

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO CERRADO PATROCÍNIO UNICERP
Graduação em Engenharia Civil

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE ESTÉRIL DE
FOSFATO DO COMPLEXO MINERAL DE PATROCÍNIO-MG EM
CAMADAS DE BASE E SUB-BASE.**

JOSÉ GERALDO MARQUES DAS GRAÇAS

PATROCÍNIO – MG
2018

JOSÉ GERALDO MARQUES DAS GRAÇAS

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE ESTÉRIL DE FOSFATO DO COMPLEXO MINERAL DE PATROCÍNIO-MG EM CAMADAS DE BASE E SUB-BASE.

Trabalho de conclusão de curso apresentado como exigência parcial para obtenção do grau de Bacharelado em Engenharia Civil, pelo Centro Universitário do Cerrado Patrocínio.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Fernandes

**PATROCÍNIO – MG
2018**

Trabalho de conclusão de curso intitulado “**Análise de viabilidade de utilização de estéril de fosfato do Complexo Mineral de Patrocínio-MG em camadas de base e sub-base**”, de autoria do graduando José Geraldo Marques das Graças, aprovado pela banca examinadora constituída pelos seguintes professores:

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Fernandes

Instituição: UNICERP

Avaliador 1 -

Instituição: UNICERP

Avaliador 2 -

Instituição: UNICERP

Data de aprovação: 14/12/2018

Patrocínio, 14 de Dezembro de 2018.

DEDICO este trabalho primeiramente a Deus fonte de vida e sabedoria, pela saúde e pelo discernimento a mim concebido. Dedico também a minha mãe, Geralda pela luta e dedicação diária quanto na fé de realizar um sonho de ver um filho se tornar engenheiro, a minha namorada Stefânia Roberta que sempre me apoiou nessa jornada, ao meu filho Pedro Henrique que sempre esteve ao meu lado e meus irmãos João Henrique e Jean pelo companheirismo e apoio diário.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe, filho, irmãos, amigos, familiares e namorada que com paciência e carinho, fizeram de cada dia único e inesquecível.

Aos amigos que aqui se firmaram, agradeço por cada momento vivido.

Ao meu professor orientador Dr. Gilberto Fernandes pela colaboração, paciência e conhecimentos repassados.

À UNICERP, que com sua estrutura física e docente, principalmente ao professor Ibrahim, que propiciou as experiências acadêmicas mais intensas e proveitosas.

A banca de professores que fizeram parte desse momento único na minha vida.

Adionei Glender, Vando Sousa, Willian Eustáquio, José Raimundo, Jean Carlos, Wagner e Geraldo Felipe pela atenção e colaboração no desenvolvimento da pesquisa.

Agradeço a todos os participantes desse projeto e aos demais docentes do Curso de Engenharia.

A todos que de alguma forma me ajudaram e estavam presentes comigo nessa caminhada para alcançar meu ideal.

Obrigado a todos!

“Aliás, na família começaria o melhor currículo, a melhor ferramenta para vida: enxergar, escutar e questionar. Nem calar a boca como antigamente, nem gritar ou bagunçar ou ofender: dialogar, comunicar-se com naturalidade com irmãos, pais e outros. Isso estimularia a melhor arma para enfrentar o tsunami de informações, das mais positivas às mais loucas, que enfrentamos todos os dias: discernimento. O resto, meus caros, pode vir depois: apesar de todas as teorias, nomenclaturas, modernidades e instrumentação, é ornamento, é detalhe. Pouco servirá para quem não aprendeu a analisar e argumentar, com mais chances de se orientar neste caótico e admirável mundo nosso.”

Lya Luft (1938).

RESUMO

Introdução: O setor de mineração é um dos mais importantes para economia e o desenvolvimento do Brasil, representando 3% a 5% do PIB do país. O Brasil é o sexto maior produtor de fosfato do mundo, sendo também o quarto maior consumidor deste mineral. Ainda assim projeta-se uma necessidade anual de cerca de 11 milhões de toneladas por ano para que o país atinja a sua autossuficiência. Estéril é o termo usado em geologia econômica para as substâncias minerais que não tem aproveitamento econômico. O método mais usado para a contenção de rejeitos são as barragens, que podem ser de solo natural ou ser construídos com os próprios rejeitos, sendo classificados, neste caso, como barragens de contenção. A geração de rejeitos aumentou 1,4 vezes nos últimos dez anos, passando de 202 milhões de toneladas em 1996 para 290 milhões de toneladas em 2005, com previsão de dobrar este volume até o ano de 2030. Diante do crescimento da exploração do mineral, surge a necessidade de práticas sustentáveis na gestão de resíduos gerados no processo. A utilização de matérias primas alternativas representa uma condição para o desenvolvimento sustentável, uma vez que é inevitável a geração de resíduos. **Objetivo:** Diante do exposto, esse estudo teve por objetivo analisar a possibilidade da utilização do estéril proveniente do processo de lavra do minério de fosfato, visando à obtenção de matéria prima alternativa para a confecção de camadas de base e sub-base na pavimentação dos acessos à mina e a destinação deste resíduo para utilização na pavimentação de vias vicinais e/ou urbana na região de Patrocínio – MG. **Metodologia:** As pesquisas se desenvolveram durante a construção do Trevo MG-230, acesso ao Complexo Mineral de Patrocínio. Foi utilizado estéril de minério da laterita amarela arenosa, a qual seria descartada, na confecção de camada de base da pavimentação do trecho. Na sua execução foi realizado uma campanha de ensaios de laboratório e de campo para obter uma ótima qualidade. A pesquisa esteve embasada nas Normas Técnicas NORMA DNIT 141/2010 - ES, que define a sistemática a ser empregada na execução da camada de base do pavimento utilizando solo estabilizado granulometricamente. O material coletado foi submetido aos ensaios de caracterização DNER-ME 080/94, DNER-ME 082/94 e DNER-ME 122/94, ensaio DNER-ME 054/97, para determinação de sua composição granulométrica, Compactação (Umidade Ótima), e ao ensaio DNER-ME 049/94, para determinação do Índice de Suporte Califórnia. **Resultados:** Em resenha dos resultados obtidos através dos ensaios realizados, todos os parâmetros observados estão de acordo com as normas vigentes. **Conclusão:** Diante dos resultados apresentados nos ensaios de campo pode-se observar a viabilidade técnica da utilização de estéril de fosfato na confecção de base e sub base de pavimentação viária.

Palavras-chave: Pavimentação, estéril, mineração de fosfato.

¹Discente do curso de Engenharia Civil pelo UNICERP.

² Professor Orientador. Doutor e docente do Curso de Engenharia Civil; UFOP/UNICERP.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral.....	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 DESENVOLVIMENTO	16
3.1 INTRODUÇÃO.....	18
3.2 METODOLOGIA	19
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	28
3.5 CONCLUSÕES.....	28
3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	29
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
5 CONCLUSÕES	32
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Amostra espalhada na área de secagem	20
Figura 2 - Peneiramento da amostra	21
Figura 3 - Compactação das camadas do material	21
Figura 4 - Curva De Compactação	23
Figura 5 - Curva de Compactação.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ensaio compactação Proctor Modificado.....	23
Tabela 2 - Análise Granulométrica.....	24
Tabela 3 - Granulometria Do Material.....	25
Tabela 4 - Ensaio densidade In Situ	26
Tabela 5 - Resultados Finais.	27

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBR	California Bearing Ratio
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
PIB	Produto Interno Bruto
MME	Ministério de Minas de Energia
NBR	Norma Brasileira
HRB	Bureau of Public Roads - Escritório de Estradas Públicas

1 INTRODUÇÃO

A mineração representa um dos mais importantes setores econômicos brasileiros, contribuindo para o desenvolvimento do país de forma decisiva, e desde que seja operada de maneira responsável, é capaz garantir o desenvolvimento sustentável do país (FERNANDES, 2007).

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM (2012) a mineração representa de 3% a 5% do PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil, tendo o país um subsolo rico em minérios de competitividade mundial. No entanto, somente 20% das reservas foram adequadamente mapeadas geologicamente.

Caracteriza-se como mineral todo corpo inorgânico de composição química e de propriedades físicas definidas, encontrado na crosta terrestre. Toda rocha, constituída por um mineral ou agregado de minerais, contendo um ou mais minerais com valor econômico recebe o nome de minério. Esses minerais valiosos, aproveitados como bens úteis, são chamados de minerais-minérios (DANA 1976).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia - MME (2018) o Brasil é o sexto maior produtor de Fosfato, com produção quase 6 milhões de toneladas de concentrado em 2010, cerca de 3,7% da produção mundial. O Brasil é também o quarto consumidor mundial do mineral, tendo sua destinação principal (68%) para a indústria de fertilizantes. As reservas de fosfato no Brasil estão concentradas, principalmente, nos Estados de Minas Gerais com 68%, seguido de Goiás com 14%, São Paulo com 6% e outros com 12%.

Projeta-se uma necessidade anual de cerca de 11 milhões de toneladas por ano para que o país atinja a sua autossuficiência, ou seja, um aumento de cerca de 5 milhões de toneladas (IBRAM, 2012), e que para a manutenção dessa autossuficiência no período de 2015 a 2030, seria necessário ainda, um novo aporte de entre 5, 7 e 10 milhões de toneladas anuais de concentrado de rocha fosfática (MME, 2018).

Diante do crescimento da exploração do mineral, surge a necessidade de práticas sustentáveis na gestão de resíduos de processo. Usualmente empreendimentos minerários são iniciados com operações de lavra para se obter o minério, o restante é considerado estéril ou rejeito e são dispostos em barragens e pilhas de rejeitos (SILVEIRA, 2015).

Quanto aos impactos ambientais da mineração, são consideráveis as alterações inerentes ao processo, seja na área minerada ou em áreas vizinhas, onde são feitos os depósitos de estéril e de rejeito (SILVA, 2007). O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2012) cita que as principais fontes de degradação nas atividades de mineração consistem na disposição inadequada de rejeitos decorrentes do processo de beneficiamento e a disposição de materiais do estéril, provenientes do decapeamento superficial da lavra.

Estéril é definido como minérios com pouco ou nenhum mineral útil. Refere-se, também, aos acompanhantes de minério, que não têm aplicação econômica. Solo ou rocha em que o minério está ausente ou presente em teores muito baixos para ser aproveitado economicamente. (FREIRE, 2001)

Segundo o IBRAM (2012) o método mais usado para a contenção de rejeitos são as barragens, que podem ser de solo natural ou ser construídos com os próprios rejeitos, sendo classificados, neste caso, como barragens de contenção alteadas com rejeitos e as de solo natural como barragens convencionais. Muitos rejeitos são transportados para a área de disposição com um alto teor de água (10% a 25% de sólidos).

De acordo com o IPEA (2012), em 10 anos, a geração de rejeitos aumentou 1,4 vezes, passando de 202 milhões de toneladas em 1996 para 290 milhões de toneladas em 2005, com previsão de dobrar este volume até o ano de 2030.

A reutilização consiste no reaproveitamento de um material já beneficiado para formação de novos produtos com características e propriedades físico-químicas diferentes do material original, uma vez que ocorre a degradação destas a cada processo (MANSOR et al, 2010).

A utilização de matérias primas alternativas representa uma condição para o desenvolvimento sustentável, uma vez que é inevitável a geração de resíduos. No âmbito econômico é vista pela iniciativa privada como um mercado altamente rentável, não é um assunto novo, e vem sendo intensificada em todo mundo, principalmente nos países desenvolvidos. Do ponto de vista ambiental é responsável pela preservação de recursos naturais, economia de energia, redução do custo no controle ambiental, aumento da durabilidade de materiais, além da geração de empregos e renda no aspecto

social. Esta questão é tão importante que em alguns países uma série de resíduos não podem ser gerados, se não obrigatoriamente recuperados.

Estudos mostram que já existem muitas alternativas tecnológicas, não só para o tratamento desses resíduos, como também para o seu aproveitamento industrial. Pesquisas vêm sendo realizadas na Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP juntamente com a iniciativa privada para a utilização de rejeito da extração do minério de ferro para a fabricação de insumos para a construção civil.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a possibilidade da utilização do estéril proveniente do processo de lavra do minério de fosfato, visando à obtenção de matéria prima alternativa para a confecção de camadas de base e sub-base na pavimentação dos acessos à mina e a destinação deste resíduo para utilização na pavimentação de vias vicinais e/ou urbana na região de Patrocínio – MG.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a composição granulométrica das amostras coletadas em campo.
- Realizar o Ensaio de Compactação - DNER-ME 129/94, na energia do Proctor modificado, indicada no projeto;
- Realizar o Ensaio de Índice de Suporte Califórnia - DNER-ME 049/94, com a energia do ensaio de compactação.
- Determinar o Índice de Suporte Califórnia e a expansão para o material coletado.
- Apresentar a localização das ocorrências.
- Comparar os resultados encontrados com os parâmetros de Norma DNIT para sub-base e base.

3 DESENVOLVIMENTO

ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE ESTÉRIL DE FOSFATO DO COMPLEXO MINERAL DE PATROCÍNIO-MG EM CAMADAS DE BASE E SUB-BASE.

JOSÉ GERALDO MARQUES DAS GRAÇAS¹

GILBERTO FERNANDES²

RESUMO

Introdução: A setor de mineração é um dos mais importantes para economia e o desenvolvimento do Brasil, representando 3% a 5% do PIB do país. O Brasil é o sexto maior produtor de fosfato do mundo, sendo também o quarto maior consumidor deste mineral. Ainda assim projeta-se uma necessidade anual de cerca de 11 milhões de toneladas por ano para que o país atinja a sua autossuficiência. Estéril é o termo usado em geologia econômica para as substâncias minerais que não tem aproveitamento econômico. O método mais usado para a contenção de rejeitos são as barragens, que podem ser de solo natural ou ser construídos com os próprios rejeitos, sendo classificados, neste caso, como barragens de contenção. A geração de rejeitos aumentou 1,4 vezes nos últimos dez anos, passando de 202 milhões de toneladas em 1996 para 290 milhões de toneladas em 2005, com previsão de dobrar este volume até o ano de 2030. Diante do crescimento da exploração do mineral, surge a necessidade de práticas sustentáveis na gestão de resíduos gerados no processo. A utilização de matérias primas alternativas representa uma condição para o desenvolvimento sustentável, uma vez que é inevitável a geração de resíduos. **Objetivo:** Diante do exposto, esse estudo teve por objetivo analisar a possibilidade da utilização do estéril proveniente do processo de lavra do minério de fosfato, visando à obtenção de matéria prima alternativa para a confecção de camadas de base e sub-base na pavimentação dos acessos à mina e a destinação deste resíduo para utilização na pavimentação de vias vicinais e/ou urbana na região de Patrocínio – MG. **Metodologia:** As pesquisas se desenvolveram durante a construção do Trevo MG-230, acesso ao Complexo Mineral de Patrocínio. Foi utilizado estéril de minério da laterita amarela arenosa, a qual seria descartada, na confecção de camada de base da pavimentação do trecho. Na sua execução foi realizado uma campanha de ensaios de laboratório e de campo para obter uma ótima qualidade. A pesquisa esteve embasada nas Normas Técnicas NORMA DNIT 141/2010 - ES, que define a sistemática a ser empregada na execução da camada de base do pavimento utilizando solo estabilizado granulometricamente. O material coletado foi submetido aos ensaios de caracterização DNER-ME 080/94, DNER-ME 082/94 e DNER-ME 122/94, e ao ensaio DNER-ME 054/97, para determinação de sua composição granulométrica, Compactação (Umidade Ótima) e ao ensaio DNER-ME 049/94, para determinação do Índice de Suporte Califórnia. **Resultados:** Em resenha dos resultados obtidos através dos ensaios realizados, todos os parâmetros

observados estão de acordo com as normas vigentes. **Conclusão:** Diante dos resultados apresentados nos ensaios de campo pode-se observar a viabilidade técnica da utilização de estéril de fosfato na confecção de base e sub base de pavimentação viária.

Palavras-chave: Pavimentação, estéril, mineração de fosfato.

¹Discente do curso de Engenharia Civil pelo UNICERP.

² Professor Orientador. Doutor e docente do Curso de Engenharia Civil; UFOP/UNICERP.

ABSTRACT

Introduction: The mining sector is one of the most important for Brazil's economy and development, representing 3% to 5% of the country's GDP. Brazil is the sixth largest phosphate producer in the world, being also the fourth largest consumer of this mineral. Nevertheless, an annual requirement of around 11 million tons per annum is projected for the country to achieve its self-sufficiency. Barren is defined as ores with little or no useful mineral. It also refers to the ore attendants, who have no economic application. The most commonly used method to contain tailings are dams, which can be natural soil or be built with the tailings themselves, and are classified as containment dams. Tailings generation has increased by 1.4 times in the last ten years, from 202 million tons in 1996 to 290 million tons in 2005, with a doubling of this volume by 2030. In the face of increased mineral exploration, there is a need for sustainable practices in waste management generated in the process. The use of alternative raw materials is a prerequisite for sustainable development, since waste generation is unavoidable. **Objective:** In view of the above, this study aimed to analyze the possibility of using the sterile from the phosphate ore mining process, aiming at obtaining alternative raw material for the preparation of base and sub-base layers in the paving of the accesses to the mine and the destination of this residue for use in the paving of vicinal and / or urban roads in the region of Patrocínio - MG. **Methodology:** The researches were developed during the construction of the Trevo MG-230, access to the Mineral Complex of Patrocínio. Sterile ore from the yellow sandy laterite was used, which would be discarded, in the preparation of the base layer of the paving of the stretch. In its execution a campaign of field and laboratory tests was carried out to obtain a great quality. The research was based on Technical Norm DNIT 141/2010 - ES, which defines the systematic to be used in the execution of the base layer of the pavement using soil stabilized granulometrically. The collected material was submitted to the characterization tests DNER-ME 080/94, DNER-ME 082/94 and DNER-ME 122/94, and to the DNER-ME 054/97 test, to determine its granulometric composition, Compaction (Humidity Great). **Results:** In a review of the results obtained through the tests performed, all the parameters observed are in accordance with the current norms. **Conclusion:** Due to the results presented in the field tests, it is possible to observe the technical feasibility of the use of sterile phosphate in the construction of base and sub-base of road paving.

Keywords: Paving, barren, mining phosphate.

3.1 INTRODUÇÃO

A mineração representa um dos mais importantes setores econômicos brasileiros, contribuindo para o desenvolvimento do país de forma decisiva, e desde que seja operada de maneira responsável, é capaz garantir o desenvolvimento sustentável do país (FERNANDES, 2007).

Segundo o IBRAM (2012) a mineração representa de 3% a 5% do PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil, tendo o país um subsolo rico em minérios de competitividade mundial. No entanto, somente 20% das reservas foram adequadamente mapeadas geologicamente.

Caracteriza-se como mineral todo corpo inorgânico de composição química e de propriedades físicas definidas, encontrado na crosta terrestre. Toda rocha, constituída por um mineral ou agregado de minerais, contendo um ou mais minerais com valor econômico recebe o nome de minério. Esses minerais valiosos, aproveitados como bens úteis, são chamados de minerais-minérios (DANA 1976).

De acordo com MME (2018) o Brasil é o sexto maior produtor de Fosfato, com produção quase 6 milhões de toneladas de concentrado em 2010, cerca de 3,7% da produção mundial. O Brasil é também o quarto consumidor mundial do mineral, tendo sua destinação principal (68%) para a indústria de fertilizantes. As reservas de fosfato no Brasil estão concentradas, principalmente, nos Estados de Minas Gerais com 68%, seguido de Goiás com 14%, São Paulo com 6% e outros com 12%.

Projeta-se uma necessidade anual de cerca de 11 milhões de toneladas por ano para que o país atinja a sua autossuficiência, ou seja, um aumento de cerca de 5 milhões de toneladas (IBRAM, 2012), e que para a manutenção dessa autossuficiência no período de 2015 a 2030, seria necessário ainda, um novo aporte de entre 5, 7 e 10 milhões de toneladas anuais de concentrado de rocha fosfática (MME, 2018).

Diante do crescimento da exploração do mineral, surge a necessidade de práticas sustentáveis na gestão de resíduos de processo. Usualmente empreendimentos minerários são iniciados com operações de lavra para se obter o minério, o restante é considerado rejeito e são dispostos em barragens e pilhas de rejeitos (SILVEIRA, 2015).

Estéril é definido como minérios com pouco ou nenhum mineral útil. Refere-se, também, aos acompanhantes de minério, que não têm aplicação econômica. Solo ou rocha em que o minério está ausente ou presente em teores muito baixos para ser aproveitado economicamente (FREIRE, 2001).

Segundo o IBRAM (2012) o método mais usado para a contenção de rejeitos são as barragens, que podem ser de solo natural ou ser construídos com os próprios rejeitos, sendo classificados, neste caso, como barragens de contenção alteadas com rejeitos e as de solo natural como barragens convencionais. Muitos rejeitos são transportados para a área de disposição com um alto teor de água (10% a 25% de sólidos).

De acordo com o IPEA (2012), em 10 anos, a geração de rejeitos aumentou 1,4 vezes, passando de 202 milhões de toneladas em 1996 para 290 milhões de toneladas em 2005, com previsão de dobrar este volume até o ano de 2030.

A reutilização consiste no reaproveitamento de um material já beneficiado para formação de novos produtos com características e propriedades físico-químicas diferentes do material original, uma vez que ocorre a degradação destas a cada processo (MANSOR et al, 2010).

Estudos mostram que já existem muitas alternativas tecnológicas, não só para o tratamento desses resíduos, como também para o seu aproveitamento industrial. Pesquisas vêm sendo realizadas na Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP juntamente com a iniciativa privada para a utilização de rejeito da extração do minério de ferro para a fabricação de insumos para a construção civil.

3.2 METODOLOGIA

Foi realizado um trabalho campo, onde as pesquisas se desenvolveram durante a construção do Trevo MG-230, acesso ao Complexo Mineral de Patrocínio. O mesmo está situado a 13 quilômetros da cidade de Patrocínio no estado de Minas Gerais. Foi utilizado estéril de minério da laterita amarela arenosa, a qual seria descartada, na confecção de camada de base da pavimentação do trecho. Na sua execução foi realizado uma campanha de ensaios de laboratório e de campo para obter uma ótima qualidade.

A pesquisa esteve embasada nas Normas Técnicas NORMA DNIT 141/2010 - ES, que define a sistemática a ser empregada na execução da camada de base do pavimento utilizando solo estabilizado granulometricamente. São também apresentados os requisitos concernentes a materiais, equipamentos, execução, inclusive plano de amostragem e de ensaios, condicionantes ambientais, controle de qualidade, condições de conformidade e não conformidade e os critérios de medição dos serviços.

Após a coleta do material, a amostra de solo foi levada para o laboratório onde foram submetidos aos ensaios de caracterização DNER-ME 080/94, DNER-ME 082/94 e DNER-ME 122/94, o ensaio DNER-ME 054/97, para determinação de sua composição granulométrica, Compactação (Umidade Ótima), e ao ensaio DNER-ME 049/94, para determinação do Índice Suporte Califórnia.

Conforme **Figura 1**, quando a amostra chegou do campo, a mesma foi espalhada em uma área reservada para realizar a secagem ao ar. No processo foi utilizando ferramentas para homogeneizá-la e fazer com que esta amostra perca sua umidade natural.

A **Figura 2** mostra o processo de separação dos grãos que foram passados pela peneira $\frac{3}{4}$ " e a peneira 4" classificando-os em grãos finos, médios e grossos. Em seguida, ocorreu a pesagem do material para a determinação da granulometria da amostra.



Figura 1 - Amostra espalhada na área de secagem

Fonte: Acervo do autor.



Figura 2 - Peneiramento da amostra
Fonte: Acervo do autor.

Para a determinação do ensaio de compactação, a norma define que para ensaios de base deve ser utilizado o método chamado Proctor modificado.

Para a determinação do ensaio de compactação, foi utilizada uma amostra de aproximadamente 7 kg de material coletado em campo. Para este ensaio foi utilizado o chamado Proctor modificado, que nos indica a energia de compactação a ser utilizada. Por este método, foram aplicados 55 golpes constantes representando a energia de compactação por camada, conforme a **Figura 3**.



Figura 3 - Compactação das camadas do material
Fonte: Acervo do autor.

A partir deste ensaio, foi possível determinar a umidade, a massa específica aparente do solo seco compactado e a massa específica aparente do solo seco após cada compactação.

Neste processo foram feitas mais 4 (quatro) repetições totalizando 5 ensaios. A cada ensaio realizado, foi acrescentada uma quantidade. Foi mantida a energia de compactação nos ensaios e com isso, conseguimos encontrar a densidade seca máxima e a umidade ótima deste material, traçando assim a curva de compactação.

O Índice Suporte Califórnia corresponde às leituras realizadas no laboratório, referente a cada amostra rompida no processo. A curva pressão-penetração foi feita para as três amostras, tendendo ao ramo seco, a amostra com a umidade ótima, e a amostra tendendo ao ramo húmido (saturado). O valor do Índice de Suporte Califórnia foi calculado através dos resultados encontrados na leitura do rompimento das amostras.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ainda segundo Senço (1929), Ralph R. Proctor, em 1933, na Califórnia observou que a densidade atingida na operação de compactação dependia da umidade do solo, quando da compactação. Essa observação serviu de base para a construção de toda uma técnica de compactação e a prévia determinação de qual a umidade mais conveniente para se obter um máximo de compactação para uma determinada energia.

Proctor observou, em seus experimentos, que quando se aplicava certo número de golpes em um solo contido em um cilindro, ou um determinado número de passadas de um compactador em campo, à medida que a umidade do solo aumentava o peso específico seco do mesmo também aumentava, porém, a partir de uma determinada umidade, este incremento de umidade não mais provocava ganhos de peso específico seco, e sim decréscimo deste. Desta forma, Proctor observou que para cada tipo de solo, e de acordo com a energia de compactação utilizada, existia uma umidade a qual promovia um peso específico seco máximo, esta umidade é chamada de umidade ótima (Tabela 1). (SILVA JÚNIOR, 2012).

OBRA :	TRECHO:	ESTUDO:	DATA:		
CMP	TREVO PISTA DIREITA 2ª FASE	BASE	06/10/17		
ESTACA:	MATERIAL:	FURO:	PROFUNDIDADE: OPERADOR: REGISTRO:		
08+00 A 14+00	LATERITA AMARELA ARENOSA	10+00 LD	EQUIPE 1368		
%RETIDO # 4(PREPARAÇÃO):	PROCTOR:	ENERGIA:	ENSAIO: SOLO ÚMIDO SOLO SECO:		
44,9	MODIFICADO	55	COMPLETO 7.000,0 6.931,6		
Cilindro nº	165	188	195	197	165
% Água Adicionada	6,0 %	7,0 %	8,0 %	9,0 %	10,0 %
Peso do Cilindro+Solo Úmido(g)	8686	8617	9050	8837	8852
Peso do Cilindro(g)	4.160	3.920	4.275	4.105	4.160
Peso do Solo Úmido(g)	4.526	4.697	4.775	4.732	4.692
Volume do Cilindro(cm³)	2.074	2.085	2.069	2.067	2.074
Densidade Aparente Úmida(Kg/dm³)	2.182	2.253	2.308	2.290	2.262
Densidade Aparente Convertida(Kg/dm³)	2.059	2.105	2.137	2.100	2.057
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE					
Cápsula nº				89	
Peso da Cápsula+Solo Úmido(g)				77,10	
Peso da Cápsula+Solo Seco(g)				76,48	
Peso da Água(g)				0,62	
Peso da Cápsula(g)				13,67	
Peso do Solo Seco(g)				62,81	
Teor de Umidade(%)				0,99	
Média				1,0	
Umidade Adotada(%)	7,05	8,06	9,07	10,08	11,09
Densidade Aparente Seca (Kg/dm³)	2.039	2.085	2.116	2.080	2.036

Tabela 1 - Ensaio compactação Proctor Modificado

Fonte: Resultados da pesquisa.

Conforme **Figura 4**, pode-se observar a densidade seca máxima e o teor de umidade ótima.

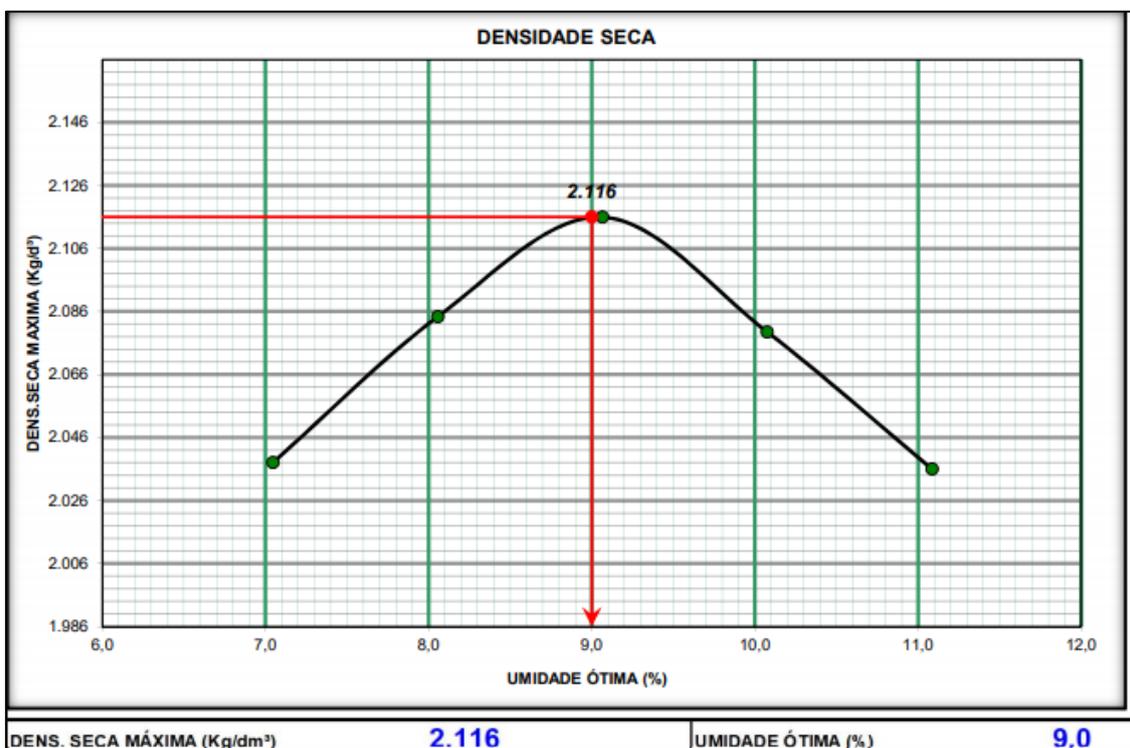


Figura 4 - Curva De Compactação

Fonte: Resultados da pesquisa.

A **Tabela 2** apresenta a análise granulométrica do material de acordo com a DNER 080/94.

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DNER-ME 080/94					
UMIDADE HIGROSCÓPICA		ANÁLISE GRANULOMÉTRICA			
Cápsula n°	89	Peneiras	Peso Retido	Peso Passando(g)	% Passando
Peso da Cápsula+Solo Úmido(g)	77,1				
Peso da Cápsula+Solo Seco(g)	76,48	2" (50,80mm)	0,00	1990,47	100,00
Peso da Água(g)	0,62	1" (25,40mm)	112,38	1878,09	94,35
Peso da Cápsula(g)	13,67	3/8" (9,52mm)	358,76	1519,33	76,33
Peso do Solo Seco(g)	62,81	n° 4 (4,76mm)	298,85	1220,48	61,32
Teor de Umidade(%)	1,0	n° 10 (2,00mm)	267,10	953,38	47,90
Amostra total úmida(g)	2000,00	n° 40 (0,42mm)	60,60	137,42	33,24
Amostra total seca(g)	1990,47	n° 200 (0,074mm)	47,34	90,08	21,79
Amostra total úmida(g) (fina)	200,00				
Amostra total seca(g)	198,02				

LIMITE DE LIQUIDEZ(%):	NL
LIMITE DE PLASTICIDADE(%):	NP
ÍNDICE DE PLASTICIDADE(%):	NP
%PASSANDO # 4,8mm:	61,3
%PASSANDO # 2,0mm:	47,9
%PASSANDO # 0,42mm:	33,2
%PASSANDO # 0,074mm:	21,8
CLASSIFICAÇÃO HRB:	A1b
ÍNDICE DE GRUPO:	0
CLASSIFICAÇÃO "SUCS":	
UMIDADE HORTIMA (%):	9,0
DENSIDADE MÁXIMA(Kg/dm³):	2,116
CLASS. "SUCS":	

Tabela 2 - Análise Granulométrica
Fonte: Resultados da pesquisa.

De acordo com NORMA DNIT 141/2010 – ES, os materiais submetidos a esse ensaio devem possuir composição granulométrica satisfazendo a uma das faixas da **Tabela 3**, e ainda, a porcentagem do material que passa na peneira n° 200 não deve ultrapassar 2/3 da porcentagem que passa na peneira n° 40.

A **Tabela 2**, o ensaio de Limite de liquidez e o ensaio de Limite de plasticidade não foi realizado devido a não plasticidade do material, sendo que no ensaio é necessário confeccionar um “cone” com o material.

Ainda de acordo com **Tabela 2**, foi classificado o material de acordo com a Classificação HRB, que deu no grupo A1b e o mesmo foi classificado em

cima da Classificação “SUCS”, que por sua vez, o material foi classificado como SW, mostrando que o material e uma areia bem graduada.

Tipos	Para N > 5 X 10 ⁶				Para N < 5 X 10 ⁶		Tolerâncias da faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	± 7
1"	-	75-90	100	100	100	100	± 7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	± 7
N° 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	± 5
N° 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	± 5
N° 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	± 2
N° 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	± 2

Tabela 3 - Granulometria Do Material
Fonte: DNIT 141/2010.

A **Tabela 3** demonstra os índices de tolerâncias de faixa de projeto para utilização do material em base de acordo com a Norma DNIT 141/2010. Foi escolhido esta norma devido ao grande fluxo de veículos nas vias do complexo, com isso foi previsto a utilização do material dentro do tipo N>5x10⁶.

O ensaio de frasco de areia (**Tabela 4**) é preconizado pela Norma ABNT 7.185/86 (Solo - Massa Específica pelo Frasco de Areia). Um frasco padronizado é preenchido por areia com densidade conhecida. No campo, faz-se um furo na superfície da camada de análise, retira-se o solo que previamente preenchia o furo e determina-se a massa deste solo por meio de pesagem. O furo é então preenchido pela areia do frasco.

A determinação da massa específica aparente seca do solo, a partir do ensaio de frasco de areia, possibilita controlar, no campo, a execução do processo de compactação das camadas de solo e avaliar os parâmetros de compactação previamente especificados para atender às necessidades de uma obra.

OBRA:	CMP	TREVO PISTA DIREITA 2ª FASE				FASE DO SERVIÇO: CAMADA DE REVESTIMENTO		OPERADOR: EQUIPE	
Nº F.V.L.S.:	1166	1443	1444	1445	1446	1447	1448	1449	
Registro do Ensaio:	1751	1843	1844	1845	1846	1847	1848	1849	
RG Compactação:	1368	1428	1429	1432	1431	1430	1433	1434	
Camada:	BASE	1ª CAMADA DE REVESTIMENTO	1ª CAMADA DE REVESTIMENTO	2ª CAMADA DE REVESTIMENTO	2ª CAMADA DE REVESTIMENTO	2ª CAMADA DE REVESTIMENTO	3ª CAMADA DE REVESTIMENTO	3ª CAMADA DE REVESTIMENTO	
Sub-Trecho (Estacas):	08+00 A 14+00	1ª ETAPA	1ª ETAPA	1ª ETAPA	1ª ETAPA	1ª ETAPA	1ª ETAPA	1ª ETAPA	
Estaca (Ensaio):	10+00	FAIXA - 2	FAIXA - 3	FAIXA - 3	FAIXA - 2	FAIXA - 1	FAIXA - 1	FAIXA - 2	
Posição:	LD	EX	EX	EX	LE	LD	LD	LE	
Cota:						0	0	0	
Peso do Frasco Antes (Kg):	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	7.000	
Peso do Frasco Depois (Kg):	3.591	3.509	3.678	3.523	3.388	3.483	3.584	3.762	
Areia Deslocada (Kg):	3.409	3.491	3.322	3.477	3.612	3.517	3.416	3.238	
Areia no Cone (Kg):	727	701	701	701	701	701	701	701	
Areia no Furo (Kg):	2.682	2.790	2.621	2.776	2.911	2.816	2.715	2.537	
Densidade da Areia (Kg/dm³):	1.263	1.263	1.263	1.263	1.263	1.263	1.263	1.263	
Volume do Furo:	2.124	2.209	2.075	2.198	2.305	2.230	2.150	2.009	
Umidade HOT (%):	9,0	14,2	13,8	14,3	14,0	14,4	14,2	14,5	
Nº da Cápsula:									
Cápsula+Solo+Água (gr.):									
Cápsula+Solo (gr.):									
Peso da Água (gr.):									
Peso da Cápsula (gr.):									
Solo seco (gr.):									
Umidade (%):	9,2	14,7	14,7	14,7	13,4	14,7	14,7	14,7	
PESO MATERIAL DO FURO - TOTAL (Kg):	4.991	5.337	5.024	5.321	5.560	5.327	5.283	4.850	
PESO MATERIAL RETIDO #4 (Kg):									
PESO MATERIAL PASS. #4 (Kg):									
MATERIAL RETIDO #4 (%):									
DENSIDADE ÚMDA (Kg/dm³):	2.350	2.416	2.421	2.421	2.412	2.389	2.458	2.414	
DENSIDADE APARENTE DO SOLO SECO (Kg/m³):	2.152	2.106	2.111	2.111	2.127	2.083	2.143	2.105	
DENSIDADE APARENTE MÁXIMA (Kg/dm³):	2.116	2.082	2.103	2.090	2.125	2.075	2.090	2.080	
GRAU DE COMPACTAÇÃO (%):	101,7	101,2	100,4	101,0	100,1	100,4	102,5	101,2	
DESVIO DE UMIDADE (%):	0,2	0,5	0,9	0,4	-0,6	0,3	0,5	0,2	
PROFUNDIDADE DO FURO (cm):	17,00	0,20	0,18	0,18	0,18	0,18	0,20	0,18	
DATA:	07/10/2017	12/01/2018	15/01/2018	16/01/2018	16/01/2018	16/01/2018	17/01/2018	17/01/2018	

Tabela 4 - Ensaio densidade In Situ

Fonte: Resultados da pesquisa.

O ensaio CBR (**Figura 5**) consiste na determinação da relação entre a pressão necessária para produzir uma penetração de um pistão num corpo de prova de solo, e a pressão necessária para produzir a mesma penetração numa mistura padrão de brita estabilizada granulometricamente. Essa relação é expressa em porcentagem. O ensaio pode ser realizado de duas formas: Moldando-se um corpo de prova com teor de umidade próximo ao ótimo (determinado previamente em ensaio de compactação); Moldando-se corpos de prova para o ensaio de compactação (em teores de umidade crescentes), com posterior ensaio de penetração desses mesmos corpos de prova, obtendo-se simultaneamente os parâmetros de compactação e os valores de CBR. O ensaio do Índice de Suporte Califórnia foi padronizado no Brasil pela ABNT: NBR 9895/87.

A DNIT 141/2010, determina que o material tenha CBR maior ou igual a 60% e um índice de expansão inferior a 0,5%.

A **Figura 5** apresentam os resultados gerados nos ensaios do Índice de Suporte Califórnia utilizando uma energia de compactação de 55 golpes.

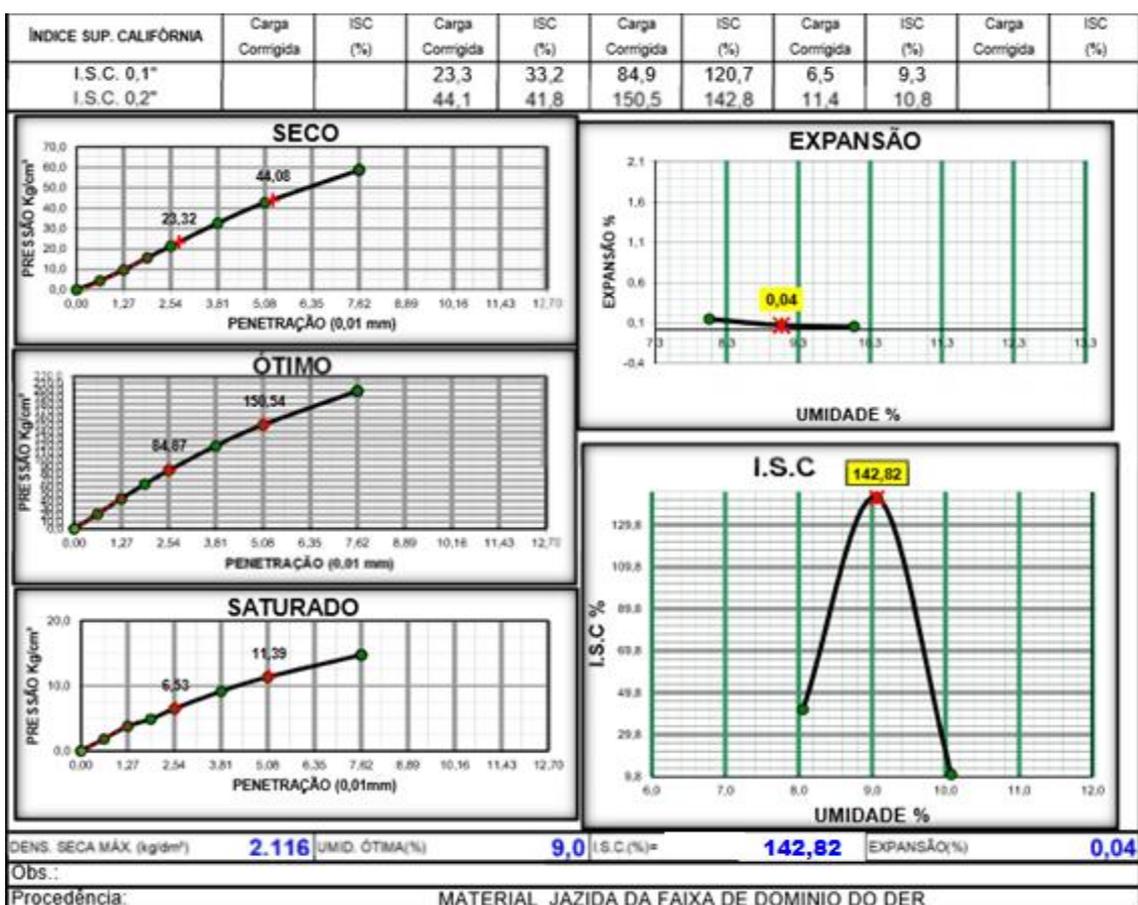


Figura 5 - Curva de Compactação
Fonte: Resultados da pesquisa.

ENSAIO	NORMA	RESULTADO OBTIDO
COMPACTAÇÃO PROCTOR MODIFICADO	NBR 7182/16	DENSIDADE APARENTE: (2,116 KG/DM³) UMIDADE ÓTIMA: (9,0 %)
DENSIDADE IN SITU – FRASCO DE AREIA	DNER – ME 092/94	GRAU DE COMPACTAÇÃO: (101,2 %)
ÍNDICE DE SUPORTE CALIFÓRNIA (CBR)	NBR 9895/87	ISC: 142,82 % EXPANSÃO: 0,04 %

Tabela 5 - Resultados Finais.
Fonte: Resultados da pesquisa.

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme discutido durante o trabalho, a mineração no Brasil é fundamental no desenvolvimento da economia nacional, sendo um dos principais setores responsáveis pelas exportações brasileiras.

Ainda assim, a discussão pela exploração responsável dos recursos naturais e como lidar com os resíduos gerados no processo ainda carecem de avanços. Poucos são as alternativas viáveis na reutilização de rejeitos de minérios, aumentando a expectativa por novas soluções que minimizem os impactos gerados pela disposição descontrolada no meio ambiente.

A viabilidade na utilização de rejeitos na construção de base e sub base na pavimentação surge como um atrativo, pois além de solucionar a questão ambiental inerente ao processo de disposição final dos resíduos, ainda contribui no impacto econômico na construção de pavimentos rodoviários.

3.5 CONCLUSÕES

De acordo a Norma DNIT 141/2010 – ES, os materiais apresentam as seguintes características:

- A composição granulométrica adequada aos parâmetros estabelecidos, todos atendendo as faixas de acordo com a Tabela 1 da referida Norma.
- O índice de Suporte Califórnia (CBR) foi de 142,82%, e Expansão de 0,04%, índices que atendem satisfatoriamente a Norma, sendo que a norma cita que os valores mínimos de CBR $\geq 60\%$ e expansão $\leq 0,5\%$ para base e CBR $\geq 30\%$ e expansão $\leq 1\%$ para sub-base.
- O índice de grupo 0 com classificação HRB como A1b.
- A classificação “SUCS” é SW, mostrando que o material é uma areia bem graduada.

Portanto conclui-se que há viabilidade técnica para a utilização do estéril de fosfato em camadas de base e sub base em pavimentação viária.

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7.185 (1986c). **Determinação da massa específica aparente, “in situ”, com emprego de frasco de areia.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 7p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7.180 (1981). **Limite de plasticidade.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 3p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6.457 (1986a). **Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 9p.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2013). **Relatório dos Levantamentos Funcionais das Rodovias Federais.** Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/planejamento-rodoviário>. Acesso em: 15 de mar. de 2014.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2005). **Manual de Conservação Rodoviária.** Publicação IPR – 710, DNER, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 564 p.

DANA, J.D. **Manual de Mineralogia**, vol.2, 1 ed. Brasil, Livros Técnicos e Científicos. 1976.

FERNANDES, F.R.C.; MATOS, G.M.M.; CASTILHOS, Z.C. e LUZ, A.B. (editores). **Tendências Tecnológicas Brasil 2015 – Geociências e Tecnologia Mineral.** CETEM/CPRM, 16 capítulos, 2007, 380 p.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira.** 7ª Edição. Disponível em <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002791.pdf> acesso em 08/11/18.

SILVEIRA, M.D. **Utilização de Resíduos de Mineração Na Construção Civil.** Escola de Engenharia, UFMG, 2015.

Ministério de Minas de Energia. Secretária de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Outras Rochas e Minerais Industriais.** Relatório Técnico, 2018. Disponível em [http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P28_RT39_Perfil do Ca ulim.pdf/c122682a-3c84-40e8-b7f4-e18894f3d42c](http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P28_RT39_Perfil_do_Ca ulim.pdf/c122682a-3c84-40e8-b7f4-e18894f3d42c) acesso em 08/11/18.

SILVA JÚNIOR, F. A. **Ensaio de Compactação do solo.** Notas de Aula. Departamento de Construção Civil – UFPR, 2012. Disponível em

http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/c/ce/Aula_6_Resistencia.pdf acesso em 08/11/18.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente, é crescente a demanda por recursos minerais para a pavimentação de rodovias. A reutilização de rejeitos provenientes da mineração pode ajudar a atenuar os impactos ambientais gerados pelo setor minerador ou até mesmo contribuir para a redução de custos da construção de vias pavimentadas.

A partir de estudos e metodologias adequadas, o aproveitamento de rejeitos da mineração contribui de maneira significativa na redução de impactos ambientais gerados por esta atividade, promovendo a geração de novos empregos e renda, reduzindo custos e melhoria da imagem das mineradoras junto aos órgãos governamentais e à sociedade, contribuindo, desta forma, para o desenvolvimento sustentável.

Através da realização deste trabalho pode-se observar a relevância da destinação e reaproveitamento dos resíduos de minério de ferro, visto o expressivo volume de geração, escassez dos recursos na natureza, enorme demanda por espaços e degradação ambiental.

Ressalta-se também a necessidade de identificar futuras ações complementares sobre o gerenciamento e o aproveitamento dos rejeitos minerais, de forma a avaliar diversas possibilidades de reutilização do material, sistematizar e simplificar os processos, contribuir com a gestão de resíduos pelo poder público e principalmente elucidar e incentivar a utilização de materiais reciclados dentro da construção civil.

5 CONCLUSÕES

Quanto à possibilidade da utilização do estéril proveniente do processo de lavra do minério de fosfato, visando à obtenção de matéria prima alternativa para a confecção de camadas de base e sub-base na pavimentação e de acordo a Norma DNIT 141/2010 – ES, os materiais apresentam as seguintes características:

- A composição granulométrica adequada aos parâmetros estabelecidos, todos atendendo as faixas de acordo com a Tabela 1 da referida Norma.
- O índice de Suporte Califórnia (CBR) foi de 142,82%, e Expansão de 0,04%, índices que atendem satisfatoriamente a Norma, sendo que a norma cita os valores mínimos de CBR $\geq 60\%$ e expansão $\leq 0,5\%$ para base e CBR $\geq 30\%$ e expansão $\leq 1\%$ para sub-base.
- O índice de grupo 0 com classificação HRB como A1b.

Portanto conclui-se que há viabilidade técnica para a utilização do estéril de fosfato em camadas de base e sub base em pavimentação viária.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7.185 (1986c). **Determinação da massa específica aparente, “in situ”, com emprego de frasco de areia.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 7p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7.180 (1981). **Limite de plasticidade.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 3p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6.457 (1986a). **Amostras de Solo – Preparação para Ensaio de Compactação e Ensaio de Caracterização.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 9p.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2013). **Relatório dos Levantamentos Funcionais das Rodovias Federais.** Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/planejamento-rodoviário>. Acesso em: 15 de mar. de 2014.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2005). **Manual de Conservação Rodoviária.** Publicação IPR – 710, DNER, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 564 p.

DANA, J.D. **Manual de Mineralogia**, vol.2, 1 ed. Brasil, Livros Técnicos e Científicos. 1976.

FERNANDES, F.R.C.; MATOS, G.M.M.; CASTILHOS, Z.C. e LUZ, A.B. (editores). **Tendências Tecnológicas Brasil 2015 – Geociências e Tecnologia Mineral.** CETEM/CPRM, 16 capítulos, 2007, 380 p.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira.** 7ª Edição. Disponível em <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002791.pdf> acesso em 08/11/18.

SILVEIRA, M.D. **Utilização de Resíduos de Mineração Na Construção Civil.** Escola de Engenharia, UFMG, 2015.

Ministério de Minas de Energia. Secretária de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Outras Rochas e Minerais Industriais.** Relatório Técnico, 2018.

Disponível em

[http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P28_RT39_Perfil do Ca acesso em 08/11/18.](http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P28_RT39_Perfil_do_Ca<ulim.pdf/c122682a-3c84-40e8-b7f4-e18894f3d42c)

SILVA JÚNIOR, F. A. **Ensaio de Compactação do solo**. Notas de Aula. Departamento de Construção Civil – UFPR, 2012.

Disponível em:

http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/c/ce/Aula_6_Resistencia.pdf acesso em 08/11/18.