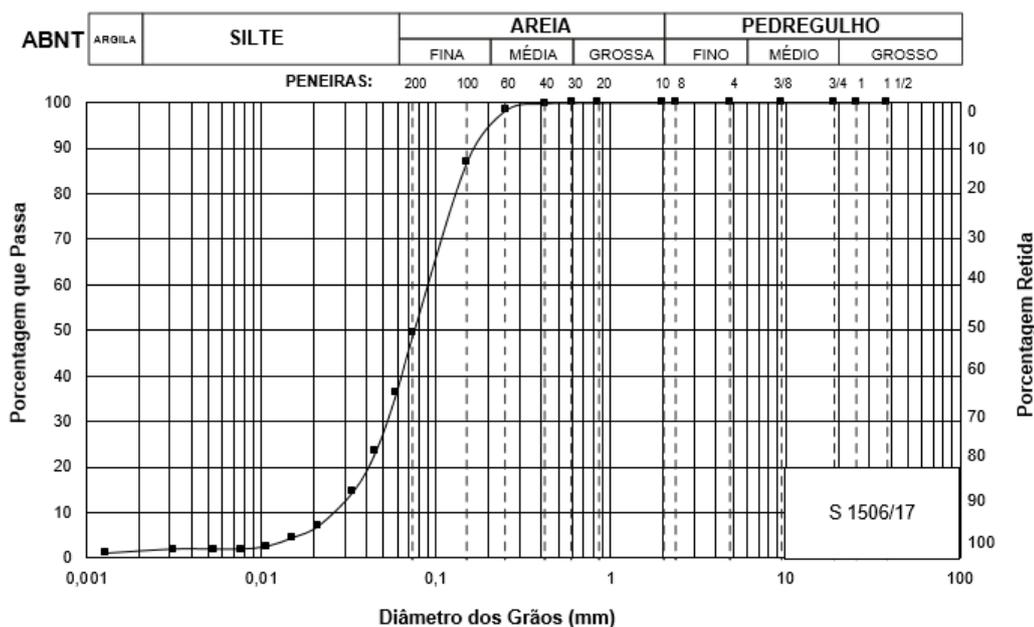


Figura 4: Curva granulométrica do resíduo realizada pelo método tradicional

Pela análise da Figura 3 e Figura 4, percebe-se a semelhança dos resultados obtidos pelos métodos distintos. Quanto a composição do material, observa-se que o material possui alto teor de finos, sendo cerca de 50% do seu material passante na peneira de nº 200 (0,075mm) e 100% passante na peneira nº 40. De forma geral, o resíduo aponta para uma graduação uniforme, ou seja, apresentam a maioria de suas partículas com tamanhos em uma faixa estreita, caracterizando uma curva granulométrica bastante íngreme.

Com relação a densidade real dos grãos do material, obteve-se como resultado o valor de $2,9\text{g/cm}^3$. A partir do mesmo, pode-se considerar um valor alto, porém justificável devido ao alto teor de ferro apresentado na amostra, sendo observado na análise de EDS a seguir.

A seguir, a Figura 5, apresenta a granulometria do solo estudado. Analisando-se a mesma, nota-se que, o material é tipicamente pedregulhoso, embora tenha uma parcela considerável de finos em sua composição. A densidade real dos grãos do solo foi de $3,32\text{g/cm}^3$, um valor considerado alto e que assim como o resíduo, justifica-se devido ao alto teor de ferro presente na amostra.

Para fins de ensaios mecânicos, também foi realizado o ensaio de compactação do solo, este que apresentou umidade ótima de 7,7% e densidade máxima de $2,641\text{g/cm}^3$.

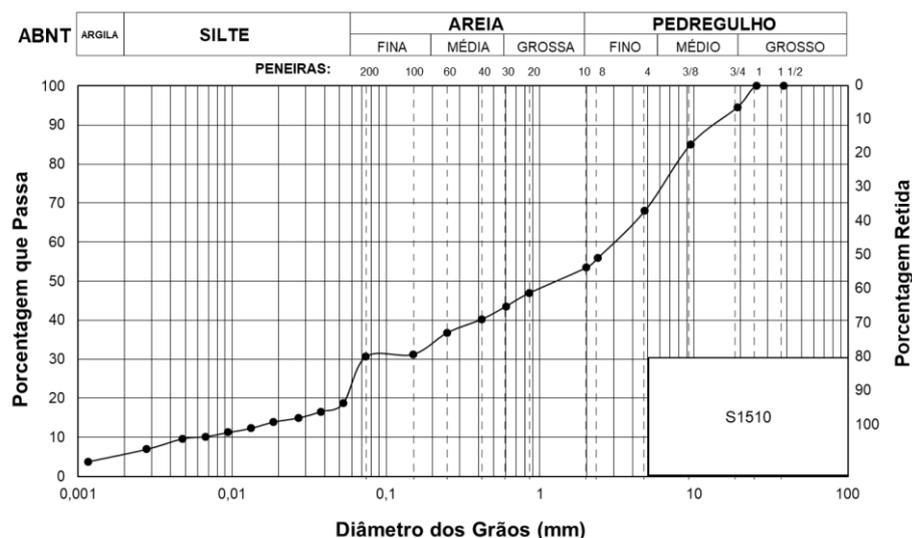


Figura 5: Curva granulométrica do solo

3.2. MEV E EDS

O ensaio de MEV foi realizado com o objetivo de obter imagens ampliadas da microestrutura das partículas, com diferentes graus de magnificação, permitindo distinguir detalhes de sua forma não revelados a olho nu, conforme pode ser observado nas Figuras 6a, 6b e 6c, apresentadas a seguir.

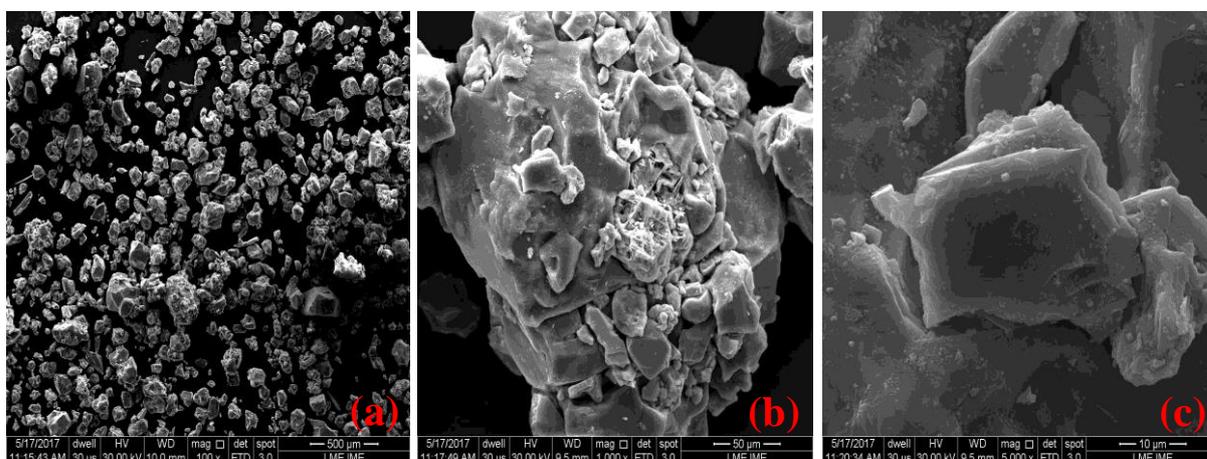


Figura 6: Imagem do resíduo com aumento de 100x(a), 1000x(b) e 5000x(b).

A partir das Figuras 6a, 6b e 6c apresentadas, pode-se perceber que as partículas apresentam tamanhos de partículas bastante distintos sendo um material muito heterogêneo. Além disso, possibilita identificar, também, que a superfície dos grãos é lisa com ausência de poros, apresentando algumas fissuras e sua forma pode ser interpretada como irregular.

Na mesma amostra ensaiada para o MEV realizou-se o EDS, para a determinação dos elementos presentes no resíduo. O gráfico a seguir apresenta a composição do material segundo este ensaio (Figura 7).

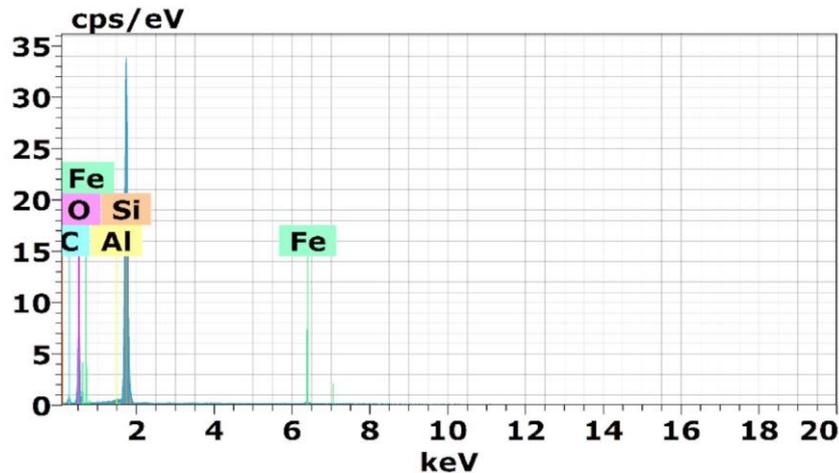


Figura 7: Composição obtida pelo EDS da amostra

Contudo, verificou-se alta concentração de silício, seguido de ferro, o que é justificável, já que todas as amostras utilizadas na caracterização são produto do beneficiamento de minério de ferro.

GALHARDO (2015), que estudou o mesmo rejeito em seu trabalho, explica com relação ao tamanho das partículas que apresentam variação de 60 a 140 μm , é devido provavelmente a uma concentração de sílica maior com relação ao ferro, enquanto que as partículas com ordem de tamanho menores a 20 μm , revelaram uma porcentagem maior de ferro, quando comparado a sílica. Fato devido ao alto grau de beneficiamento do material.

3.3. Análise Ambiental

Com relação aos resultados da análise ambiental, que avaliam a presença de contaminantes no rejeito, pode-se verificar que:

- No resíduo não há presença de impurezas orgânicas, e;
- Os ensaios de Lixiviação (NBR 10.004/04) e de Solubilização (NBR 10.006/04) apresentaram bons resultados, mostrando com isso, que o rejeito arenoso, proveniente do beneficiamento do minério de ferro, pode ser classificado como Classe II B – Não perigoso e Inerte e, portanto, pode ser utilizado na pavimentação.

3.4. Análise Mecânica

A análise mecânica foi feita através do ensaio de Módulo de Resiliência no equipamento Triaxial de Cargas Repetidas. A dosagem solo/resíduo foi realizada de acordo com a norma para base estabilizada granulometricamente, como citada anteriormente e está ilustrada na Figura 8.

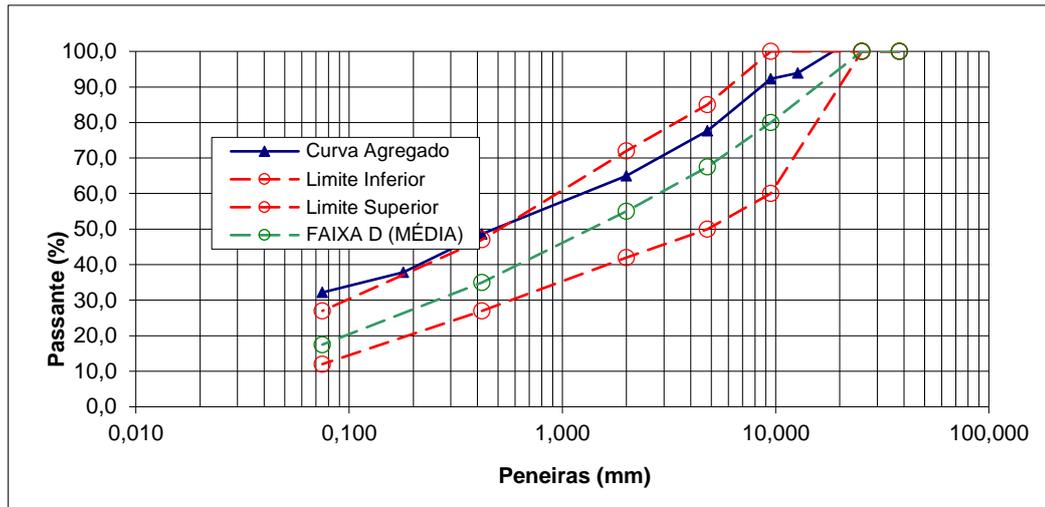


Figura 8: Enquadramento da dosagem de agregados solo-resíduo baseado nos limites adotados pela faixa D do DNER

O enquadramento foi feito buscando-se o maior aproveitamento do rejeito em pavimentos, logo, usando 20% de resíduo nas misturas, obteve-se enquadramento na faixa D do DNER.

Definido o teor de resíduo das misturas, procedeu-se com ensaios de compactação do solo-resíduo, para realizar os ensaios mecânicos. Portanto, a mistura apresentou umidade ótima de 7,7% e densidade máxima de 2,641g/cm³.

Definida a umidade ótima do material procede-se com o ensaio de Módulo de Resiliência. Para este ensaio são apresentados dois gráficos, o primeiro refere-se ao Módulo de Resiliência em função da Tensão Confinante (Figura 9) e o segundo em função da Tensão Desvio (Figura 10).

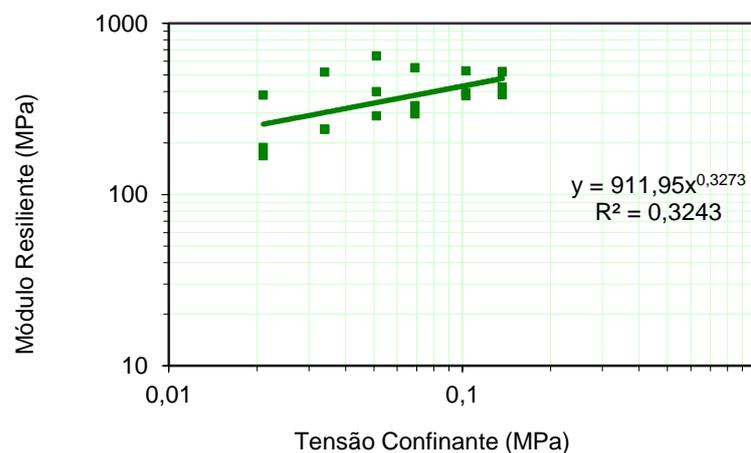


Figura 9: Módulo de Resiliência x Tensão confinante do solo

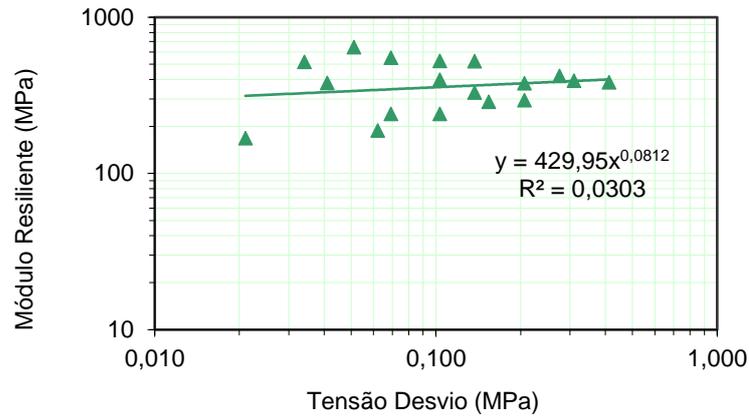


Figura 10: Módulo de Resiliência x Tensão Desvio do solo

Os valores de módulo foram elevados e ficaram na faixa de 200 MPa a 500 MPa, o valor médio do Módulo de Resiliência com a aplicação dos 18 pares tensões foi de 381 MPa.

3.5 Mistura solo-rejeito

As misturas estudadas foram compostas de 70% de solo e 30% de resíduo. Esse valor foi previamente definido por meio do enquadramento da faixa D do DNIT segundo a norma para base estabilizada granulometricamente (DNIT 141/2010 - ES).

Pelo ensaio de compactação, seguindo os mesmos critérios estabelecidos por norma aqui apresentada, apresentou umidade ótima de 7,4% e densidade máxima de $2,552 \text{ g/cm}^3$. Observando os resultados, nota-se que houve um decréscimo no valor da umidade ótima e também, na densidade máxima.

Os resultados dos ensaios de Módulo de Resiliência para as misturas estão representados pelas Figuras 11 e 12 respectivamente.

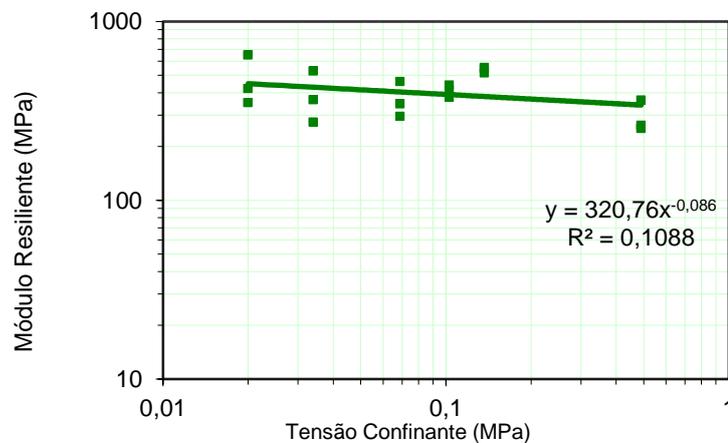


Figura 11: Módulo de Resiliência x Tensão confinante da mistura solo-rejeito

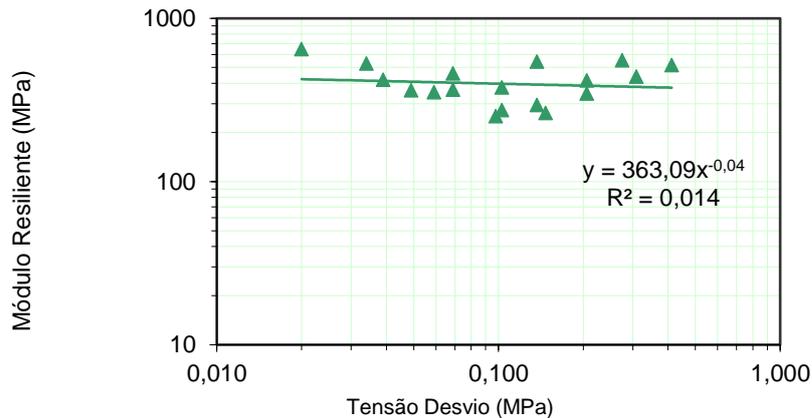


Figura 12: Módulo de Resiliência x Tensão Desvio da mistura solo-rejeito

No caso das misturas os valores de módulo variaram de 250MPa a 650 MPa. Havendo um pequeno, porém considerável aumento da resistência do material. O Módulo de Resiliência médio neste caso foi de 425 MPa. Um dos prováveis motivos do aumento da resistência deve-se ao preenchimento de vazios da amostra de solo, esta que se apresentava em grande porcentagem de pedregulhos, uma vez realizada a estabilização granulométrica, estes vazios foram preenchidos pelo rejeito.

O ensaio de Módulo de Resiliência do rejeito não foi feito individualmente, uma vez que sua característica muito arenosa inviabilizou a confecção dos corpos de prova.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo caracterizar resíduos oriundos do processo de beneficiamento do minério de ferro, para possível utilização como agregado alternativo em substituição parcial do convencional.

Nesse sentido, com relação à granulometria, pôde-se concluir que o resíduo do beneficiamento mostrou ser um agregado miúdo, tendendo às areias finas siltosas, sendo a sua composição de aproximadamente 50% de material passante na peneira 0,075mm (nº. 200). Dessa forma, pode-se afirmar que sua utilização em camadas de revestimento asfáltico fica restrita às pequenas substituições em percentuais de *filler* e areia ou pó de pedra. Entretanto, para as camadas de base e sub-base, acredita-se que tal percentual poderá ser mais expressivo.

Do ponto de vista da densidade, o valor de 2,9g/cm³ pode ser considerado elevado quando comparado aos valores comumente encontrados em agregado de características granulométricas semelhantes. Entretanto, tal fato pode ser explicado por se tratar de um material com presença de minério em sua composição.

O resíduo foi analisado pelo ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), e os resultados demonstraram uma estrutura heterogênea, com grãos de superfície lisa e irregular. Porém, sabe-se que o fenômeno físico da heterogeneidade nos resíduos está associado aos processos de extração e beneficiamento, não sendo impeditivo para utilização em misturas asfálticas desde que alcançado o

intertravamento dos agregados, tampouco para as camadas de base e sub-base.

Por sua vez, o ensaio de Energia Dispersiva (EDS) denotou alta concentração de silício e ferro na composição químico-mineralógica do resíduo, sendo justificável por se tratar de um rejeito do beneficiamento de minério de ferro.

Quanto ao ensaio de equivalente de areia, necessário para utilização de solos e/ou agregados miúdos em pavimentação, os valores encontrados foram acima do mínimo estabelecido pela norma técnica DNER-ME 054/1997.

Do ponto de vista ambiental, o resíduo foi caracterizado como Classe II B, que corresponde a materiais não perigosos e inertes pela classificação ABNT, permitindo sua utilização na pavimentação.

Mecanicamente, a utilização do rejeito em misturas em solo, aumenta a rigidez do material e viabiliza sua utilização em camadas de pavimento, principalmente em áreas de baixo volume de tráfego, como no caso da zona rural de Mariana, onde os materiais foram retirados. Os ensaios de Módulo de Resiliência mostraram que o uso do resíduo é eficiente não só para questão de passivo ambiental, mas também contribui tecnicamente para a vida útil de pavimentos.

Contudo, conclui-se que a utilização de resíduos da mineração do ferro na pavimentação representa uma solução econômico-sustentável, pela substituição parcial de agregado convencional, bem como uma alternativa técnica, pois suas características físico-químicas, mineralógicas e geotécnicas atendem ao exigido nas normas de pavimentação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2004a) *NBR 10.004 - Resíduos sólidos – Classificação*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT (2004b) *NBR 10.005 - Procedimento para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT (2004c) *NBR 10.006 - Procedimento para a obtenção de extrato solubilizado de resíduos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro Rio de Janeiro, 2004.
- ARÊDES, M. L. A (2016) *Avaliação do comportamento mecânico de misturas asfálticas utilizando resíduo do beneficiamento do minério de ferro*. Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro.
- APAZA, F. R. A. (2015) *Estudo de Mistura Asfáltica Contendo Resíduo do Beneficiamento do Minério de Ferro*. Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro.
- DNER-ME 054 (1997) *Equivalente de areia*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 1997.
- DNER-ME 084 (1995) *Agregado miúdo – determinação da densidade real*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1995.
- DNIT 141 (2010) *Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço*. Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre, 2010.
- DNIT 031 (2004) *Pavimentos flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de serviço*. Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre, 2010.
- FERNANDES, C. G. (2005) *Caracterização mecânica de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição para uso em pavimentação dos municípios do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte*. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. RJ.
- FRIBER, M. A. (2015) *Avaliação do agregado calcinado de resíduo de mineração para o emprego em pavimentação*. Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro.
- GALHARDO, D. C. (2015) *Estudo sobre a viabilidade técnica da utilização de rejeitos de mineração de ferro em camadas de base e sub-base em pavimentos rodoviários*. Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro.
- PEREIRA, K. L. (2012) *Estabilização de um solo com cimento e cinza de lodo para uso em pavimentos*. Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal.

VALADARES, R. G.(2016) *Comportamento mecânico de areia-asfalto contendo resíduo do beneficiamento do minério de ferro*. Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro.

Virlene Leite Silveira (virlene_cea@hotmail.com)

Quincio Muniz Pinto Netto (quincio@hotmail.com)

Victor Hugo Rodrigues Barbosa (victorhrb@gmail.com)

Antonio Carlos Rodrigues Guimarães (cap-guimaraes@hotmail.com)

Carmen Dias Castro (carmendc14@gmail.com)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia.
Praça General Tibúrcio, 80, Urca – Rio de Janeiro, RJ, Brasil