

FACULDADE EDUFOR

ENGENHARIA CIVIL

FRANCISCO ANTÔNIO DE MELO OLIVEIRA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DA CLASSE A NA PAVIMENTAÇÃO



São Luís

2023

O48u Oliveira, Francisco Antônio de Melo

Utilização do resíduo da classe a na pavimentação / Francisco Antônio de Melo Oliveira — São Luís: Faculdade Edufor, 2023.

22 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (ENGENHARIA CIVIL) — Faculdade Edufor - São Luís, 2023.

Orientador(a) : Franklin Roosevelt Rodrigues do Ó

1. Resíduos da construção civil. 2. Resíduo classe A. 3. Pavimentação I. Título.

FACULDADE EDUFOR SÃO LUÍS

CDU 678.049.2

Utilização do Resíduo da Classe A na Pavimentação

Oliveira, Francisco Antônio De Melo, Ó, Franklin Roosevelt Rodrigues deⁱ

RESUMO

A quantidade específica de resíduos de classe A produzida nos locais de construção, de forma geral, representa um desafio ambiental significativo que requer a implantação de estratégias alternativas sustentáveis para sua resolução. Entre as soluções que têm sido propostas, uma das abordagens para a utilização de resíduos classe A é a substituição das camadas de materiais naturais, como a brita graduada, por resíduos classe A em pavimentos de vias urbanas. Este estudo é uma revisão de literatura que examina artigos, incluindo fontes bibliográficas e experimentais. Com base nessas fontes, entende-se que a utilização de agregados residuais classe A é viável para a construção de pavimentos flexíveis, abrindo possibilidades para o desenvolvimento sustentável no campo da engenharia de pavimentos. De acordo com a revisão bibliográfica realizada, é possível constatar que os agregados reciclados apresentam características físicas e mecânicas perfeitas, ou que os tornam adequados para serem usados como matéria-prima em rodovias, dentro das configurações de resistência previstas para agregados naturais.

Palavras-chave: Resíduos da Construção Civil. Resíduo classe A. Pavimentação.

ABSTRACT

The specific amount of class A waste produced on construction sites, in general, represents a significant environmental challenge that requires the implementation of sustainable alternative strategies to resolve it. Among the solutions that have been proposed, one of the approaches for using class A waste is the replacement of layers of natural materials, such as graded gravel, with class A waste in urban road pavements. This study is a literature review that examines articles, including bibliographic and experimental sources. Based on these sources, it is understood that the use of class A residual aggregates is viable for the construction of flexible pavements, opening up possibilities for sustainable development in the field of pavement engineering. According to the literature review carried out, it is possible to verify that recycled aggregates have perfect physical and mechanical characteristics, or that make them suitable for use as raw

material on highways, within the resistance configurations foreseen for aggregate natural livestock.

Key-words:Waste from Civil Construction activities. The topic covered is the management of class A waste in the paving area.ⁱⁱ

1. INTRODUÇÃO

Toda a construção de rodovias no Brasil tem sido prejudicada pela falta de investimento público, principalmente nos últimos anos, bem como pela burocracia e pelos altos custos de construção, além de um custo alto para restaurar deterioração das rodovias devido ao aumento da frota e ao excesso de carga transportada por rodovias (Bagatini, 2011).

A compreensão do estado funcional e estrutural das estradas permite a intervenção em suas características, permitindo o prolongamento de sua vida útil e, conseqüentemente, melhorias no sistema rodoviário brasileiro. Com o objetivo de determinar o grau de deterioração da estrada e garantir o conforto do utilizador em termos de rolamento e estado da superfície.

O reaproveitamento de resíduos originais da construção civil ganha cada vez mais importância para o desenvolvimento sustentável não só no setor da construção civil, mas também nas questões ambientais e econômicas que afetam não só o Brasil, mas o mundo inteiro. Seu reaproveitamento está diretamente relacionado à redução dos impactos ambientais causados pela insuficiência de transporte, bem como à redução do consumo de materiais de origem natural. O material reciclado da construção e demolição (RCD), por exemplo, tem uso em camadas de base e sub-base do pavimento de estradas (Bagatini, 2011).

Segundo Silva et al. (2021), o estudo da reutilização e reciclagem de resíduos tornou-se uma prioridade máxima em termos de preocupações ambientais. Além disso, a reciclagem pode proporcionar uma variedade de benefícios técnicos, econômicos, energéticos e ambientais, tais como a redução da quantidade de matéria primária extraída, a conservação de matéria primária não renovável, a redução do consumo de energia, a redução das emissões de CO₂ e a geração de recursos financeiros anteriormente inalcançáveis.

O desenvolvimento de técnicas e métodos para viabilizar as atividades cotidianas nos canteiros de obras vem se tornando uma tendência mundial para mitigação de problemas ambientais causados pelo transporte inadequado. A reciclagem é um dos métodos mais eficientes da indústria da construção civil para a redução do impacto ambiental, bem como a redução de custos através da criação de outros novos produtos a partir da mesma matéria-prima, garantindo a reaproveitamento do material ou simplesmente o seu reaproveitamento.

Alguns benefícios podem ser identificados, tais como: redução do consumo de materiais naturais; redução do número de áreas necessárias para aterros sanitários; redução no volume de resíduos sólidos; e redução da poluição de entulhos em canteiros de obras, entre outras áreas, principalmente nas margens dos cursos d'água das cidades. Por exemplo, depois de triturados, os restos cerâmicos com alto teor de areia ou como agregados graduados são utilizados para diversas finalidades em processos de construção civil, principalmente como base para pavimentação (Silva et al.,2021).

O presente estudo, realizado de forma qualitativa e bibliográfica, busca responder à seguinte questão: Quais os benefícios da utilização dos resíduos de classe A na pavimentação? Este trabalho tem como objetivo analisar resíduos da classe A na pavimentação, com foco nos métodos utilizados para cada tipo de resíduo, desempenho e principais características.

O estudo da utilização de resíduos na pavimentação rodoviária justifica-se face à crescente necessidade de utilização mais eficiente dos recursos disponíveis. Com isso, ao pesquisar esse tema, pode-se avançar no fator ambiental e ao mesmo tempo desenvolver o fator econômico, que muitas vezes é um dos fatores mais motivadores para os empreendedores da construção.

O tipo de pesquisa realizado neste trabalho foi uma Revisão de Literatura Qualitativa e Descritiva, no qual foi realizada uma consulta a livros, dissertações e por artigos científicos e sites confiáveis como LILACS, SCIELO e Google Acadêmico. Foram selecionados livros, artigos, sites confiáveis publicados nos últimos 10 anos e que estiverem nas línguas inglesas e portuguesas. Os critérios de exclusão se basearão no descarte de artigos sem teor científico.

2. RESÍDUOS SÓLIDOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor da construção civil é um dos mais importantes setores econômicos e de geração de empregos do Brasil, com um dos melhores índices de desenvolvimento do país. Porém, embora seja um setor econômico, tem um impacto ambiental significativo porque consome recursos naturais, geram muitos resíduos, o que é uma grande preocupação para as cidades/estados, e até altera a paisagem (Teixeira Et Al., 2018).

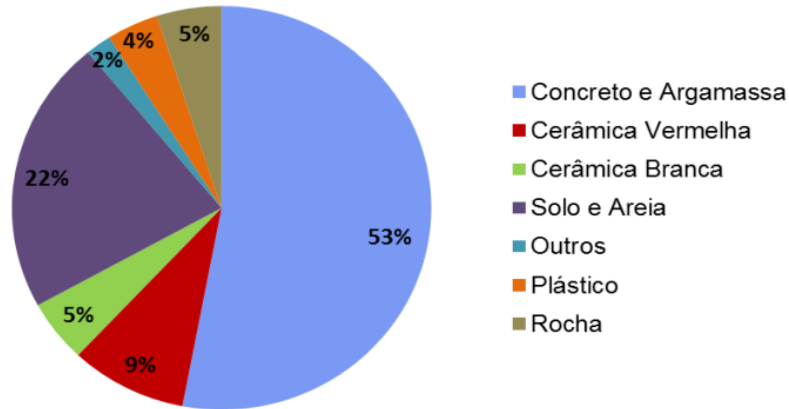
Com o objetivo de reduzir a formação de resíduos da construção civil, a resolução CONAMA 307/2002 orienta que os geradores priorizem a reutilização, redução, reciclagem, tratamento de resíduos e destinação final adequada dos itens rejeitados. Com isso, não é adequado que materiais de construção civil sejam depositados em aterros exclusivamente de lixo urbano, terrenos baldios sem consentimento do responsável, vazadouros, lagoas, encostas e áreas legalmente protegidas (Schlindwein, 2017).

De acordo com a NBR 10.004, resíduos sólidos e semissólidos são definidos como resíduos gerados nas atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de transporte. Esta definição abrange os lotes provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas características inviabilizem seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d'água, ou exijam soluções técnica e economicamente inviáveis em à luz da melhor tecnologia disponível (Dezordi; Vieira; Sausen, 2017).

A composição dos resíduos de construção apresenta variações significativas entre diferentes localidades, pois dependem das características específicas de cada região, incluindo fatores culturais como técnicas de construção e matérias-primas disponíveis. Segundo Silva (2021), no Brasil, a maioria desses resíduos consiste em materiais inertes e recicláveis, como restos de argamassa, concreto, agregados pétreos e materiais cerâmicos.

Para ilustrar, o Gráfico 1 exibe a composição dos Resíduos da Construção Civil (RCC) nas cidades do Brasil. Segundo Silva et al. (2021), os resíduos provenientes da construção civil desta localidade são compostos por 94% de materiais com elevado potencial de reciclagem.

Gráfico 1 - Representação dos RCC no Brasil



Fonte: Silva (2021, p.143)

Com base em resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), 2002[)], o setor da construção civil está integrando e criando discussões sobre controle e responsabilidade pelos resíduos de RCD. Como resultado, os investigadores começaram a fornecer soluções para os resíduos gerados por esta indústria vital. Os resíduos de construção e demolição são classificados in loco conforme critérios estabelecidos pela Resolução 307 do CONAMA conforme Quadro 1 (Nascimento; Barreto, 2019).

Quadro 1 – Classificação dos Resíduos

Classes	Integrantes predominantes considerados na composição gravimétrica
Classe A	São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como: de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infraestrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem, de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento etc.), argamassa e concreto, de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.
Classe B	São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras, embalagens vazias de tintas imobiliárias e gesso.
Classe C	São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação.
Classe D	São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde.

Fonte: Nascimento e Barreto (2019, p.13).

Segundo Nagalli (2014), a fase de caracterização é fundamental para identificar e quantificar os materiais e, conseqüentemente, realizar o planejamento adequado, visando

a reciclagem, redução e reutilização, e transportar cada resíduo até seu destino final com base na triagem.

Quadro 2 – Formas de destinação dos resíduos da construção civil

Classes	Destinação
A	Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados ou encaminhados a aterro de resíduos classe A de reservação de material para usos futuros.
B	Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura
C	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.
D	Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as normas técnicas específicas.

Fonte: Nagalli (2014)

Com a exposição é possível perceber que, apesar das construtoras fazerem planos de redução de resíduos de uso único, e um de seus esforços visando minimizar perdas, sempre haverá resíduos nas áreas de construção, mesmo que as quantidades de resíduos sejam pequenas. Esta situação demonstra a necessidade da viabilidade do reaproveitamento apenas dos resíduos da construção civil, com o objetivo de implementar plenamente a política nacional de resíduos únicos (Fernandes, 2018).

Desde a revolução industrial, todas as empresas que utilizam recursos naturais têm tido uma estratégia de crescimento baseada na física da extração e descarte de matérias-primas de forma linear, pressionando os recursos naturais para serem excessivos facilmente acessíveis e facilmente substituíveis. Negligenciar recursos naturais que possam causar danos significativos ao meio ambiente, comprometendo a sustentabilidade do planeta (Matsuda, 2018).

A formação do agregado leva em consideração as alterações no tratamento do RCD referente ao saneamento básico de resíduos como insumo secundário para o agregado da construção civil. Cada município é responsável pela gestão dos resíduos de construção e demolição no seu território. Em geral, as rotas dos materiais primários dos grandes geradores são transportadas para lixões ou aterros sanitários por empresas credenciadas ou autoridades locais (Madeiros, 2018).

Ressalta-se que na construção civil o uso de matéria-prima para a construção de um edifício decorre de uma grande atividade mineradora nas jazidas que são areia, argila ou pedra, todas exigindo proteção ambiental. Os efeitos são significativos, e as retiradas são incontrolláveis ao longo do tempo, resultando na falta do material desejado e, como resultado, a utilização de um método sustentável capaz de aumentar a qualidade do seu negócio pode ser menos dispendiosa que os métodos convencionais (Nagalli, 2020).

Nos dias de hoje, quando a procura e a concorrência por materiais acabados aumentam devido à procura empresarial, o elevado consumo de recursos naturais pode levar ao aumento da degradação e à vulnerabilidade ambiental. No entanto, a reutilização de materiais como aditivos tem o potencial de proporcionar vários benefícios econômicos e ambientais à sociedade, garantindo que o esgotamento dos recursos naturais não seja exagerado (Scarpato, 2017).

A quantidade de resíduos de construção e demolição depende do tipo de obra, da técnica construtiva e das características do canteiro de obras, bem como das características socioeconômicas da área, entre outros fatores. Segundo Lima (2013), essa mistura é composta principalmente por 60% de argamassa, 30% de material para fabricação tijolos, blocos, lascas cerâmicas - e os 9% restantes de materiais (concreto, pedra, areia, metal e plástico) e 1% de material orgânico, conforme Figuras 1 e 2.

Figura 1 - Resíduos da construção e demolição civil



Fonte: Fernandes (2018, p. 29)

Figura 2 - Entulho de obra



Fonte: Fernandes (2018, p. 29)

Assim, para calcular uma estimativa dos resíduos gerados durante a construção e demolição, e para garantir a reutilização destes materiais, a utilização desta estimativa de referência estabelece uma taxa de geração de resíduos de construção de 150kg/m² construídos ou transformados em toneladas, que será de 0,15t/m² (Matsuda, 2018). Estimar o volume de resíduos de construção e demolição, onde o volume de resíduos de construção e demolição pode ser calculado diariamente, mensalmente ou anualmente.

Vários fatores influenciam a geração de resíduos de construção e demolição. Os pesquisadores investigaram esta questão em muitos contextos e determinaram os fatores internos e externos do trabalho. Geometria, materiais de construção, processo construtivo, recursos humanos (tamanho da mão de obra, produtividade, capacidade e treinamento), aspectos de gestão (monitoramento, fiscalização e organização do canteiro de obras) e plano de reaproveitamento de resíduos são exemplos de características de uma edificação a ser construída ou demolida. Esses fatores serão apresentados no próximo Quadro 3 (Nagalli, 2014).

Quadro 3 - Fatores originários da geração de resíduos da construção civil

Fontes de resíduos	Causas
Erro na aquisição de materiais	Erro de pedido, erro de fornecedor
Projeto	Mudanças no projeto, erro na documentação
Manuseio dos materiais	Perdas nos transportes e na descarga, armazenamento inadequado
Operação	Retrabalho
Condições climáticas	Umidade, temperatura
Vandalismo	Segurança insuficiente
Extravio	Material perdido, abandonado
Residual, restos	Cortes de diversos tamanhos de materiais
Outros	Falta de um plano de gestão de resíduos

Fonte: Nagalli (2014, p.44)

É fundamental distinguir entre perda e desperdício. As perdas são causadas pelo uso indevido de materiais de construção, que podem ser resultado de tecnologia insuficiente, como materiais que não atendem às especificações e não podem ser transportados ou instalados. O desperdício corresponde ao mau planejamento no processo de aquisição de materiais; nesse processo, o número de serviços obtidos excede o número necessário para a execução do serviço, resultando em desperdício. Com isso, os resíduos de construção abrangem todos os tipos de materiais provenientes de canteiros de obras

perdidos e abandonados, tornando-os inconvenientes para construtores e demolidores (Nagalli, 2014).

As perdas materiais na construção civil estão relacionadas à primeira fase do projeto, que muitas vezes é o momento em que os empreiteiros avaliam a quantidade de material que será utilizado e, posteriormente, executado na obra (Fernandes, 2018).

3. PAVIMENTAÇÃO

A norma ABNT NBR-7207 estabelece que pavimento é uma estrutura pós-terraplenagem projetada para suportar e distribuir as forças verticais do tráfego na estrada, a fim de melhorar a tração, o conforto e a segurança, bem como a resistência às tensões horizontais que afetam a superfície de tração (ABNT, 1982).

Segundo Trichês (2014), um pavimento é uma estrutura duradoura composta por camadas compactadas de diversos materiais que são adequadas para a gestão estrutural e operacional do tráfego de forma sustentável e econômica, levando em consideração os vários horizontes de serviços necessários, como prevenção, reparação e reabilitação. Nesse sentido, segundo Cosentino (2016), um pavimento deve absorver, clarificar e transmitir cargas para camadas inferiores, que normalmente são menos resistentes. Todos os componentes do pavimento devem funcionar com deformações compatíveis com sua natureza e capacidade de carga, ou seja, os materiais que compõem as camadas do pavimento devem ser resistentes a fissuras e danos involuntários.

Segundo Almeida (2013), a construção de pavimentos é uma atividade que visa melhorar a infraestrutura rodoviária, independentemente da sua origem, através da criação de uma superfície mais uniforme e adesiva. Esta melhoria nas condições das estradas leva a um maior conforto e segurança para os viajantes. De acordo com Teixeira (2018), o asfalto é composto principalmente por camadas de "cobertura" e "solo". A presença de uma camada de concreto é capaz de absorver efetivamente a maior parte da carga aplicada, distribuindo-a de maneira uniforme em uma extensa superfície. Quando uma carga atinge o subleito ou o terreno onde a passarela está localizada, ocorre uma avaliação adequada de impacto. Devido à maior flexibilidade do concreto laje em comparação com revestimentos betuminosos, já que as pressões exercidas sobre esta fundação são significativamente reduzidas.

Neste sentido, quando se trata de resistência, a qualidade exigida não necessita de ser tão elevada como a que caracteriza a fundação. Segundo as notas de Almeida (2013)

acerca dos princípios essenciais do pavimento, no contexto de pavimentos rígidos, o coeficiente de amortecimento da camada subjacente ao pavimento exerce uma influência específica nas expressões que se manifestam no concreto devido ao tráfego veicular. O pavimento flexível é constituído por múltiplas camadas que operam de forma sinérgica cada camada absorve uma fração da carga aplicada e transmite o restante para a camada subjacente. O revestimento é composto por uma combinação de material betuminoso e agregado. A principal função deste material é impermeabilizar a base, evitando a infiltração de água na superfície e protegendo-a da abrasão e dispersão de cargas causadas pelo tráfego.

Ao pavimentar uma área, você deve primeiro determinar qual tipo de material de pavimentação produziria os resultados mais eficientes com base em pesquisas. Analisar a área e o ambiente envolvente para determinar a resistência que o pavimento deve ter e se pode suportar o desgaste ao longo do tempo (Dezordi; Vieira; Sausen, 2017).

O sistema de pavimentação é composto por quatro componentes principais: reforço asfáltico, base, reforço de sub-base e reforço de sub-base. Dependendo do volume de tráfego, do tipo de tráfego, da capacidade existente e da vida útil do projeto, o revestimento poderá consistir em uma camada de carga e camadas intermediárias ou de ligação. Porém, na maioria dos casos, uma única camada de massa asfáltica é utilizada como revestimento (Lima, 2013).

A área da fundação onde serão apoiadas todas as estacas é conhecida como sub-fundação. É fundamental examinar e analisar a sola até uma profundidade significativa afetada pelo tráfego, variando de 0,60 a 1,50 m (Sipres, 2019). Armadura de fundação é uma camada integrante do pavimento com espessura transversal constante e variável espessura longitudinal relacionada à dimensão do pavimento. Após a sua regularização, a fundação é reforçada e tem como função melhorar a sua qualidade e manter a espessura da fundação (Nascimento, 2019).

Substrato é a camada que completa a fundação. É utilizado quando não é recomendado fazer a base diretamente na armadura da camada. Normalmente utilizado para ajustar a largura da base. Para uma fundação grande com mais de 30 centímetros de vão, a melhor opção é dividir a camada em duas metades de materiais diferentes. A camada superior é a base e a camada inferior é o substrato. Em termos de comportamento mecânico, ambos conseguem apenas comprimir, e neste caso, existe um piso realmente flexível (Nagalli, 2020).

4. ELEMENTOS DA PAVIMENTAÇÃO

O termo “asfalto” pode ser definido como uma mistura de hidrocarbonetos de petróleo obtidos por destilação ou de ocorrência natural, tendo como principal componente o betume, que também pode conter vestígios de oxigênio, nitrogênio e enxofre. O betume é uma composição densa de hidrocarbonetos que apresenta características de aglutinação, inflamabilidade e alta especificidade.

No contexto brasileiro, é comum a utilização dos termos “betume” e “asfalto” de maneira intercambiável. A principal função do asfalto em pavimentos é facilitar a adesão entre os agregados da mistura e entre a mistura e a superfície sobre a qual será aplicada, formando uma camada ligante. Além disso, é responsável por garantir a flexibilidade adequada do pavimento rodoviário, a fim de resistir ao tráfego e às condições climáticas sem deformações ou fissuras precoces que comprometam a durabilidade da infraestrutura (Brasileiro; Matos, 2015).

No Brasil, o asfalto é empregado em quase 99% das estradas pavimentadas (CNT, 2017). Essa contribuição acarreta um custo significativo, resultando no aumento dos gastos relacionados à construção e à manutenção de estradas. Atualmente, o Centro de Aproveitamento de Produtos (CAP) integra em sua composição materiais como pneus e borrachas provenientes do processo industrial de fabricação de calçados. Vários países desenvolveram tecnologia para incorporação de borracha em revestimentos asfálticos, com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas das misturas asfálticas e mitigar a poluição ambiental causada pelo crescimento insuficiente de sedimentos na natureza (Silva et al., 2021).

O betume é derivado da destilação de determinados tipos de petróleo, dos quais as frações mais leves (gasolina, diesel e querosene) são retiradas durante o processo de refino. Como consequência dessa técnica, o produto adquiriu a denominação de Asfalto (CAP). À temperatura ambiente, apresentam estado semissólido e necessitam de aquecimento para atingir a consistência desejada para aplicação. A composição conhecida como CAP é constituída predominantemente por hidrocarbonetos, representando cerca de 90 a 95% de sua composição total. Além disso, apresenta uma proporção de 5 a 10% de heteroátomos, tais como oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais como vanádio, níquel, ferro, magnésio e cálcio. Esses heteroátomos estão ligados aos hidrocarbonetos por meio de ligações covalentes. Todas as características físicas do betume estão intrinsecamente

ligadas à sua temperatura. O modelo estrutural de um ligante, caracterizado como uma dispersão de moléculas polares em um meio apolar, contribui para a compreensão do impacto da temperatura em ligantes asfálticos.

Segundo Bernucci et al. (2007), em temperaturas muito baixas, as moléculas não conseguem se mover umas em relação às outras e a viscosidade é muito alta. Neste cenário, o asfalto comporta-se quase como um sólido. Conforme a temperatura se eleva, ocorre o aumento da alteração molecular, podendo resultar até mesmo em um fluxo entre as moléculas. O aumento do movimento diminui a viscosidade e faz com que o ligante se comporte como um líquido em altas temperaturas. A reversibilidade desta transição é observada.

Um dos critérios mais utilizados para classificação de ligantes é a avaliação de sua suscetibilidade térmica por meio de um teste específico que mede sua consistência ou viscosidade em diversas temperaturas. Como resultado, todos os testes para determinar as propriedades físicas dos ligantes asfálticos são realizados em uma temperatura específica, e alguns deles também determinam o tempo e a velocidade de deslocamento, porque o asfalto é um material termoelástico (Bernucci et al., 2007).

Segundo Nakamura (2011), uma mistura asfáltica a quente pode ser utilizada tanto em aplicações de baixo volume como de alto tráfego, atendendo aos requisitos em ambos os casos. Essas misturas podem ser classificadas de acordo com a quantidade de ingredientes e peso. O concreto asfáltico denso apresenta uma curva contínua e estruturada de forma a proporcionar uma composição vazia.

O concreto asfáltico de alta densidade é amplamente empregado como a mistura asfáltica predominantemente do território brasileiro. No entanto, devido à diversidade da teoria do ligante asfáltico, a presença excessiva ou insuficiente de ligante pode resultar em complicações relacionadas à deformação permanente e à diminuição da resistência, o que pode ocasionar deformações e fissuras (Nakamura, 2011).

4.1 USO DE RESÍDUOS NA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA

Areias, pedregulhos, rochas e outros elementos de natureza artificial são categorizados como agregados, uma vez que são comumente caracterizados por sua inércia. Quando usados na fabricação de camas de subsolo e subleito, essas estruturas são construídas utilizando-se de materiais como sola, cascalho, escória de alto-forno ou uma combinação desses elementos (Lima, 2013).

Segundo Bernucci et al. (2012), os agregados utilizados em pavimentos asfálticos devem possuir propriedades que possam suportar as tensões exercidas pelo pavimento. Os autores citam ainda que as propriedades funcionais desse aditivo estão diretamente relacionadas à forma como são combinados; nesse sentido, enfatiza-se a importância do ligante asfáltico. Nesse sentido, é necessário que a camada de base e a subestrutura apresentem essa característica, com uma distribuição uniforme de partículas, e que essas camadas sejam flexíveis, estabilizadas por meio da compactação de um material com tamanho de partículas protetoras, utilizando indicadores geotécnicos precisos (Silva et al. 2021).

De acordo com a NBR 10.004 - ABNT (2004a), a classificação de resíduos únicos determina a existência de relação entre a composição dos resíduos e as listas de resíduos e substâncias cujos efeitos à saúde e ao meio ambiente são conhecidos. Esta norma divide os resíduos em dois grupos: a) Perigosos; b) Não-perigosos; A Classe II é dividida em dois subgrupos: Sem neutros na Classe IIA; neutros na Classe IIB.

A composição dos resíduos de construção varia significativamente de local para local, dependendo da especificidade de cada região, cultura, técnicas construtivas e materiais disponíveis. Segundo Silva e cols. (2021), a maioria desses resíduos no Brasil consiste em materiais inertes e recicláveis, como argamassa, concreto, agregada pétreos e cerâmica. Segundo Carneiro et al. (2001), uma das abordagens mais comumente seguidas para a sua conclusão envolveu a utilização de agregados de resíduos de construção recuperados na cave e na subestrutura da cave, resultando em inúmeros benefícios econômicos e ambientais.

Segundo Fernandes(2015), do ponto de vista técnico, o uso de agregados reciclados é uma ótima opção para pavimentação por se tratar de um material não plástico. Nesta perspectiva, pode ser utilizado em áreas onde não há água; é um material com pouca ou nenhuma expansão, o que o torna perfeito para camadas de base e subestrutura. Também pode ser usado para reduzir a plasticidade do solo. Os resíduos de pneus são um conhecido perigo ambiental que, pela sua natureza (tamanho, forma e composição físico-química), não são passíveis de recolha convencional e são classificados como resíduos especiais (Leite; Damasceno; Alvim, 2018). A grande quantidade de resíduos gerados pela indústria da borracha está estimulando mais pesquisas sobre reciclagem e reutilização de resíduos.

Leal (2018) também cita um grande número de estudos sobre a adição desses materiais ao aglutinante asfáltico e os benefícios que ocorrem, como aumento da

ductilidade, melhor adesão entre o aglutinante e o agregado e resistência ao intemperismo. Dessa forma, a adição de borracha de pneus utilizada no asfalto para gerar misturas asfálticas contribui para o adequado aproveitamento final desses resíduos sólidos (Thives et al., 2013). Quando grânulos de borracha pneumática são adicionados ao asfalto, este adquire novas propriedades, dando origem ao termo “asfalto borracha”. Além do benefício ambiental, a adição de borracha pneumática ao asfalto tem como objetivo melhorar as propriedades térmicas e de ductilidade do ligante.

A adição desta modificação melhora a superfície, tornando esta aplicação mais apelativa tecnicamente. Almeida (2013) descreve pedras de pavimentação. O objetivo deste procedimento é empregar menos materiais na criação de uma superfície recuperada. Segundo Fernandes (2018), a renovação por reciclagem envolve a reaproveitamento total ou parcial de uma camada existente, formando uma nova mistura no processo de mistura e adição de novos materiais, com o objetivo de reaplicar uma camada específica para tolerar diferentes condições ambientais. Além de apoiar o trabalho do movimento. A reutilização de resíduos de construção está obviamente ligada a um menor impacto ambiental devido à eliminação inadequada, bem como à menor utilização de matérias-primas naturais.

Segundo Mota (2014), a utilização de resíduos Classe A em pavimentos é o método de reciclagem mais simples e antigo do Brasil. Utilizar o entulho como material para a preparação do substrato, fundação e revestimento primário do piso, feito em forma de brita ou mistura de resíduos e solo. Suas vantagens são as seguintes: redução do uso de tecnologia e custos de processo; aproveitamento de todos os componentes minerais do entulho; e maior aproveitamento do entulho produzido. Segundo Bagatini (2016), como solução de disposição final, esses materiais rejeitados podem ser adicionados aos agregados utilizados no subsolo e subestrutura de estradas pavimentadas e devem passar por um processo de pré-seleção para evitar a mistura de materiais de qualidade inferior, o que poderia impactar a viabilidade e o desempenho do edifício.

5. USO DOS RESÍDUOS CLASSE A NA PAVIMENTAÇÃO

Os aditivos mais comumente usados em camadas de base e sub-base consistem em pó de pedra e brita, os quais são materiais de origem natural. No entanto, é importante ressaltar que a utilização desses aditivos acarreta um aumento no custo do pavimento, além de não promover a utilização de materiais reciclados. Uma alternativa viável

consistiria em substituir o material natural primário por resíduos da construção civil classificados como classe A. De acordo com a Resolução Conama nº 307, de 5 de julho de 2002, que estabelece diretrizes e critérios para o gerenciamento de resíduos de construção e demolição, exemplos dos resíduos classe A incluem tijolos, blocos, telecomunicações, concreto e placas de reparo (Fernandes, 2015).

Segundo Vieira e Rezende (2015), a utilização de resíduos classe A na pavimentação é a forma mais fácil de reciclar no Brasil. Com a utilização do entulho como material para a preparação de base, sub-base e pavimentação primária, que é feita na forma de brita corrida ou por misturas de resíduos sólidos. Suas principais vantagens são menor utilização de tecnologia e custo de processo. Aproveitamento de todos os componentes minerais do entulho (tijolo, argamassa, areia, pedras, cerâmicas); maior aproveitamento do entulho produzido: Estrutura de concreto e métodos de acabamento na construção de alvenaria. A questão do reaproveitamento de resíduos na construção civil ainda é relativamente nova e pode levar algum tempo para se tornar mais comum em nossa sociedade, tornando-se crítica para implementação no processo de redução de resíduos em locais apropriados ou em nosso próprio quintal (Nagalli, 2014).

5.1 BENEFÍCIOS DO APROVEITAMENTO DO RESÍDUO DE CLASSE A

Nos últimos vinte anos, foi comprovada a possibilidade de utilização dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) reciclados nas camadas de base, sub-base e reforço de subleito para pavimentos (Nagalli, 2014). O incentivo para o desenvolvimento de técnicas de reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCC) como material para pavimentação decorre dos custos elevados e da demanda crescente por materiais naturais. Nos Estados Unidos, o agregado reciclado geralmente possui um custo médio cerca de 40% menor em comparação com a brita graduada simples. Esta economia tem estimulado órgãos e empresas de construção a substituir materiais naturais por materiais reciclados (Scarpato, 2017). Devido à variabilidade na composição, os agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil apresentam características comportamentais distintas em comparação aos materiais naturais convencionais utilizados na construção de pavimentos (Nascimento; Barreto, 2019).

As propriedades físicas dos agregados reciclados apresentam distinções notáveis em relação aos agregados naturais. Por exemplo, a porosidade do material em questão é considerada elevada, o que ocasiona taxas significativas de absorção de água. Consequentemente, ao utilizar materiais produzidos por usinas de reciclagem na

construção de pavimentos, vários aspectos complementares de projeto e execução devem ser analisados. Devido à falta de consistência nas características do material fornecido, podem ser possíveis alterações no projeto durante sua execução. Isso enfatiza a importância de um controle tecnológico adequado, especialmente quando se trata de materiais reciclados (Sipres, 2019).

A durabilidade do agregado reciclado durante a vida útil do pavimento é um tema que suscita inúmeras questões. Por conseguinte, diversas entidades responsáveis pela regulamentação do emprego desse material na pavimentação não autorizam ou impõem restrições quanto à sua utilização em camadas de base. É de suma importância adquirir conhecimento sobre as especificações e normas vigentes para a concepção e utilização de agregados reciclados, a fim de garantir a conformidade com as recomendações e limites estabelecidos (Sipres, 2019).

Para Nascimento (2019) a reciclagem de pavimentos asfálticos pode servir a dois propósitos distintos: sua aplicação como concreto asfáltico novo ou sua aplicação como material granular para camadas de base ou sub-base. A aplicação como componente da camada asfáltica pode ocorrer por meio da utilização de uma usina fixa ou por meio de máquinas recicladas móveis, conforme ilustrado a seguir:

a) Reciclagem a quente em uma usina: A reciclagem a quente visa reciclar o RAP para uso como concreto asfáltico. Durante o procedimento, uma porção ou a totalidade da camada asfáltica é removida por fresagem e o material resultante é transportado para uma usina de mistura a quente. Na usina, o RAP (Recycled Asphalt Pavement) é combinado com novos agregados e betume aquecido. O processo ocorre de maneira semelhante à produção de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).

b) Reciclagem a quente in situ: O objetivo deste tipo de reciclagem é o mesmo da reciclagem a quente numa fábrica; no entanto, a atividade ocorre inteiramente no local. O procedimento consiste no aquecimento do pavimento por meio da emissão de raios infravermelhos, seguido da escarificação de parte ou de toda a camada asfáltica. O material é posteriormente combinado com novos agregados e betume aquecido, e, portanto, aplicado sem a necessidade de ser direcionado a uma usina de mistura.

O foco deste estudo é a reciclagem do revestimento asfáltico para ser utilizado como camada granular. Portanto, daremos maior ênfase à sua caracterização. No presente contexto, não é necessário proceder ao aquecimento do material, sendo assim referido como reciclagem a frio. O processamento pode ocorrer no local (in situ) ou em uma usina, assim como uma reciclagem a quente. A utilização do RAP pode ser pura ou com adição

de agregados virgens na composição da camada. A Administração Rodoviária Federal (FHWA) recomenda a utilização de no máximo 40% de pavimento asfáltico recuperado (RAP) para garantir desempenho mecânico satisfatório da camada reciclada (Fernandes, 2015).

De acordo com a agência americana, pesquisas realizadas com materiais reciclados produziram resultados de California Bearing Ratio (CBR) que excedem significativamente os requisitos para fundação e sub-base do pavimento, comprovando assim a eficácia da reciclagem a frio. Não que diz respeito à inclusão de aditivos na composição, como asfalto espumado, emulsão asfáltica ou cimento, a decisão de incorporá-los dependerá das especificações do projeto, não sendo, portanto, um requisito obrigatório (Dezordi; Vieira; Sausen, 2017).

Uma outra característica da reciclagem do pavimento para ser utilizada como camada granular reside na aplicação de emprego não somente a camada de concreto asfáltico, mas também uma porção da camada de base. O processo de reciclagem utilizado para este aproveitamento é conhecido como Full Depth Reclamation (FDR). De acordo com Medeiros (2018), é aconselhável aplicar uma camada superficial de concreto asfáltico após o processo de reciclagem a frio, a fim de proteger a camada reciclada.

A composição dos resíduos de construção depende das características específicas de cada região, como técnicas construtivas e matérias-primas disponíveis. No contexto brasileiro, a maioria dos resíduos consiste em materiais inertes e recicláveis, tais como resíduos de argamassa, concreto, agregados minerais e materiais cerâmicos. Segundo Matsuda (2018), a reciclagem de resíduos de construção e demolição não só mitiga os impactos ambientais causados pelo seu descarte, mas também permite que uma quantidade substancial de materiais seja reaproveitada de forma racional, transformando um produto anteriormente descartado em uma matéria-prima de alta qualidade. Para Medeiros (2018) a utilização de agregados reciclados de resíduos de construção e demolição (RCD) tem vindo a expandir-se, com casos mais recentes de aplicações de materiais em camadas de pavimentos não tratados.

De acordo com Silva (2021), no contexto brasileiro, a quantidade de resíduos provenientes da construção civil é estimada em aproximadamente 68,5 milhões de toneladas por ano. Considerando que parcela significativa desses resíduos é direcionada para aterros inertes, os custos para disposição final aumentam devido à falta de espaço disponível para tais práticas, intensificando assim a necessidade de reaproveitamento para alcançar o equilíbrio econômico e sustentável.

Teixeira (2018), como solução de disposição final, esses materiais descartados podem ser incorporados aos agregados utilizados nas camadas de base e sub-base dos pavimentos rodoviários. Porém, é necessário que passem por um processo de seleção prévio para evitar a mistura de materiais de qualidade inferior que possam interferir na vida útil e no bom funcionamento do pavimento.

De acordo com Martins (2015), no contexto brasileiro, a quantidade de resíduos provenientes da construção civil é estimada em aproximadamente 68,5 milhões de toneladas por ano. Considerando que parcela significativa desses resíduos é direcionada para aterros inertes, os custos para disposição final aumentam devido à falta de espaço disponível para tais práticas, intensificando assim a necessidade de reaproveitamento para alcançar o equilíbrio econômico e sustentável

Como solução de disposição final, esses materiais descartados podem ser incorporados aos agregados utilizados nas camadas de base e sub-base dos pavimentos rodoviários. Porém, é necessário que passem por um processo de seleção prévio para evitar a mistura de materiais de qualidade inferior que possam interferir na vida útil e no bom funcionamento do pavimento (Lima, 2013).

O argumentam que o aproveitamento adequado desses resíduos traz benefícios em todas as áreas, pois além de proporcionar um destino final adequado aos resíduos, melhora a qualidade do pavimento em comparação aos métodos convencionais. Portanto, é necessário realizar pesquisas com o objetivo de aplicar esses resíduos de maneira mais abrangente, para alcançar a melhor relação entre custo e benefício, bem como a composição adequada.

6. CONCLUSÃO

Conseqüentemente, o artigo de revisão destaca a necessidade e urgência de reutilizar resíduos de construção e demolição devido ao seu significativo potencial na produção de agregados reciclados. Esta abordagem mitiga eficazmente a acumulação de tais resíduos em aterros ilegais e aterros regulamentados, uma vez que a proporção substancial destes materiais no total de resíduos sólidos urbanos necessita de extensas áreas para eliminação final.

A utilização do resíduo da Classe A na pavimentação emerge como uma estratégia inovadora e sustentável no âmbito da gestão de resíduos e construção civil. Esta prática não apenas contribui para a minimização dos impactos ambientais associados ao descarte

inadequado de resíduos, mas também apresenta potenciais benefícios econômicos e técnicos para a indústria da construção e a sociedade como um todo.

Ao longo deste estudo, observamos que a aplicação de resíduos de Classe A, provenientes de demolições controladas e de construções, na pavimentação de vias demonstrou ser uma alternativa viável e eficiente. A incorporação desses materiais não apenas reduz a quantidade de resíduos destinados a aterros, mas também diminui a demanda por recursos naturais, promovendo, assim, a economia circular e a gestão sustentável dos recursos.

Além dos benefícios ambientais, a utilização do resíduo da Classe A na pavimentação oferece vantagens técnicas. Estudos indicam que esses materiais podem contribuir para a melhoria das propriedades mecânicas do pavimento, como resistência à compressão e durabilidade. Isso sugere que a adoção dessa prática pode resultar em pavimentos mais resilientes e de maior vida útil, reduzindo a necessidade de manutenção e reparos frequentes.

Conclui-se que a utilização do resíduo da Classe A na pavimentação representa uma estratégia promissora para a sustentabilidade na construção civil. Esta prática não apenas contribui para a redução do impacto ambiental, mas também oferece vantagens técnicas e econômicas. Contudo, a implementação bem-sucedida requer a colaboração entre os setores público e privado, a adoção de práticas responsáveis e o cumprimento de normativas específicas, a fim de garantir que essa abordagem inovadora alcance seu potencial máximo de benefícios para a sociedade e o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7207/1982:** Terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro, 1982.

ALMEIDA, Adosindro Joaquim de. **A importância da mistura asfáltica com a aplicação de aditivos com módulos e fadiga.** - Florianópolis, SC, 2013. 261p. Dissertação (mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

BAGATINI, Felipe. **O uso de Resíduos de construção civil tendo como base o material para base e sub-base dentro do processo de pavimentação de vias urbanas.** Porto Alegre, 2011. 72pg. Trabalho de Conclusão de Curso, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BERNUCCI, L. L. B. ; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira ; SOARES, Jorge Barbosa. **Processo de pavimentação asfáltica tendo como base a formação básica para a engenharia.** 2a Edição. Rio de Janeiro: Petrobras: Abeda, 2012.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. **Protocolo de reutilização de resíduos com a construção e demolição dentro da indústria na área da construção civil.** Universidade Federal do Piauí, Teresina, PI. Revista Cerâmica, São Paulo, v. 61, no.358, p. 178-189. 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES - CNT, **Transporte rodoviário: por que os pavimentos do Brasil não duram?.** Brasília: CNT ,2017. Disponível em: <https://cnt.org.br/por-que-pavimentos-rodovias-nao-duram>. Acesso em: 03 nov. 2023.

COSENTINO, Livia Tavares. **Uma análise abrangente da sustentabilidade na indústria da construção civil: a teoria à aplicação no contexto mercadológico.** 9 f. Artigo. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

DEZORDI, Ana Paula da Rosa; VIEIRA, Euselia Paveglio; SAUSEN, Jorge Oneide. **O presente estudo aborda o impacto dos custos ambientais associados aos resíduos gerados na indústria da construção civil.**XXIV Congresso Brasileiro de Custos – Florianópolis, SC, 15 - 17 nov. 2017.

FERNANDES, Bruna Cristina Mirandola. **Aproveitamento de resíduos de construção e demolição (RCD) como agregado para concreto.** 2015. 68 f. Monografia (Especialização) -Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário de Formiga –Unifor - MG, Formiga, 2015.

FERNANDES, Graziella Quint. **Resíduos de construção e demolição: uma análise do tema e da situação no município de Florianópolis.**25f. Artigo. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

LEAL, Cleber Eduardo Fernandes. **Estudo de viabilidade de incorporação de agregado reciclado em pavimento de concreto intertravado: uma avaliação técnica.** São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2018.

LEITE, Izabella Caroline de Almeida; DAMASCENO, João Luís Corrêa; REIS, Alexandre Magrineli dos; ALVIM, Mariana. **Gestão de resíduos no setor da construção: um estudo em Belo Horizonte e região metropolitana.** Revista Eletrônica de Engenharia Civil. v. 14 –nº 1, p, 159-175. 2018.

LIMA, Francisco Mariano da Rocha de Souza. **A implantação da mineração urbana no Brasil: reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) e produção de agregados.** 2013. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo. São Paulo, 2013.

MARTINS, Adriana. **O presente estudo aborda uma análise dos resíduos provenientes da construção civil de classe A do município de Ilha Solteira, localizado no estado de São Paulo.** 2015. 49f.Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

MATSUDA, Aline Sayuri Maeda. **A relação entre a implementação da metodologia de construção enxuta e a promoção da sustentabilidade para a redução de resíduos sólidos na indústria da construção civil.** 20 f. Artigo. Unicesumar, Maringá, 2018.

MEDEIROS, Rennan. **O presente estudo tem como objetivo analisar a influência das características da cinza nas propriedades do concreto em seu estado fresco e duradouro. Para isso, será proposto um método simplificado utilizando argamassa como material.** 2018. 249 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2018.

NAGALLI, A. O protocolo de **Gerenciamento de Resíduos Sólidos na Construção Civil.** 1ª ed. São Paulo: Oficina de Texto, 176 p., 2014.

NASCIMENTO, José Antônio Sena do; BARRETO, Renata da costa. **Mineração urbana de lixo eletrônico: perspectivas baseadas na aplicação de objetivos de desenvolvimento sustentável.**Rio de Janeiro, CETEM/MCTIC, 2019.

SCARPATO, Ismael de Prá. Piucco, Yago Barcelo. **A Pesquisa de Campo Relacionada à Resolução 307 Do Conama no Município de Tubarão/SC Regardos Resíduos Sólidos na Construção Civil.** 2017. 46 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2017.

SCHLINDWEIN, Bruna Brock. Rosa, Maria Eduarda. **Gerenciamento de Resíduos de Entulhos de Construção e Demolição em Florianópolis, Santa Catarina: Um Estudo de Caso.** 2017. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Do Sul de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

SILVA, Amanda Helena Marcandali. **Utilização modificada com polímero para avaliar o desempenho de estradas que foram revestidas com uma camada de reciclagem de asfalto quente.** São Paulo, 2011. 143pg. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

SILVA, Cássia et al. **Experimento de Dosagem de Concreto Convencional a partir de Resíduos Sólidos da Construção Civil.** 2021. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Una, Catalão, 2021.

SIPRES, Clarice. **A presente análise aborda a utilização de resíduos de construção e demolição (RCD) como matéria-prima na produção de concreto seco destinada à fabricação de pisos intertravados.** 2019. 66 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

TEIXEIRA, Wagner, et al. **A utilização de cal para estabilizar um solo de lodo arenoso proveniente da Formação Guabirotuba com o objetivo de torná-lo adequado para pavimentação.** XIX Congresso Brasileiro de mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica. Geotecnia e Desenvolvimento Urbano. Salvador, BA, Brasil, 28 de Agosto a 01 de Setembro de 2018.

TRICHÊS, Glicério. **Pavimentação de Estradas – ECV 5154. 2014-a, semestre 1.** Departamento de Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, disciplina ministrada em 2014.

VIEIRA, Eriton Geraldo; REZENDE, Elcio Nacur. **Exploração Mineral de Areia e um Meio Ambiente Ecologicamente Equilibrado: É possível conciliar?.**Sustentabilidade em Debate, Brasília, v. 6, n. 2, p. 171-192, maio/ago 2015.
