



ESTUDO DE GRANULOMETRIA EM RESÍDUOS DE ESCÓRIA, PARA FINS DE UTILIZAÇÃO NA PAVIMENTAÇÃO

Hélder Silva Heringer

**MANHUAÇU / MG
2019**



HÉLDER SILVA HERINGER

ESTUDO DE GRANULOMETRIA EM RESÍDUOS DE ESCÓRIA AÇO, PARA FINS DE UTILIZAÇÃO NA PAVIMENTAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado à banca de avaliação da Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu como requisito parcial a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do Prof. MSc. José Francisco Anunciação Pinto.

MANHUAÇU / MG

2019



HÉLDER SILVA HERINGER

ESTUDO DE GRANULOMETRIA EM RESÍDUOS DE ESCÓRIA AÇO, PARA FINS DE UTILIZAÇÃO NA PAVIMENTAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Curso de Superior de Engenharia Civil do Centro Universitário UNIFACIG, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Estradas

Orientador: Prof. MSc. José Francisco Anunciação Pinto.

Banca Examinadora

Data de Aprovação: 12 de DEZEMBRO de 2019

Prof. MSc. José Francisco Anunciação Pinto; UNIFACIG

Prof. MSc. Leandro José Lima; UNIFACIG

Prof. Esp. Juslei Veira de Souza; UNIFACIG

MANHUAÇU / MG

2019



Aos meus pais, sabendo que essa dedicatória não esgotará, nem de longe, o número de homenagens que eles merecem, e, por isso, dedico este trabalho de conclusão de curso às pessoas que me ajudaram a forjar o meu caráter.

AGRADECIMENTOS

A Deus, digno de toda glória, honra e louvor, por mais um dia de vida e pela capacitação que Ele me proporciona todos os dias.

Aos meus pais, por não medirem esforços para que eu tivesse a melhor educação e pelo apoio integral durante a minha dupla jornada de estudo e trabalho.

À minha família, pelo suporte que me foi dispensado até agora.

Ao professor José Francisco, pela orientação que me foi dada durante a elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos, por estarem do meu lado nos bons e nos maus momentos.

Aos meus queridos colegas, Ana Luíza, Jhonata, Karla e Maxwell, pelo incentivo e amizade incondicional, além de me aturarem durante toda a graduação.

Por fim, a todos aqueles que, seja com palavras ou ações, me incentivaram e intercederam por mim, porque isso me impulsionou a lutar para conquistar todos os meus objetivos.

Com estes, divido o mérito da minha conquista.

“Se forem destruídos os fundamentos, que
poderá fazer o justo?”

Salmos 11.3 – ACF

RESUMO

A utilização de recursos naturais empregados na indústria da construção civil, como por exemplo na fabricação de concretos estruturais por norma devem ser de origem natural, o que vem acarretando diversos impactos ambientais, como o desmonte de rochas para serem britadas. Utilizando grandes quantidades de combustíveis para os caminhões dentro das minas e também um exagerado volume de energia elétrica. Partindo deste ponto o estudo de novos materiais a serem empregados na indústria da construção civil. Uma opção a solucionar este problema é empregar outros tipos de materiais quando possível ou matérias que cumpram a mesma função estrutural do componente a ser desenvolvido, sem modificação na sua estrutura de projeto. Um material que chama a atenção são as escorias oriundas da produção de minérios, já que cada tipo de minério gera um tipo diferente de resíduo “subproduto”. No caso do presente estudo se focou na escoria de aciaria, que é um subproduto da produção do aço. E esse material este material é um material inerte atentando as características necessária, para ser utilizado como agregado na construção de rodovias nas camadas como na camada de rolamento, e ele apresenta uma boa característica física por possuir granulometria semelhante, com a granulometria da brita de origem natural, obtida através de um processo de britagem. Da outra forma esse subproduto pode ser utilizado como agregado na produção de concretos de pavimentos rígidos. Nesse contexto, este trabalho traz um estudo granulométrico da escoria de aciaria com o intuito de utiliza-la na produção de concretos rígidos. Segundo o estudo realizado pode-se observar que o material analisado apresentou resultados satisfatórios para sua utilização como agregado graúdo na produção de concretos, tanto na composição de brita nº 1 e brita nº0.

Palavras-chave: Materiais de Construção; Escoria de Aciaria; Análise Granulométrica; Pavimentação Rígida.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 DESENVOLVIMENTO	9
2.1 REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1.1 Contexto Histórico da Pavimentação no Brasil	9
2.1.2 Pavimentos	11
2.1.2.1 Tipos de Pavimentação	12
2.1.2.2 Pavimentos Flexíveis	13
2.1.2.3 Pavimentos Rígidos	13
2.1.3 Agregados para Pavimentação	14
2.1.3.1 Tipos de Agregados	14
2.1.3.2 Granulometria	15
2.1.4 Escória de Aço	15
2.1.4.1 Obtenção	16
2.1.4.2. Resíduos e sua utilização	17
2.2 METODOLOGIA	18
2.2.1 Amostragem	18
2.2.2 Análise Granulométrica de Agregados.....	18
2.2.3 Descrição do Ensaio	18
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
2.3.1 Análise de Granulométrica dos Resíduos	19
2.3.2 Análise Comparativa da Granulometria dos Agregados	
Convencionais com os do Resíduo de Escória	20
3 CONCLUSÃO	22
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

1 INTRODUÇÃO

Ao longo da história, pode-se analisar que houve diversos incentivos à criação e ao desenvolvimento da fabricação em larga escala de eletrointensivos, metais não-ferrosos e ferroligas. Sendo assim, a capacidade de produção teve uma alteração de 500 mil t/ano para 1.130 mil t/ano, no início da década de 90. Neste período, após considerável expansão do setor, o Brasil abrangia o quarto lugar em produção e o terceiro em exportação, entre os países produtores de ferroligas do mundo ocidental, sendo responsável por cerca de 7% das trocas internacionais do setor (FEAM, 2010).

As propriedades físicas e químicas da escória, e do agregado dela resultante, dependem do processo de elaboração das ligas, do grau metalúrgico produzido, e do processamento da própria escória após vazamento (TORRES, 2018). Podendo assim ter diversos tipos de resíduos gerados, pela a indústria metalúrgica, dependendo do tratamento empregado após o processo siderúrgico e quanto ao processo e ao forno onde é fabricado a liga. Do ponto de vista tecnológico, os aspectos envolvidos na sua aplicação e que precisam de especial atenção são a granulação para as escórias de alto-forno e o controle da expansão para as escórias de aciaria, além da granulometria (TORRES, 2018).

Considerando os vários setores produtivos o setor da construção civil, é um grande consumidor dos recursos naturais, principalmente o setor da pavimentação, por vencer longas distancias como rodovias interestaduais, e uma extensa malha viária nas grandes cidades. Geralmente são empregados os materiais rochosos, que são processados em indústrias, transformando-os em brita, originada do desmonte de rocha viva até a granulometria estimada.

As reservas minerais de areia e brita, de modo geral, são abundantes no Brasil. Existem regiões, no entanto, onde as reservas estão distantes do centro consumidor, tendo-se que realizar o transporte do material. Muitas vezes as restrições ambientais e leis de zoneamento municipal impossibilitam a exploração de excelentes reservas, restringindo o uso do bem mineral (LUZ; ALMEIDA, 2012).

Segundo (TORRES, 2018), o baixo custo de obtenção do agregado siderúrgico viabiliza sua utilização, principalmente próximo às usinas produtoras, além de ser uma alternativa correta ambientalmente para a disposição do material do gerador. Até o momento, a maioria das aplicações no Brasil foram em camadas de base e sub-base e em menor grau em misturas asfálticas a quente.

Este trabalho tem como objetivo a elaboração de um estudo de análise granulométrica de agregados de escória na utilização na composição de concretos rígidos para pavimentação.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1.1 Contexto Histórico da Pavimentação no Brasil

Construir vias de transporte é uma preocupação e atividades de remotas civilizações, geradas por razões de ordem econômica, de integração regional e de cunho militar; pavimentar vias, ainda na antiguidade tornou-se, atividade essencial (BALBO, 2007). Com as vias preservadas, as civilizações da antiguidade, tinha um ganho no transporte de suas mercadorias, poderiam exercer soberania sobre outras regiões e uma questão de estratégia militar também, pois por vias bem conservadas as tropas poderiam se movimentar de forma mais rápida.

Segundo José Tadeu Balbo (2007), o estabelecimento das primeiras técnicas de pavimentação, considerando os seus objetivos, extensões e impactos sociais, deve ser atribuída a forma de vida urbana dos povos etruscos e cartagineses, de cujas experiências tirou proveito a civilização romana. Perante a necessidade de novas vias também surgiu o estudo de materiais a serem empregado neste seguimento, buscando melhorias de técnicas empregadas.

No Brasil, pouco foi o desenvolvimento na área dos transportes durante o período do Império (entre os anos de 1822 e 1889), principalmente no que trata do transporte rodoviário. De acordo com PREGO (2007 *apud* BERNUCCI *et al.*, 2008), no início do século XX, o país possuía 500 km de estradas, usadas exclusivamente para tráfego de veículos de tração animal, com revestimento de macadame hidráulico ou suas variações.

Desde o século XVI, o tráfego destes veículos utilizava os caminhos que ligavam cidades e vilas brasileiras, mas esse fato começa a mudar quando, em 1861, foi inaugurada a primeira estrada de rodagem do Brasil: a estrada União Indústria, escrevendo o início da história do rodoviarismo nacional (DNIT, 2019).

Em 1896, chega ao Brasil o primeiro veículo de carga, vindo da Europa. No início do século XX diversas foram os marcos, sendo que, em 1903, os primeiros carros particulares foram licenciados, culminando com a criação do Ministério da Viação e Obras Públicas, em 1906. No ano de 1916, o país realizou o I Congresso Nacional de Estradas de Rodagem, na cidade do Rio de Janeiro, promovido pelo Automóvel Clube do Brasil (BERNUCCI *et al.*, 2008).

A aprovação da primeira lei de concessão de auxílio federal para a construção de estradas ocorreu em 1905, culminando na Lei 1.453, sancionada no dia 30 de dezembro, que fixava despesas gerais da União para o ano seguinte. Dentre essas despesas, estavam a designação de verbas para a construção e ampliação de estradas de ferro e a possibilidade de abertura de crédito para a construção e ampliação de estradas de rodagem (BRASIL, 2019).

No entanto, apenas em 1920, um órgão público passou a ser responsável pela implementação das rodovias, qual seja a Inspetoria Federal de Obras contra as Secas. Não possuía finalidade rodoviária especificamente e atuava apenas na região Nordeste. Posteriormente, no estado de São Paulo, foi criada a Diretoria de Estradas de Rodagem, no ano de 1926. Em 1934, este órgão se tornou o primeiro órgão rodoviário brasileiro que apresentava autonomia técnica e administrativa, sendo denominado de Departamento de Estradas de Rodagem (DNIT, 2019).

O governo federal fundou a Comissão de Estradas de Rodagem Federais, em 1927, órgão que precedeu o Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER), criado na década seguinte. A Comissão apresentava uma espécie

diferenciada de financiamento, arrecadada a partir de sobretaxação de impostos sobre gasolina, veículos e acessórios, e utilizou o valor para a realização de obras significativas para a época, tais como a rodovia Rio-Petrópolis e o trecho fluminense da rodovia que ligava as capitais Rio de Janeiro e São Paulo (DNIT, 2019).

Em maio de 1928, um acontecimento marcou a nova política rodoviária federal: o então presidente, Washington Luiz, inaugurou a Rodovia Rio-São Paulo, que contava com 506 km de extensão. No mesmo ano, em agosto, foi inaugurada a rodovia Rio-Petrópolis (BERNUCCI *et al.*, 2008).

A Comissão de Estradas de Rodagem Federais foi extinta em 1931, e seus recursos passaram a ser incorporados ao orçamento da União no ano seguinte. Em 1933, um grupo de trabalho elaborou o projeto de lei que criaria o DNER. Então, no ano de 1937, foi criada no governo do então presidente Getúlio Vargas o DNER, que estava subordinado ao Ministério de Viação e Obras Públicas (BERNUCCI *et al.*, 2008). Porém, quando foi fundado, o DNER não tinha as características sugeridas no projeto de 1933, isto é, o órgão não era uma autarquia, não possuía recursos próprios e não havia vinculação de suas atividades com os sistemas rodoviários estadual e municipal (DNIT, 2019).

A construção rodoviária brasileira cresceu significativamente nas décadas de 1940 e 1950. A década de 1940 foi marcada por grandes avanços na pavimentação de rodovias, resultante do desenvolvimento tecnológico que ocorreu durante a 2ª Guerra Mundial. No ano de 1942, engenheiros brasileiros estiveram em contato com engenheiros norte-americanos, já que estes tinham experiência em construir pista de aeroportos e estradas de acesso pelo ensaio *California Bearing Ratio* (CBR) durante o período de guerra. Destaca-se que, nessa época, o Brasil apresentava uma das menores extensões de rodovias pavimentadas da América Latina, contando com apenas 1300 km de rodovias (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Como uma forma de corrigir a política rodoviária adotada até aquele momento no Brasil, o Decreto-lei 8.463 foi sancionado pelo então presidente da República José Linhares, em 27 de dezembro de 1945, conduzido por Maurício Joppert da Silva, que era ministro da Viação e Obras Públicas naquele ano. Essa norma concedia autonomia técnica e financeira ao DNER, além de realizar a descentralização administrativa do órgão, pela criação de Distritos Rodoviários Federais. Pautado nesse decreto-lei, no ano de 1946, foi criado o Fundo Rodoviário Nacional (FRN), a partir de recursos arrecadados dos impostos sobre os combustíveis líquidos (BERNUCCI *et al.*, 2008; DNIT, 2019).

A Rodovia Rio-São Paulo recebeu mais um trecho pavimentado, conhecido como BR-2, em 1949, e passou a ser denominada de Rodovia Presidente Dutra. Em 1950, essa rodovia passou por pavimentação sem estudo geotécnico. A regra adotada foi “a quantidade de ligante é a que o agregado pede”, o que serviu de base para a construção de pavimento com espessuras de 35 cm, constantes, dos quais 20 cm formavam a base de macadame hidráulico e os 15 cm restantes formavam um revestimento de macadame betuminoso. Em alguns trechos da rodovia, a pavimentação ocorreu com concreto de cimento Portland. No entanto, cabe destacar que já haviam esforços de implantação de métodos de projeto e controle por parte de alguns engenheiros (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Este fato comprova que o início da execução de pavimentos em escala industrial e da organização de grandes firmas construtoras deu-se nesse período, considerando que antes disso não haviam procedimentos aceitos de forma ampla para a aplicação das tecnologias rodoviárias, mesmo que o DNER contasse com um laboratório central (PREGO, 2011 apud BERNUCCI *et al.*, 2008).

A década de 1950 foi marcada pela realização de um programa de melhoria nas estradas vicinais do país, compreendendo inclusive as estradas da região Nordeste, visando aliviar a situação precária resultado das secas periódicas. Em 1953, foi criada a Petrobras, a Petróleo Brasileiro S.A, que, em 1955, inaugurou a fábrica de asfalto da Refinaria Presidente Bernardes, capaz de produzir 116.000 toneladas por ano (BERNUCCI et al., 2008).

No governo do presidente Juscelino Kubitschek (1956-1961) aumentou consideravelmente a área pavimentada no país, impulsionando o rodoviarismo brasileiro. No início de seu mandato, a indústria automobilística teve sua implantação no Brasil. Em 1958, foi criado o Instituto de Pesquisas Rodoviárias e um ano depois foi criada a Associação Brasileira de Pavimentação. A inauguração de Brasília, como capital do país, ocorreu em 1960 (BERNUCCI et al., 2008).

Ao final da década de 1960, todas as capitais do país estavam interligadas por estradas federais, exceto Manaus e Belém, na região Norte. As grandes obras rodoviárias continuaram na década de 1970, com o objetivo principal de garantir a unidade e a soberania nacionais por meio das interligações regionais. Nesse período de governo militar, dentre as várias obras realizadas, foram construídas a Transamazônica, a Belém-Brasília e a Ponte Presidente Costa e Silva, conhecida como Ponte Rio-Niterói (DNIT, 2019).

Na década de 1980, o DNER ainda apresentava uma atuação marcante, pois foi nesse período que ocorreu a pavimentação da rodovia que ligava Porto Velho a Rio Branco. Porém, essa atuação foi diminuindo, já que, em 1988, o Fundo Nacional Rodoviário foi extinto e a arrecadação de recursos destinados às rodovias federais diminuiu gradativamente, mesmo com os incentivos criados: Selo Pedágio e Imposto do Petróleo, em 1989 e 1991, respectivamente. Na década seguinte, novas alternativas foram pensadas para contornar a falta de recursos, tais como o Programa de Concessões Rodoviárias, o Programa de Descentralização e Restauração da Malha e o programa Crema (DNIT, 2019).

A concessão de rodovias iniciou-se no Brasil em 1996 e observou-se que as vias concessionadas (aproximadamente 9.500 km em 2007) apresentam qualidade superior às vias não-concessionadas, indicando que é possível produzir vias duráveis e com conforto de rolamento (BERNUCCI et al., 2008).

O DNER, criado em 1937, foi extinto em 2002, pelo Decreto nº 4.128, tendo em vista que foi criado o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), pela Lei nº 10.233/2001.

Segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT), a massiva maioria dos pavimentos do país possuem baixo conforto de rolamento, inclusive trechos de concessão da malha federal. O investimento em infraestrutura não é suficiente para atender as necessidades do país, afetando dentre outros setores, o setor produtivo; visto que mesmo que os bens produzidos possuam competitividade de produção, estes bens ficam menos competitivos quando se trata da infraestrutura de transportes. A competitividade da economia é afetada por essa falta de investimento, pelo aumento do número de acidentes, pelo gasto elevado de manutenção dos veículos e pelo preço dos combustíveis (BERNUCCI et al., 2008).

2.1.2 Pavimentos

A norma NBR 7207/82 da Associação Brasileira de Normas técnicas (ABNT) traz o conceito de pavimento, sendo este uma estrutura construída após um processo de terraplenagem, economicamente destinada e com vistas a resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais exercidos pelo tráfego; melhorar as

condições de comodidade e segurança de rolamento; e resistir aos esforços horizontais que nele atuam tornando a superfície de rolamento mais durável (SILVA, 2012).

Assim, pavimento consiste em uma estrutura formada por múltiplas camadas de espessuras finitas, construídas acima de uma superfície final de terraplenagem, com capacidade técnica e econômica de ter resistência a esforços provenientes do tráfego de veículos e do clima, além de proporcionar aos usuários melhora nas condições de rolamento, de forma confortável, econômica e segura. Tradicionalmente, o pavimento rodoviário pode ser classificado em rígidos e flexíveis (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Usualmente, os pavimentos são compostos por quatro camadas, quais sejam: de desgaste, de regularização, de ligação e de base. A camada de desgaste é a camada superior do pavimento e está em contato direto com o tráfego; faz parte da via de rolamento. A camada de regularização é um estrato de espessura variável, aplicado em uma só camada sobre uma superfície existente, com o objetivo de obter o perfil necessário para colocar uma camada de desgaste de espessura constante. A camada de ligação é a camada do pavimento localizada entre a de desgaste e a camada base. Já camada base consiste no principal elemento estrutural do pavimento, pois é sobre ela que os esforços verticais serão transmitidos, distribuindo-os para as camadas subjacentes (RODRIGUES, 2011)

2.1.2.1 Tipos de Pavimentação

Os pavimentos rodoviários, de acordo com a sua deformidade e os materiais que os constituem, podem ser classificados em flexíveis e rígidos. É possível ainda uma terceira categoria, que seriam os pavimentos semirrígidos. A escolha de cada tipo estará sujeita a algumas condições, como a intensidade do tráfego, a qualidade de resistência do solo de fundação e a qualidade dos materiais disponíveis (FRANCISCO, 2012).

Há uma inclinação de empregar uma nomenclatura referente à composição destes tipos de pavimentação, no que trata do tipo de revestimento do pavimento: o termo “pavimentos de concreto de cimento Portland” ou, ainda, “concreto-cimento” refere-se aos pavimentos rígidos; enquanto a expressão “pavimentos asfálticos” refere-se aos pavimentos flexíveis (BERNUCCI *et al.*, 2008; RIBEIRO; BARRA; MOREIRA, 2000). Isso porque, comumente, os pavimentos rígidos possuem revestimento de concreto de cimento Portland; enquanto os pavimentos flexíveis apresentam revestimento de concreto de cimento asfáltico de petróleo. Os termos rígidos e flexíveis estão relacionados às respostas estruturais, seja de cada um dos materiais isoladamente, seja do pavimento todo (SILVA, 2012).

A resposta estrutural, mesmo diante das mesmas ações, é diferente para cada pavimento. A camada superficial dos pavimentos flexíveis é constituída de um material betuminoso, capaz de apontar para uma maior concentração de tensões no solo de fundação, em decorrência da flexibilidade das camadas superiores. Já os pavimentos rígidos apresentam maior distribuição de tensões no solo de fundação. Nesse caso, quando comparada à tensão máxima dos pavimentos flexíveis, a tensão máxima é menor (FRANCISCO, 2012).

O emprego de cada um destes tipos de pavimento deve levar em consideração as particularidades de cada um, os materiais e as técnicas utilizadas na construção, as reações às cargas de acordo com o tráfego, a exigência do projeto, a disponibilidade de materiais, dentre muitas outras variantes. Logo, é imprescindível verificar as melhores alternativas ao se executar um serviço de

pavimentação, visando eliminar carências em situações emergentes e definir o melhor tipo de pavimento em cada caso, através do estabelecimento métodos comparativos (RIBEIRO; BARRA; MOREIRA, 2000).

2.1.2.2 Pavimentos Flexíveis

São denominados flexíveis aqueles pavimentos que possuem capacidade de suporte em decorrência das características de contribuição da carga por um sistema de camadas sobrepostas. Já que as camadas mais próximas da carga aplicada são as que possuem melhor qualidade. A camada superior é, portanto, aquela que resiste diretamente às ações e forças do tráfego e as que transmitem de forma mais sensível às camadas inferiores (RODRIGUES, 2011). Podem ter estrutura com revestimento betuminoso apoiado sobre uma base granular ou um solo estabilizado mecanicamente (MEDINA, 1997 *apud* RODRIGUES, 2011).

Pavimentos flexíveis também podem ser associados à pavimentação asfáltica, pois o revestimento é composto pela associação de agregados e ligantes asfálticos, possuindo quatro camadas: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço de subleito. O revestimento asfáltico, que está em contato direto com as rodas dos veículos, é formado pelas camadas de rolamento, camadas intermediárias e de ligação, sendo estas também denominadas de *binder* (significa ligante asfáltico, em inglês). É possível que algumas camadas sejam retiradas nesse contexto, sendo tudo de acordo com o tráfego e os materiais disponíveis para a pavimentação da estrutura que se sobrepõe ao subleito; isto é, a plataforma da via terminada após a conclusão dos cortes e aterros (BERNUCCI *et al.*, 2008).

No que tange aos pavimentos flexíveis, por serem suas camadas constituídas de materiais betuminosos, atribui-se certa deformidade no pavimento. As camadas superiores (ligadas) são camadas que conferem ao pavimento resistência à tração do tráfego, devendo ser impermeáveis à água. Já as camadas inferiores (não ligadas) são formadas por material granular e solo de fundação, conferindo resistência às tensões de compressão sofridas pelo pavimento, além de serem permeáveis, permitindo o escoamento de água que, porventura, se infiltre no pavimento (FRANCISCO, 2012).

No Brasil, a construção de rodovias de asfalto é mais utilizada, tendo em vista que o custo destas é inferior ao dos pavimentos de concreto. Porém, essa modalidade sofre mais deformação constante, em razão do clima brasileiro e do peso das cargas transportadas pelos caminhões, reduzindo a sua durabilidade e o desempenho das rodovias de asfalto. Ao longo dos anos em serviço, os pavimentos flexíveis desenvolvem degradações que contribuem para diminuição da qualidade funcional e estrutural do pavimento, pois essas degradações tem sua origem nas ações de tráfego e nas condições mecânicas, alterando as características iniciais do pavimento (FRANCISCO, 2012).

Uma diferença entre pavimento flexível e pavimento rígido, que será disposto a seguir, é o campo de tensões, onde no pavimento flexível se torna concentrado enquanto no pavimento rígido apresenta campo mais disperso. As tensões são distribuídas em maior área (BALBO, 2007 *apud* SILVA, 2012).

2.1.2.3 Pavimentos Rígidos

O pavimento rígido é utilizado desde o século passado, com aumento da sua utilização principalmente durante o período de grande desenvolvimento na época, devido aos conflitos armamentistas mundiais (as Grandes Guerras). Isto é, neste âmbito conturbado era necessário desenvolver compostos que teriam a capacidade

de serem utilizados na pavimentação, além da economia de cimento, com resultados rápidos e eficazes. Na grande tensão do conflito, ocorreram grandes obras de implantação, como, por exemplo, aeroportos, sendo necessário efetuar reconstruções diante das calamidades enfrentadas pelo período. O crescimento acelerado das demandas sociais, inclusive a interferência da indústria automobilística, afetaram também o setor de infraestrutura de transportes, fazendo retornar a busca pelo aprimoramento dos pavimentos rígidos como alternativa para os danos recorrentes dos pavimentos flexíveis (RIBEIRO; BARRA; MOREIRA, 2000).

Os pavimentos rígidos, também conhecidos como pavimentos de cimento-concreto, são aqueles cujo revestimento é constituído por uma placa de concreto de cimento Portland. A espessura desses pavimentos depende da resistência à flexão das placas de concreto e das resistências das camadas subjacentes às placas. As placas de concreto podem ser armadas ou não com base de aço. Geralmente, pode-se designar a subcamada desse pavimento como uma camada de sub-base, visto que a qualidade do material dessa camada é equivalente a sub-base dos pavimentos asfálticos flexíveis (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Em suma, um pavimento rígido é formado por uma única camada superior, chamada de laje, composta de betão de cimento, geralmente de cimento Portland. Essa camada de betão de cimento funciona de forma simultânea com a camada de desgaste e camada de base. O pavimento rígido sofre menos deformações, visto que a elevada resistência à flexão apresentada pelo betão de cimento torna o pavimento capaz de suportar tráfego pesado e intenso, mesmo em solos que possuam fraca capacidade de carga (RODRIGUES, 2011).

Cabe destacar que esta camada deve garantir a impermeabilidade do pavimento. Isso porque, além da camada de laje, as juntas precisam ser seladas com material adequado. A laje de betão absorve as cargas impostas ao pavimento e as degrada numa grande área. A tensão vertical máxima atinge a fundação com uma pequena fração da pressão de contato do pneu com a via de rolamento do pavimento, fazendo com que a capacidade de resistência do pavimento não seja determinada pela fundação, como é no caso do pavimento flexível (FRANCISCO, 2012; RODRIGUES, 2011).

Alguns estudos admitem uma terceira classificação deste tipo, que é o pavimento semirrígido. Este pavimento tem as suas camadas superiores formadas por misturas betuminosas, assim como os pavimentos flexíveis; contudo, suas camadas de base apresentam materiais granulares tratados com ligantes hidráulicos, como os pavimentos rígidos. A camada de sub-base do pavimento semirrígido é formada por material granular mecanicamente estabilizado. Nessa formação, o pavimento absorve os esforços verticais do tráfego (FRANCISCO, 2012).

2.1.3 Agregados para Pavimentação

2.1.3.1 Tipos de Agregados

Uma vez descritos os tipos de pavimento, é importante destacar a constituição de cada um deles. Podem ser formados por agregados, solos e, eventualmente, aditivos, dentre os quais podemos citar: cal, emulsão asfáltica, cimento, dentre muitos outros. Os agregados podem ser classificados, de acordo com a reação desses aos esforços, em: granulares e solos, estabilizados quimicamente ou cimentado e materiais asfálticos (BERNUCCI *et al.*, 2008).

Os tipos de agregados são basicamente a areia e a rocha britada (brita). A NBR 7211 da ABNT dispõe acerca das características da recepção e da produção de agregados, sejam eles miúdos ou graúdos, de origem natural, sendo encontrado de forma fragmentada ou resultante da britagem de rochas extraídas. Agregado miúdo é areia de origem natural ou resultado de britamento de rochas estáveis, podendo ainda ser a mistura de ambas as formas. Os grãos devem passar na peneira 4,8 mm e ficar retidos na Peneira 0,075 mm, nos moldes da ABNT. Já o agregado graúdo, também conhecido como pedregulho ou brita, deve ter sua origem em rochas estáveis. Os grãos devem passar na peneira de malha quadrada com abertura nominal de 152 mm e ficar retidos na peneira de 4,8 mm, também dos moldes da ABNT (VALVERDE, 2019).

Os agregados devem possuir propriedades que permitam o manuseio adequado durante o transporte e estocagem, a mistura dos agregados com os ligantes ou com outros agregados, a colocação da mistura durante a pavimentação e a compactação ou cura da mistura (VALVERDE, 2019).

2.1.3.2 Granulometria

Acerca dos agregados, é importante destacar que o uso de cada um desses nas suas atribuições na construção civil depende da sua graduação. Graduação de agregados é a distribuição de partículas por tamanho, descrita através do porcentual de peso e volume total de mistura. Mesmo que a graduação por volume seja mais útil, a graduação por peso pode ser utilizada por ser a mais prática. Na graduação por volume é considerada igual à graduação por peso se as massas específicas dos agregados forem aproximadamente iguais. A curto, médio e longo prazos, uma mistura asfáltica pode ter um desempenho maior ou menor de acordo com a graduação dos agregados utilizados (CUNHA, 2004).

A graduação afeta praticamente todas as propriedades da mistura asfáltica, incluindo estabilidade, permeabilidade, durabilidade, resistência a fadiga, resistência a danos causados pela umidade, etc. As especificações da graduação devem ser, portanto, consideradas como o primeiro passo para elaboração da mistura que constituirá o pavimento (CUNHA, 2004).

Com relação aos procedimentos de peneiramento utilizados para determinar a granulometria dos agregados, dois métodos são amplamente usados, quais sejam: a seco e por lavagem. A padronização do procedimento a seco ocorre pela STM C136 e a RM 83/98. Já com relação ao procedimento por lavagem, a mesma acontece pela STM C117. Quanto à precisão, é considerável o destaque do peneiramento por lavagem; no entanto, o peneiramento a seco é mais rápido e mais usado para determinar a graduação de agregados (CUNHA, 2004).

2.1.4. Escória de Aço

De acordo com FREITAS e MOTTA (2008), a cada tonelada de aço produzido, aproximadamente 140 Kg de escória de aciaria resultam do processo. Em 2004, com a crescente produção de aço, cerca de 32,9 milhões e 1,5 bilhão de toneladas foram produzidas no Brasil e no mundo, respectivamente.

Estima-se que, aproximadamente, 4,6 milhões de toneladas de escória de aciaria foram depositados nos pátios de siderúrgicas brasileiras no ano de 2006. O aproveitamento de escória de aciaria acontece em vários países ao redor do mundo, entre eles: Inglaterra, Alemanha, Polônia e Japão, desde o início do século XX (FREITAS; MOTTA, 2008).

Tecnicamente, este resíduo apresenta propriedades mecânicas equivalentes ou até superiores as de materiais comumente utilizados na pavimentação, além de constituírem uma vantagem ambiental significativa, uma vez que se busca evitar a abertura de novas jazidas de material de construção e reduz-se o depósito dessa escória em usinas. Pesquisas vêm mostrando que o emprego da escória de aciaria na pavimentação é uma alternativa viável econômica e tecnicamente (FREITAS; MOTTA, 2008).

No que trata do âmbito econômico, o uso desse resíduo industrial é viável em decorrência do baixo custo de obtenção. Em localidades próximas a centros geradores, o preço de transporte é reduzido, constituindo ainda uma alternativa de depósito do material pelos produtores, uma vez que o acúmulo desse material por parte das siderúrgicas gera custos elevados de deposição, além da ocupação da ocupação de grandes áreas, devendo atender as leis ambientais vigentes no país (FREITAS; MOTTA, 2008).

Além da pavimentação rodoviária, o agregado siderúrgico também tem sido utilizado para lastro ferroviário, produção de artefatos de concreto (blocos intervalados, tubos, etc.), contenções de encostas, drenagens, produção de fertilizantes e corretivos de solo, entre outros. A aplicação dos resíduos de siderúrgica é possível nesses casos, seja ela de forma total ou parcial, em substituição ao agregado natural de material pétreo (brita), produzida através da quebra de rochas. Os impactos gerados pelo processamento da escória são bem menores em comparação com as operações de extração de brita, além de consumir menos energia (TAVARES; ODA; MOTTA, 2019).

Apesar das vantagens, um dos grandes obstáculos para a utilização da escória de aciaria é o elevado potencial de expansão, considerando a aplicação em determinadas condições de confinamento. Como alternativa à expansividade da escória, a transformação desta em um agregado igual ou menor aos agregados de origem da mineração de algumas rochas pode reduzir a capacidade de expansão (TAVARES; ODA; MOTTA, 2019).

2.1.4.1. Obtenção

A produção de escória pode acontecer em diversas etapas do processo produtivo da siderurgia: no alto forno, na aciaria LD, na aciaria elétrica e na metalúrgica secundária. Isso ocorre em decorrência do uso de altas temperaturas nos diferentes processos, sendo que a temperatura média durante a produção é de 1500° a 1600° Celsius. O processo de fabricação da escória é considerado de alta tecnologia; logo, suas operações são controladas com o objetivo de obter um produto que seja competitivamente exigente, satisfazendo o mercado consumidor (SOUZA, 2007).

As escórias de aciaria podem ser escória LD, tendo origem no conversor de oxigênio LD (Linz-Donawitz), e escória elétrica, proveniente do forno de arco elétrico (EAF - *Electric Arc Furnace*). A utilização desse material em pavimentos rodoviários em camadas é possível porque uma das características desse material é seu potencial expansivo causado pela presença de óxido de cálcio e óxido de magnésio em sua composição. Se estas não forem tratadas, a possibilidade de defeitos no pavimento aumenta, podendo ser trincas radiais ou longitudinais no revestimento, além do deslocamento rotacional de sarjetas (FREITAS; MOTTA, 2008).

2.1.4.2. Resíduos e sua utilização

Considerando que as escórias de aciaria são resíduos gerados pela fusão de metais ou redução de minérios, visando obter ferro gusa líquido e escória, posteriormente. O processo de produção de aço elimina elementos que o tornam quebradiço e difícil de ser transformado em material sólido (barras). Dentre os elementos eliminados podem ser citados o óxido de carbono, o óxido de cálcio, silício, fósforo, etc.

A matéria-prima e o processo de produção empregado são elementos que geram elevada variação na composição química e mineralógica do aço. Essa variação ocorrida durante os processos de produção do aço pode produzir espécies químicas diferentes de escórias de aciaria, seja no processo de resfriamento da escória ou na sua armazenagem após o resfriamento (MACHADO, 2000 *apud* TAVARES; ODA, MOTTA, 2019).

As reações químicas dos óxidos presentes durante o processo produtivo constituem uma característica marcante da escória de aciaria, devendo esta ser tratada para reduzir a sua capacidade de expansão, para que seja usado como agregado na construção civil (RODRIGUES, 2007 *apud* TAVARES, ODA; MOTTA, 2019).

A utilização da escória de aciaria como cimento se mostra bastante atrativa, considerando que o processo de clinquerização apresenta um consumo energético significativo (MASUERO, 2001). Outro fator a ser considerado é que ocorre uma alta liberação de gás carbônico na atmosfera durante o processo de calcinação do carbonato de cálcio, resultando em aproximadamente uma tonelada de gás carbônico para cada tonelada de cimento produzido (META, 1999 *apud* MASUERO, 2001).

Ainda no ano 2000, o cimento de escória de aciaria produzido na China já era comercializado há mais de 20 anos e em sua composição havia escória de aciaria, escória de alto-forno e cimento Portland, por apresentar baixo custo energético, alta resistência à abrasão, baixo calor de hidratação e ganho de resistência ao longo do tempo. Todavia, possui maior tempo de pega, além de menor resistência a baixas idades quando comparada ao cimento Portland (MASUERO, 2001).

2.2 METODOLOGIA

2.2.1 Amostragem

Para fins de experimentação do presente trabalho, foi utilizada escória de aciaria LD (proveniente do conversor de oxigênio LD - *Linz-Donawitz*), de origem da Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), localizada em Serra, região metropolitana de Vitória, no estado do Espírito Santo. Utilizou-se a escória em forma de agregados graúdos, de cor cinza, com variação na forma (arredondados e angular), textura superficial lisa e aspecto não poroso, como descrito na FIGURA 01.

Figura 1 - Amostra da escoria de aciaria



Fonte: Autor (2019).

2.2.2 Análise Granulométrica de Agregados

Para a análise granulométrica, foram utilizados os parâmetros da NBR 248 (2001), por meio do conjunto de peneiras contínuo, com malha de aço e furos quadrados. Com peneiras de série superior e de série intermediária, iniciou-se a análise pela peneira de furo 25 mm; prosseguindo para as peneiras de 19 mm; 12,5 mm; 9,5 mm; 4,8 mm; 2,4 mm; 1,2 mm; 600 μm ; 300 μm ; 150 μm ; finalizando com o fundo das mesmas.

2.2.3 Descrição do Ensaio

O presente ensaio foi realizado no laboratório de materiais da UNIFACIG, seguindo a NBR 248 (2001), para a determinação da granulometria. Primeiramente, a amostra foi seca em estufa, e após a secagem, foram preparadas duas amostras: M1, com 4,05 kg, e M2, com 4,02 kg, que podem-se observar na FIGURA 02 e 03.

Figura 2 - Amostra M1



Fonte: Autor (2019).

Figura 2 - Amostra M2



Fonte: Autor (2019).

Ambas as amostras foram peneiradas por processo mecânico durante 10 minutos, como pode-se observar na Figura 4, sendo as peneiras empilhadas de forma a constituir, da base ao topo, uma série de peneiras com aberturas em ordem crescente, nos parâmetros supracitados no item anterior. Para ser realizado o processo de agitação mecânica, as amostras foram colocadas na peneira superior do conjunto.

Figura 4 - Peneiramento



Fonte: Autor (2019).

Foi realizada certificação manual e visual para averiguar se não havia ficado alguma partícula que não havia passado para a peneira posterior e se todas as partículas retidas eram realmente da mesma granulometria. Posteriormente, foi realizada a pesagem dos materiais retidos em cada peneira, para análise e verificação da granulometria das amostras.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Análise de Granulométrica dos Resíduos

Após o peneiramento mecânico e a pesagem das amostras, os índices da granulometria foram gerados, no que trata dos percentuais de material retido, de forma individual e cumulativamente, de acordo com a graduação da peneira. Tais índices se encontram dispostos na TABELA 1. Pode-se observar que, de acordo com a NBR 7211.

Tabela 1 - Resultado da análise da escória de aciaria, por amostra analisada (M1 e M2), em gramas e em percentual.

Peneiras (mm)	Parcela retida individual (em g)		Parcela retida individual (em %)	
	M1	M2	M1	M2
25	0	60	0%	1%
19	310	380	8%	9%
12,5	1310	1180	33%	29%
9,5	770	730	19%	18%
6,3	850	850	21%	21%
4,8	330	350	8%	9%
2,4	350	340	9%	8%
1,2	80	90	2%	2%
0,6	30	77	1%	2%
0,3	0	30	0%	1%
0,15	0	0	0%	0%
Fundo	0	0	0%	0%
TOTAL	4030	4087	100%	100%

Fonte: Autor (2019).

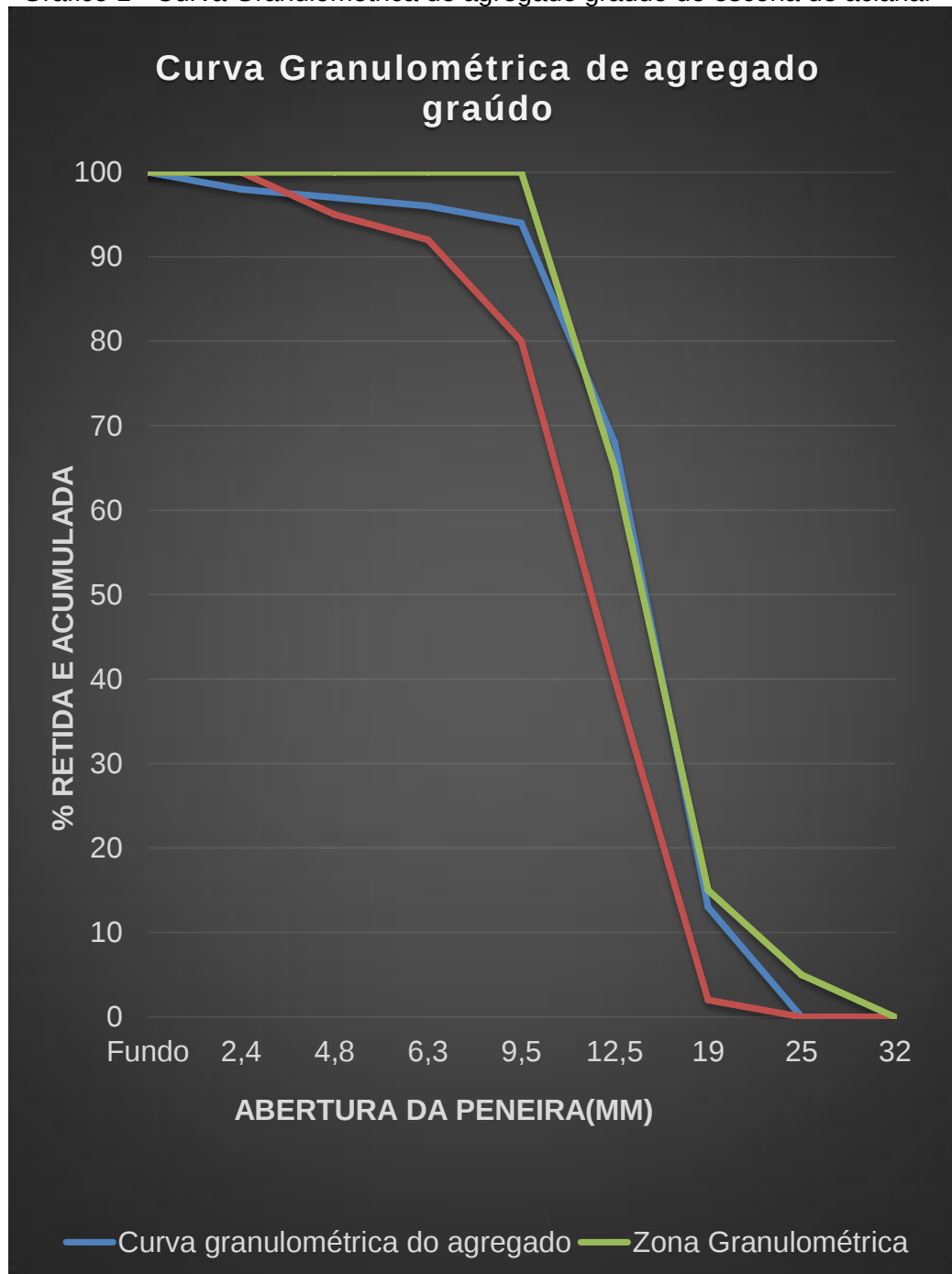
Por meio dos resultados obtidos, verifica-se que, as amostras analisadas, em sua maioria, se aproximaram da granulometria da brita 1.

Considerando a análise granulométrica dos resultados dos ensaios realizados o material retido até a peneira de furo 12,5 mm, representou 55% do total retido, no qual segundo as normativas apresentadas, representa uma brita comercial N° 1.

2.3.2 Análise Comparativa da Granulometria dos Agregados Convencionais com os do Resíduo de Escória

Analisando as médias dos resultados obtidos a partir dos ensaios realizados e que pode ser observados no Gráfico 1, pode-se se observar que a granulometria apresentada pelas amostras analisadas apresentou-se por quase totalmente dentro da zona granulométrica da brita n°1, a qual é a faixa granulométrica mais utilizada na produção de concretos para pavimentação.

Gráfico 1 - Curva Granulométrica de agregado graúdo de escória de aciaria.



Fonte: Autor (2019).

Cabe destacar que, predominantemente, o resultado obtido as amostras apresentaram predominantemente entre as peneiras de 19 mm a 4,8 mm. Que é a mesma faixa granulométrica da brita comercial N°1.

3 CONCLUSÃO

O reaproveitamento de resíduos industriais é um mercado com elevado potencial, sendo encarado como uma atividade que poderá contribuir para a diversificação de produtos e diminuição dos custos de produção, bem como a obtenção de matérias-primas para uma série de setores industriais, inclusive no âmbito da construção civil.

No entanto, cabe destacar que as condições do pavimento das vias influenciam relevantemente no preço do transporte de mercadorias e na circulação de pessoas no Brasil, tendo em vista que as más condições aumentam o tempo de deslocamento, elevando, ainda, o custo do combustível e o desgaste dos veículos (CAMPOS NETO, 2011).

A utilização da escoria de aciaria na pavimentação é uma alternativa viável, pois a mesma apresenta valores elevados de resistência a compressão, e é um material que não apresenta riscos à saúde humana, podendo assim ser classificado como agregado. Como um agregado de baixo custo, por ser o mesmo um subproduto da produção de aço, é classificado como resíduo sólido e as siderúrgicas tem o dever de dar uma destinação correta para o mesmo.

Portanto, a destinação desse resíduo para o uso na construção de pavimentos é uma alternativa para a redução dos custos da elaboração de pavimentos, reduzindo assim a extração exacerbada de material de origem natural, como o desmonte de rocha para poderem ser britadas até a granulometria desejada, tendo um alto consumo de energia e de combustíveis.

No presente estudo, pode-se observar que a faixa granulométrica da escória de aciaria, ficou compreendida entre os parâmetros de peneira de 19 mm até a peneira de 4,8 mm. Representando 97% da amostragem. E essa é a mesma faixa granulométrica do material similar, brita comercial nº1. Podendo assim concluir que para a amostragem utilizada, a escoria de aciaria se apresenta dentro da zona de utilização de Brita, nº1, sendo assim apta pra ser utilizada como substituta de agregados convencionais na produção de concretos com fins de pavimentação.

Cabe ressaltar que estudos mais aprofundados nas propriedades físicas e mecânicas do material são necessários para melhores conclusões sobre sua utilização, desta forma ficam como recomendações de trabalhos futuros estudos de traços e resistências a compressão e tração de corpos de prova de concreto utilizando a escória de aciaria como formas de validação e aplicação da mesma como substituto de agregados convencionais na produção de concretos para pavimentação.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7211**: agregados para concreto – especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR NM 248**: agregados – determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2001.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos - ABEDA), 2008.

BRASIL. **Decreto nº 1.453, de 30 de dezembro de 1905**. Fixa a despesa geral da Republica dos Estados Unidos do Brazil para o exercicio de 1906 e dá outras providencias. Disponível em: <<https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1900-1909/lei-1453-30-dezembro-1905-777265-publicacaooriginal-141482-pl.html>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

CAMPOS NETO, Carlos Alvares da Silva et al. **Gargalos e demandas da infraestrutura rodoviária e os investimentos do PAC**: mapeamento IPEA de obras rodoviárias (Texto para discussão n. 1592). Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2011.

CUNHA, Marcos Bottene. **Avaliação do método Bailey de seleção granulométrica de agregados para misturas asfálticas**. São Carlos, 2004. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil – Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DNIT. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Histórico do Rodoviarismo**: breve histórico do rodoviarismo federal no Brasil. Disponível em: <<http://www1.dnit.gov.br/historico/>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento. Gerência de Desenvolvimento e Apoio Técnico às Atividades Industriais. **Levantamento da situação ambiental e energética do setor de ferroligas e silício metálico no estado de minas gerais, prospecção de ações para o desenvolvimento sustentável da atividade**: relatório técnico. Belo Horizonte: FEAM, 2010.

FRANCISCO, Ana Paula Santos. **Comportamento estrutural de pavimentos rodoviários flexíveis**. Bragança, 2012. 132 f. Relatório Final de Projeto (Mestrado em Engenharia da Construção) - Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia e de Gestão.

FREITAS, Hérika Braga de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. Uso de escória de aciaria em misturas asfálticas de módulo elevado. **Revista Transportes**, v. 16, n. 2, p. 5-12, dez. 2008. ISSN: 1415-7713.

TAVARES, Diogo Santos; ODA, Sandra; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Utilização do agregado siderúrgico (escória de aciaria) em pavimentação asfáltica**. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/5376571-Utilizacao-do-agregado-siderurgico-escoria-de-aciaria-em-pavimentacao-asfaltica.html>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

SOUZA, Eduardo Bezerra de Oliveira e. **Escórias de aciaria e resíduos de concretos refratários em componentes de pavimentação**. Belo Horizonte, 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais.

LUZ, Adão Benvindo da; ALMEIDA, Salvador Luiz M. **Manual de Agregados para Construção Civil**. 2. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012.

MASUERO, Angela Borges. **Estabilização das escórias de aciaria elétrica com vistas a sua utilização como substituição ao cimento**. Porto Alegre, 2001. 289 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Centro de Tecnologia da Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

RIBEIRO, Maurício Melo; BARRA, Breno Salgado; MOREIRA, Fábio Cardoso. Comparações entre pavimentos flexíveis e rígidos, abordando responsabilidades, aspectos técnicos e custos. **Revista Traços**, v. 3, n. 6, p. 57-63, dez. 2000.

RODRIGUES, José Luís Azevedo. **Conceção de pavimentos rígidos**. Porto, 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Especialização em Vias de Comunicação) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.

SILVA, Carlos Filipe Santos Correia e. **Reutilização do resíduo oriundo dos serviços de restauração asfáltica como material alternativo em camadas de pavimentos flexíveis**. Ijuí, 2012. 74 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

TORRES, Ana Mara Araújo. **Utilização de escoria de ferro Silício-manganês como agregado em mistura asfáltica dosadas pela metodologia SUPERPAVE**. Ouro Preto, 2018. 219 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal de Ouro Preto, Escola de Minas, Programa de Pós-graduação em Geotecnia.

VALVERDE, Fernando Mendes. **Agregados para construção civil**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/publicacoes-economia-mineral/arquivos/agregados-para-contrucao-civil.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2019.