



Utilização de Escória de Aciaria na Sub-base e Base de Pavimentos Flexíveis no Loteamento Parque Santa Tereza

Deisiane Arlinda Rodrigues¹, Emerson Dutra da Rocha², Fábio Vinícius Fideliz³, Larissa Duarte Alves Barbosa⁴, Matheus Lucas Moreira Lana⁵, Samara Aparecida Miranda⁶, William Samuel Leandro⁷.

deisiane.arlindarodrigues@hotmail.com
emersondutra.desenhos@gmail.com
fabiofideliz2024@gmail.com
duarte_lala@hotmail.com
matheuslana2@outlook.com
samaramiranda150317@gmail.com
williamsamuel.eng@outlook.com

Professora orientadora: Sheila Leal Oliveira Loureiro
Coorientador: Alex Dalton Teixeira Alves

Resumo

O objetivo deste artigo, é ressaltar a empregabilidade e benefícios da escória de aciaria em camadas de pavimentos flexíveis. O presente estudo foi baseado em pesquisas e fontes bibliográficas, seguindo as normas ABNT NBR 16364:2015 Execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente com agregado siderúrgico para pavimentação rodoviária e DNER EM 262/94 - Escórias de aciaria para pavimentos rodoviários. A escória desempenha um papel fundamental, competindo principalmente com agregados como areia e brita. Destacamos que, a escória de aciaria, subproduto da produção de aço, composta por óxidos de cálcio, silício, alumínio e magnésio, o que a torna um material com propriedades cimentícias, e apresenta um potencial significativo para ser empregada eficientemente em camadas de pavimentação. Além disso, a utilização deste agregado na construção de pavimentos flexíveis traz benefícios ambientais, uma vez que reduz a quantidade de resíduos gerados pela indústria siderúrgica e diminui a necessidade de recursos naturais. No processo de implementação, a sequência começa com o planejamento, seguido pela terraplenagem. Posteriormente, realiza-se a preparação da base e sub-base, seguida pela mistura asfáltica e lançamento. Concluindo, efetua-se a compressão final. Um acompanhamento pós-implementação é essencial para avaliar o desempenho a longo prazo e efetuar ajustes necessários.

Palavras-chave: Escória de aciaria. Pavimentação. Subproduto. Sustentabilidade. Sub-base.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Bernucci *et. al.* (2022), desde os primórdios da sociedade humana a pavimentação esteve presente, sendo fundamental para a interligação entre as regiões. Nesse contexto, é possível evidenciar a existência de construções de vias pavimentadas desde as

civilizações antigas, tendo como o registro mais antigo as estradas construídas com pedras e tijolos na região da antiga Suméria, que datam por volta de 4000 a.C. Portanto, é inegável que o desenvolvimento humano foi beneficiado graças aos avanços da engenharia nesse setor (Souza, Santana e Pinheiro, 2022).

De acordo com Sousa (2023), pavimentos são estruturas construídas por meio de obras de terraplanagem, constituídas por camadas de diversos materiais, cujo intuito é aumentar a capacidade de suporte do solo. Assim sendo, o objetivo principal das obras pavimentadas é fornecer conforto e segurança aos usuários das vias. Sob a ótica da engenharia, esses benefícios devem ser fornecidos buscando a excelência em qualidade com o menor custo econômico (Santana, 1993 *apud* Marques, 2012).

Conforme descrito no Manual de Pavimentação do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2006), a partir de meados do século XX houve troca de conhecimento a respeito da construção de pavimentos entre o Brasil e os Estados Unidos, o que possibilitou avanço do setor. Por conseguinte, houve a necessidade de padronização normativa dos métodos construtivos resultando na criação em 1960 da primeira edição do Manual de Pavimentação, sendo os pavimentos classificados em rígidos, semirrígidos e flexíveis.

Atualmente, a malha rodoviária brasileira representa cerca de 58% dos transportes do país (Schmidt, 2011). Diante disso, em documento publicado pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) em 2017, é incontestável a importância da pavimentação para a sociedade, especialmente para o crescimento econômico do país. Entretanto, conforme pesquisa divulgada pelo CNT (Confederação Nacional do Transporte) em 2021, o Brasil possui 1.720.909,0 km de rodovias, porém apenas 12,4% são pavimentadas. Por mais, é válido evidenciar o crescimento contínuo da frota de veículos no país, implicando num maior desgaste da infraestrutura rodoviária brasileira. Por outro lado, os investimentos na expansão e melhoria das rodovias não seguiram a mesma linha de crescimento (CNT, 2021).

Vale ressaltar, ainda, que os danos ao meio ambiente provenientes da extração de recursos têm aumentado significativamente, elevando a notoriedade das questões ambientais, as quais se tornam cada vez mais proeminentes (Ribeiro, Moura, Pirote, 2016 *apud* Nunes, 2019). Nesse âmbito, na engenharia civil, o foco está na reutilização de materiais que, de outra forma, seriam descartados, buscando estabelecer uma gestão sustentável. Deste modo, a aplicação de novas matérias-primas torna-se atrativa, viabilizando o reaproveitamento dos resíduos da construção civil ao transformá-los em agregados para camadas de sub-base e base da pavimentação (Kist et.al., 2017 *apud* Almeida *et.al.*, 2020).

Na indústria siderúrgica, as escórias são os principais resíduos gerados, sua função é capturar e separar as impurezas do processo de produção do aço, mantendo-as distintas dos metais (Baltazar, 1995). A escória proveniente da siderurgia é um coproduto da produção de aço e do ferro que é produzida a partir do aquecimento em fornos, formado por reações de combustão em elevadas temperaturas (Tsakirids *et al.*,2008). Conforme Pedrosa (2010) trata em seu trabalho, esses materiais possuem propriedades mecânicas que podem ser utilizadas na construção civil e em áreas de pavimentação rodoviária desde que sejam devidamente tratadas.

Diante do supracitado, o presente trabalho tem intuito de realizar um estudo de caso a respeito da utilização de escória de aciaria como material alternativo em camadas de base e sub-bases de pavimentos flexíveis. Portanto, será analisada a aplicação desse método em áreas residenciais no bairro Santa Tereza em Conselheiro Lafaiete - MG, listando as vantagens e desvantagens desse método construtivo.

2. DESENVOLVIMENTO

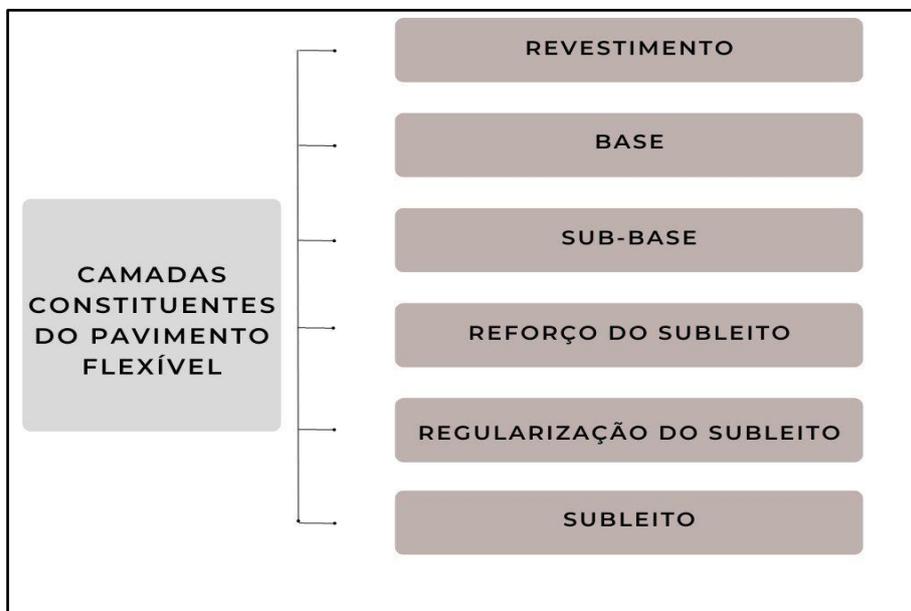
Os pavimentos são um componente crucial da infraestrutura viária, desempenhando um papel fundamental na mobilidade, segurança e economia. Sua concepção, construção e manutenção são essenciais para garantir o funcionamento eficiente das redes de transporte e a qualidade de vida das comunidades (Bitencourt, 2023). Nesse contexto, é incontestável que os pavimentos são compostos por diversas camadas, as quais possuem a função de distribuir as cargas empregadas para o solo, evitando gerar deformações na estrutura (Palharini, Souza, 2022; Rodrigues, 2011).

2.1 Camadas dos Pavimentos Asfálticos

De acordo com a dissertação de mestrado de Rodrigues (2011), os pavimentos constituem-se em múltiplas camadas de materiais granulares. Começando com o subleito, que é o nível mais profundo da estrutura, formado pelo solo natural, podendo ser adicionada, quando necessário, uma camada de reforço. A sub-base segue, configurada por material granular, cujo propósito é de suporte e drenagem da pavimentação. Posteriormente, vem a base, que é composta por material resistente para distribuir cargas e aumentar a estabilidade. A camada de ligação vem em seguida, utilizando mistura asfáltica grossa para garantir resistência estrutural, e para finalizar é disposta a camada de desgaste, que é a superfície superior, lisa e visível,

produzida de mistura asfáltica fina (DNIT, 2006). A figura 1, apresenta de forma simplificada a estrutura dos pavimentos flexíveis.

Figura 1 – Fluxograma da estrutura do pavimento flexível



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Os pavimentos possuem diversos níveis que são construídos para resistir às diversas cargas ao longo da vida útil da estrutura, sem que os danos ultrapassem os limites aceitáveis (DNIT, 2006 *apud* NETO, 2020). À vista disso, para realizar um dimensionamento eficaz de uma estrutura de pavimento, é essencial possuir um profundo entendimento das propriedades dos materiais que a compõem, abrangendo sua resistência à ruptura, permeabilidade e capacidade de deformação em resposta às cargas repetitivas e às variações climáticas (Vassoler; Chong; Specht, 2011 *apud* Vieira, 2020).

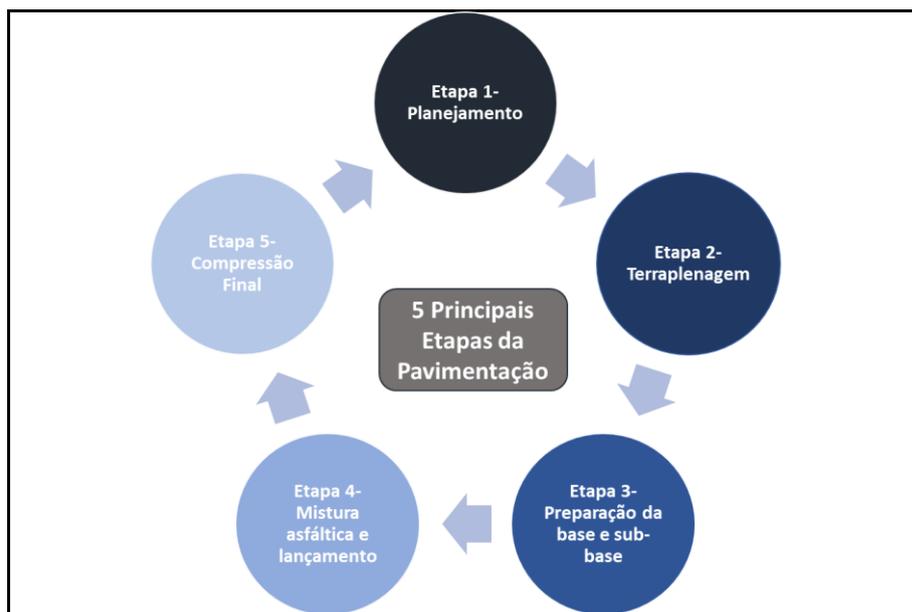
Por meio dos processos construtivos, é possível definir que as obras de pavimentos têm início a partir da elaboração do projeto executivo, que é a fase destinada à idealização de um produto ou serviço (Berresaneti; Assumpção; Nakao, 2014).

2.2 Processo Construtivo da Pavimentação

Conforme descrito por Oliveira *et.al* (2022), o processo inicia-se com a obtenção de informações sobre as propriedades do solo, a topografia do terreno, volume de tráfego, linhas de serviços públicos, entre outros pontos essenciais. Para o devido dimensionamento de uma infraestrutura de pavimentação é seguido as orientações descritas no DNIT (2006). Portanto, é

requerido que o profissional projetista possua um profundo entendimento das propriedades dos materiais e das etapas do processo construtivo que compõem, abrangendo sua resistência à ruptura, permeabilidade e capacidade de deformação em resposta às cargas repetitivas e às variações climáticas (Gomes, Silva, Quirino; 2020). Na figura 2 é esquematizado todas as etapas de pavimentação viária.

Figura 2 - Etapas de pavimentação de uma via



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023)

A operação em campo é iniciada, nesse estágio o terreno passa por processo de terraplenagem, realizando cortes e aterros de pontos específicos determinados em projeto. Sendo assim, vale destacar que essa preparação objetiva limpar a superfície onde serão aplicadas as camadas da pavimentação, sendo denominada como subleito (Oliveira *et.al.*, 2022). Além disso, nesta etapa é realizado o ensaio CBR (Califórnia Bearing Ratio) no solo, seguindo as orientações descritas da norma ABNT NBR 9895:2017, visando determinar o grau de resistência. Portanto, a partir dos dados obtidos é possível avaliar a aplicação ou não de uma camada de reforço no subleito (Oliveira *et.al.*, 2022).

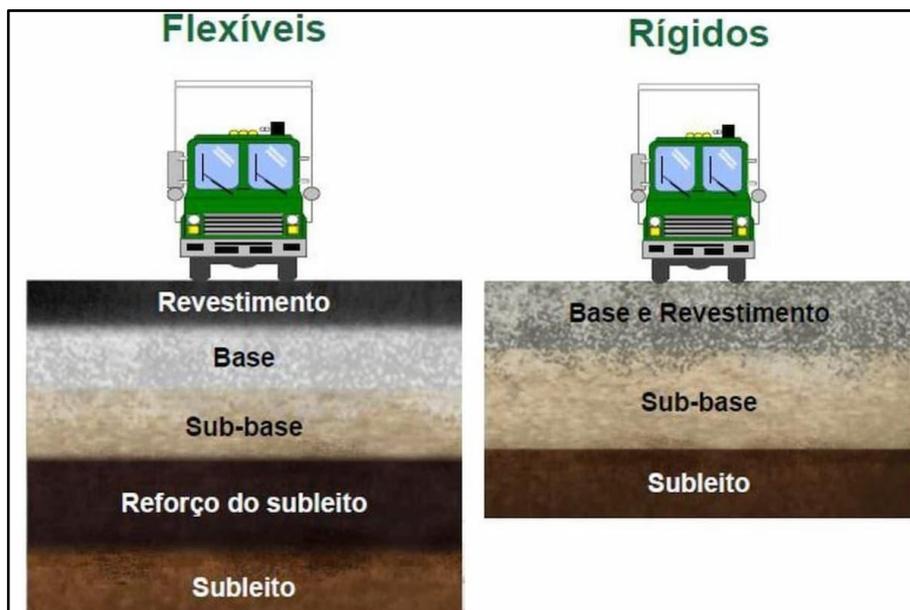
Ainda de acordo com Oliveira *et.al.* (2022), após a preparação do subleito, é iniciada a etapa da construção da sub-base e base, que consiste no lançamento de material e compactação do solo. Nesse ponto, são seguidas as orientações da norma ABNT NBR 7182:2016, que normatiza o controle do grau de compactação do solo, a partir da execução do ensaio de compactação pelo método de Proctor.

Em seguida, é lançado as misturas asfálticas no local, esta etapa visa fornecer trafegabilidade com maior conforto e segurança aos usuários (Neto, 2020). Por último, é realizada a compactação do asfalto, cujo propósito é reduzir o índice de vazios, essa operação é realizada com o uso de rolos compactadores lisos (Oliveira *et. al.*, 2022). Por mais, é válido ressaltar que, como citado por Palharini e Sousa (2022), as estruturas dos pavimentos podem ser classificadas como rígidas ou flexíveis.

2.3 Estruturas dos Pavimentos

As estruturas de pavimentos apresentam sistemas de camadas que se sustentam em uma base, nomeada como subleito. O desempenho estrutural dessas estruturas é influenciado pela espessura de cada camada, sua rigidez, a condição do subleito e a interação entre os diversos níveis do pavimento (Bernucci, 2008 *apud* Pereira, 2020), conforme ilustrado na figura 3.

Figura 3 – Estrutura dos diferentes tipos de pavimento



Fonte: Master Plate (2023)

É possível concluir que em um dos extremos dessa classificação, encontram-se estruturas de pavimentos flexíveis, enquanto no outro extremo estão as estruturas de pavimentos rígidos, conforme destacado por Bernucci *et al.* (2018).

2.3.1 Pavimentos Rígidos

De acordo com a monografia apresentada por Pereira (2019), os pavimentos rígidos são estruturas de pavimentação construídas com placas de concreto que possuem custo elevado, porém com maior vida útil e com raras manutenções. Por mais, é importante destacar que esse método é aplicado normalmente em áreas que possuem tráfego intenso e de veículos pesados. Entretanto, é válido ressaltar que quando reparos são solicitados são custosos, visto que, é necessário realizar a substituição da placa de concreto por inteira.

Nesse contexto, é importante destacar que diferentemente das pavimentações flexíveis, as rígidas possuem a característica de absorver maior parte das cargas provenientes do tráfego de veículos, ou seja, as forças exercidas são transmitidas em menor quantidade para as camadas inferiores (DNIT, 2006). Por mais, em conformidade com Pereira (2019) os pavimentos rígidos são comumente utilizados na construção de pistas de aeroportos, estradas, avenidas e corredores de ônibus. Todavia, apesar das diversas vantagens das estruturas rígidas, conforme dados divulgados pelo CNT (2017) mais de 99% da malha rodoviária brasileira são construídas utilizando pavimentações flexíveis.

2.3.2 Pavimentos Flexíveis

As estruturas de pavimentos flexíveis segundo Balbo (2007), são planejadas para absorver e transmitir as forças aplicadas em sua superfície para as camadas inferiores do pavimento. Por mais, de acordo com Viana (2019), os pavimentos flexíveis são caracterizados quando a camada de revestimento é disposta por uma mistura composta de agregados e ligantes asfálticos betuminosos. Estes ligantes, derivados da destilação do petróleo, desempenham um papel fundamental nas características do asfalto, sendo os principais responsáveis por conferir as propriedades de adesão termo viscoelástica, impermeabilidade à água e baixa reatividade.

Por mais, ainda conforme Viana (2019), os pavimentos flexíveis dependem de manutenções mais frequentes, porém, devido a consolidação técnica que possui é amplamente utilizada. Como detalhado por Silva e Alcantara da Silva (2021) existem diversas vantagens associadas à aplicação de pavimentos flexíveis. Uma vez que, possui maior capacidade de aderência das sinalizações viárias devido à sua textura áspera, além de representar uma alternativa economicamente vantajosa e ecologicamente responsável em comparação com o pavimento rígido.

Na norma ABNT NBR 12265:1992 Sub-base ou base de solo-brita - Procedimento, destaca que para a construção de pavimentações duráveis é necessária atenção quanto à granulometria dos agregados utilizados nas obras. Uma vez que, devem ser selecionadas com base em suas propriedades físicas, de modo a resistir às cargas e tensões impostas pelo tráfego (Ibarra, 2003 *apud* Santos, 2018). Nesse critério, a escolha é realizada com base em ensaios laboratoriais que atestam o comportamento desses materiais, garantindo a estabilidade, durabilidade, permeabilidade, entre outros aspectos da mistura de agregados (Bernucci *et. al.*, 2008)

2.4 Agregados

Conforme indicado por Ambrozewicz (2012), um agregado é um material granular que não possui uma forma ou volume definido e, em geral, apresenta atividade química inerte. Esses materiais possuem propriedades apropriadas para a produção de misturas, como o concreto asfáltico. Além disso, considerando seu custo relativamente baixo, é importante destacar que os agregados compõem pelo menos três quartos do volume total em uma mistura de concreto, portanto, a qualidade dos agregados é de extrema importância.

Para que um agregado seja adequado para uso em projetos de pavimentação, é necessário que apresente uma série de características específicas. Essas características incluem uma distribuição granulométrica uniforme, uma forma rugosa e angularidade moderada, baixa taxa de absorção de água, resistência garantida a impactos e ao desgaste, durabilidade, ausência de impurezas e uma boa aderência ao ligante, conforme indicado por Pinto (2019).

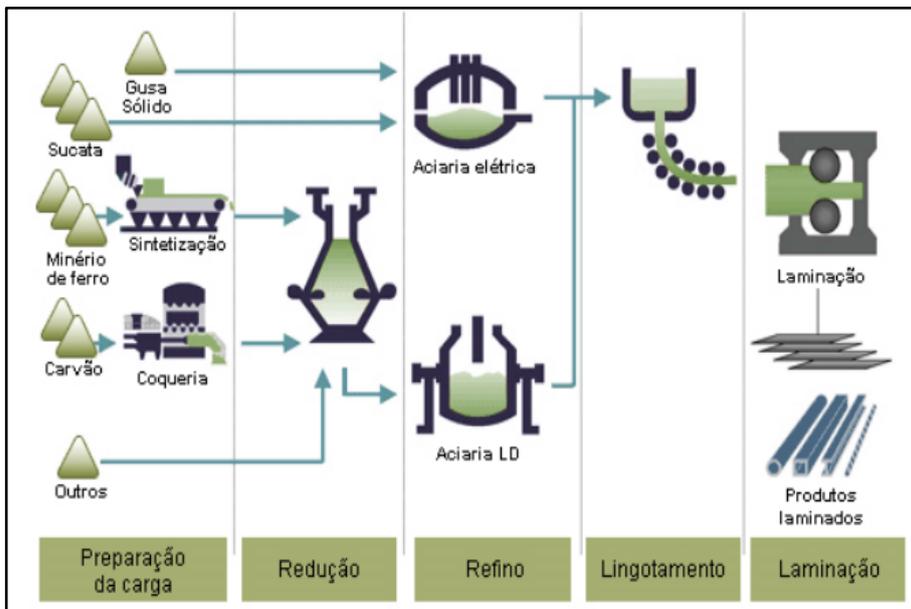
Outro tipo de agregado utilizado em pavimentação são os de origem siderúrgicas, que segundo a definição de Ramos (2016), é um material formado por óxidos e silicatos, resultante do processo de beneficiamento da produção de aço.

2.4.1 Produção do aço

A produção do aço é um processo complexo e por isso demanda da utilização de diversos equipamentos sofisticados, tem início a partir da matéria-prima, que pode ser sucata ou minério de ferro. A partir dessa etapa, as matérias-primas são dispostas em alto-fornos para produzir ferro gusa, ou seja, é um processo utilizado para derreter o material até virar metal líquido. Após a obtenção do ferro gusa, é realizado o processo de lingotamento, que consiste em solidificar o material por meio de equipamento, formando blocos e lingotes de aços, cujo

objetivo é a formação dos produtos acabados, como por exemplo os vergalhões, tubos, chapas, entre outros (Instituto Aço Brasil, 2018). A figura 4 ilustra todo o fluxo de produção do aço, em especial a separação das escórias de alto-forno e aciaria dos demais metais finalizados.

Figura 4 - Fluxo simplificado da produção do aço



Fonte: Instituto Aço Brasil (2020)

Segundo o relatório de sustentabilidade de 2020, do Instituto Aço Brasil (IABR), mais de 90% dos subprodutos e resíduos provenientes da produção de aço são submetidos a processos de reaproveitamento. A tabela 1 a seguir, apresenta a aplicabilidade dos agregados siderúrgicos em diferentes setores.

Tabela 1 - Aplicação dos agregados siderúrgicos de aciaria e outros resíduos.

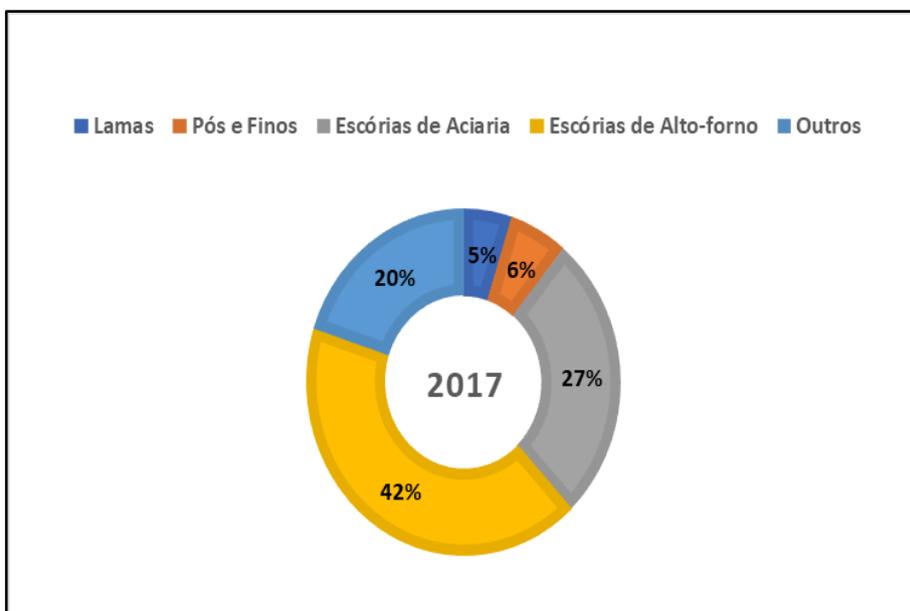
Aplicação dos agregados siderúrgicos de aciaria e outros resíduos	2018	2019	2020
Base e sub-base de estrada	44%	71%	78%
Nivelamento de terreno	39%	16%	8%
Outros	12%	10%	11%
Uso agrônômico	4%	3%	3%
Agregados de concreto	1%	1%	1%

Fonte: Relatório de sustentabilidade do Instituto Aço Brasil (2020).

Os dados foram retirados do relatório de sustentabilidade 2020, do Instituto Aço Brasil (IABR), sendo assim, é possível afirmar que nos últimos anos a utilização dos agregados siderúrgicos na pavimentação de vias, como revestimento primário, base e sub-bases cresceu consideravelmente.

Por mais, como descrito por Costa (2017), é importante pontuar que na produção de aço, é gerada uma quantidade significativa de resíduos, estima-se que seja entre 450 a 500 quilogramas por tonelada de aço bruto produzido. Ademais, o autor destaca que desta quantidade total de resíduos, as escórias representam mais de 70% no mundo, a figura 5 demonstra o cenário no Brasil.

Figura 5 - Geração de resíduos siderúrgicos por tipo



Fonte: Adaptado do Instituto Aço Brasil (2018)

Nota-se que no Brasil essa proporção é de 69%, ou seja, bem similar ao contexto mundial, sendo 27% de aciaria e 42% alto-forno, respectivamente (Instituto Aço Brasil, 2018). Os resíduos gerados durante a fabricação do aço, podem ser utilizados como uma alternativa à matéria-prima em substituição a outros materiais, incluindo um dos subprodutos mais significativos na produção de aço, que é a escória, conforme indicado por Brito (2018). Portanto, de acordo com Silva, Barbosa e Silva (2021), existem duas categorias principais de escórias siderúrgicas produzidas em grande quantidade, as de alto-forno e as de aciaria.

2.4.2 Escória de Alto forno

A escória de alto-forno é gerada a partir da combinação das impurezas dos componentes da fabricação do ferro-gusa, ou seja, é o resíduo químico formado com parte do minério de ferro, cinzas do carvão, entre outros (Pimentel *et.al.*, 2017). Na figura 6 é possível visualizar o estoque deste agregado siderúrgico.

Figura 6 - Estoque de Escória de Alto Forno



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023)

Destaca-se que a escória de alto-forno constitui o subproduto do processo siderúrgico, cuja fase inicial envolve a obtenção de ferro bruto e impuro (ferro-gusa) mediante a redução do minério de ferro. Em contrapartida, a escória proveniente da aciaria é gerada durante a fabricação do aço, utilizando o ferro-gusa, em um processo que demanda um menor nível de impurezas (Prado, Fernandes, Natale, 2001).

2.4.3 Escória de Aciaria

As escórias de aciarias são produzidas durante a conversão do ferro-gusa em aço (Silva, Barbosa e Silva, 2021). Por mais, atualmente existem diversos métodos de produção de aço,

logo, a variedade de resíduos gerados é ampla (Rohde, 2002). Conforme a figura 7, observa-se o estoque desse material.

Figura 7 - Estoque de Escória de Aciaria



Fonte: Elaborado pelos Autores (2023)

O uso desse agregado siderúrgico, se estende desde a base e sub-base até revestimentos asfálticos diversos, incluindo tratamentos superficiais, pré-misturas a frio e concretos asfálticos. Contudo, é importante destacar que existe um ponto de atenção relativa às escórias de aciaria, que é em relação a possibilidade à expansão que esse material possui. Nesse caso, para a utilização na pavimentação, alguns tratamentos específicos são necessários, visando reduzir esse potencial expansivo, geralmente mais concentrado nas frações mais finas. Diante a exposição ao clima e umedecimento nas pilhas de estoques é uma prática comum, com o propósito de minimizar esse aspecto (Rocha, 2011).

A norma ABNT NBR 16364:2015 Execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente com agregado siderúrgico para pavimentação rodoviária – Procedimento, estabelece diretrizes para o uso da escória de aciaria, ou agregado siderúrgico, principalmente em base e sub-base apresentando diversas vantagens e desvantagens.

2.5 Utilização da escória de aciaria em camadas de base e sub-base de pavimentação flexível

A escória resultante do processo siderúrgico pode passar por diferentes métodos de resfriamento, sendo o mais comum o resfriamento lento ao ar, o que permite a solidificação e cristalização da escória. Outra abordagem é o resfriamento rápido por meio de jatos de água sob alta pressão, evitando a cristalização e resultando em uma estrutura amorfa, o que caracteriza o processo conhecido como granulação, conforme apontado por Brito (2018).

De acordo com Santos (2013) e com Silva, Barbosa e Silva (2021), países como o Brasil, Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, França, Alemanha, Itália, Japão e Coreia do Sul já incorporaram a escória siderúrgica em sub-bases e bases de pavimentação asfáltica como uma alternativa aos agregados naturais, como cascalho e areia de rio. Além disso, a partir dos estudos experimentais realizados por Izoton (2020), pode-se afirmar que a incorporação de escória de aciaria em pavimentos asfálticos apresenta desempenho equivalente ou superior quando comparada aos agregados convencionais.

No contexto da pavimentação, a escória compete diretamente com materiais como areia e brita, destacando-se por suas propriedades vantajosas, incluindo dureza, durabilidade e capacidade de tração eficiente (Silva, Barbosa e Silva, 2021). Além disso, segundo Resende (2010), sua notável resistência ao esmagamento representa um fator de grande relevância tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, permitindo seu uso por longos períodos com mínima necessidade de manutenção. No Brasil, a implementação da escória em estruturas de pavimentação possui uma longa trajetória, com trechos construídos há mais de duas décadas, como evidenciado por Rohde (2002).

Freitas *et al.* (2008), destaca que uma das preocupações relacionadas à escória na construção de pavimentos é sua aptidão à expansão, a qual é influenciada pelo teor de CaO e MgO em sua composição. Nesse contexto, muitos países empregam a escória de aciaria em suas estradas, mas problemas, como o surgimento de trincas devido à expansão volumétrica da escória, foram relatados (Cardoso *et al.*, 2014). Diante dessas considerações, o uso da escória em projetos rodoviários é restrito a obras de menor complexidade técnica, conforme apontado por Silva, Barbosa e Silva (2021).

2.5.1 Expansibilidade das escórias de aciaria

Uma das principais preocupações relacionadas à aplicação da escória de aciaria em obras de pavimentação e aterro é a sua tendência à expansão. Essas soluções expansivas podem

tornar seu uso problemático, uma vez que a presença de certos compostos na escória pode gerar questões internas, resultando em fissuras e fraturas do material quando utilizado como agregado alternativo em pavimentos, conforme indicado por Lutif (2020).

Costa (2017) enfatiza que a hidratação dos compostos livres de CaO e MgO é o principal fator responsável por esse processo, tanto a curto quanto a longo prazo. O aumento na concentração de cal (Ca (OH)₂) na escória siderúrgica está diretamente relacionado ao aumento da expansão, juntamente com o aumento da temperatura, a presença de matéria em estado livre e outros fatores menores, como a corrosão do ferro metálico.

O método mais comum para mitigar essa desvantagem é o processo de "tratamento" realizado no pátio, no qual ela é umedecida com água, tanto natural quanto aquecida, com a intenção de hidratar os componentes instáveis, conforme explicado por Rohde (2002). De acordo com as diretrizes do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), a escória deve ser exposta ao ar livre por, no mínimo, seis meses. Após esse período, é necessário avaliar suas propriedades expansivas antes de aplicá-las em qualquer contexto, as vantagens da escória da aciaria residem na sua ampla gama de aplicações, tanto dentro do processo siderúrgico quanto em outras operações, conforme destacado pela ArcelorMittal Brasil (2015).

2.5.2 Vantagens

Conforme descrito por Oliveira *et.al.* (2018), a escória de aciaria oferece diversas vantagens devido às suas especificidades, sendo aplicável em uma ampla variedade de contextos, tanto dentro do processo siderúrgico quanto em outros setores. Diante disso, as principais aplicações desse tipo de agregado siderúrgico incluem o uso para camadas de base e sub-base rodoviária, em lastros ferroviários, em artefatos de concreto, em cobertura de pátios de estoque, entre diversas outras aplicabilidades (ArcelorMittal, 2015 *apud* Oliveira *et.al.*, 2018).

Resende (2010) em sua dissertação de mestrado, enfatiza diversas vantagens que corrobora com a ideia de utilizar escória de aciaria na constituição da pavimentação. Nesse contexto, o autor destaca a alta capacidade de resistir ao desgaste, resistência em relação ao desgaste em solução de sulfato de magnésio, ausência de matéria orgânica, possui maiores módulos de elasticidade e de capacidade de suporte - como é possível verificar através dos ensaios de CBR. Por mais, pelo fato de os grãos de escória possuírem formatos cúbicos, o material confere consistência e adesividade notáveis às misturas asfálticas, proporcionando

camadas que são mais eficientes. Além disso, quando comparada com a utilização de materiais convencionais, as escórias possuem maior capacidade de suporte após compactadas.

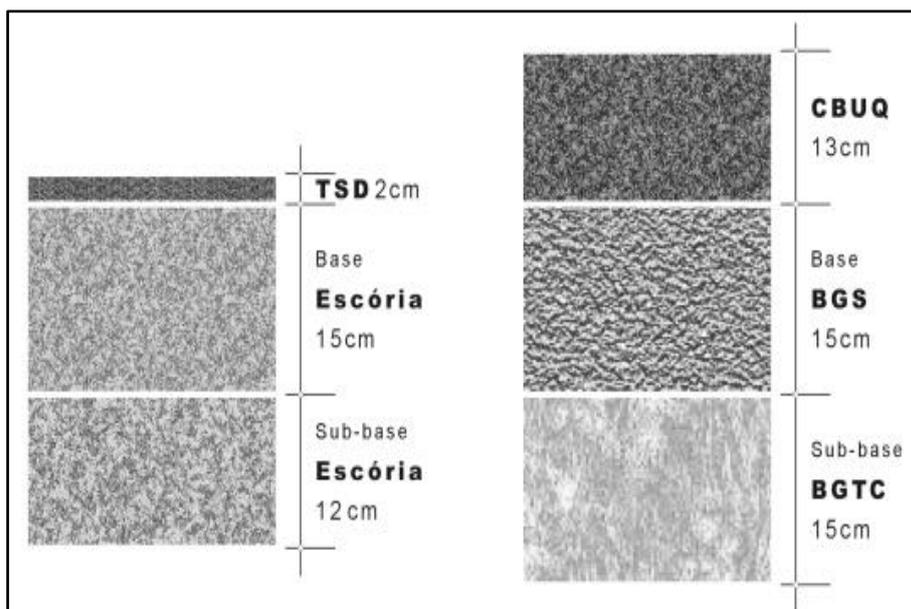
Além dos benefícios técnicos listados acima, a escória destaca-se pela alta disponibilidade no mercado, com custo relativamente baixo e principalmente pela contribuição da redução dos impactos ambientais. Uma vez que, a sua transformação em coproduto, contribui para evitar a extração e exploração de jazidas existentes reduzindo o desperdício de resíduos siderúrgicos (Silva, Barbosa e Silva, 2021; Resende, 2010).

Em concordância com o supracitado, Parente, Boavista e Soares (2003) afirmam que as escórias de aciaria possuem o custo de aquisição 4 vezes menor em relação aos agregados tradicionais.

Ademais, conforme Oliveira *et.al.* (2018), quando as escórias são tratadas como rejeitos do processo de produção do aço, gera problemas ambientais e econômicos. Contudo, para Resende (2010), o seu uso em outros setores é fundamental, pois minimiza os impactos negativos do material nos pátios das siderúrgicas.

Outro fator importante, que contribui significativamente com as vantagens de utilização das escórias na pavimentação, é a maior durabilidade da obra, uma vez que, sofrem menos com as deteriorações sob a ação do tráfego. A partir dessa característica, abre possibilidade para a redução das espessuras das camadas conforme demonstrado na figura 8, (Resende, 2010).

Figura 8 - Estruturas dos pavimentos



Fonte: Rohde (2002)

Entretanto, apesar de diversas vantagens as escórias possuem alguns pontos negativos que demandam atenção para a sua implementação em pavimentos. Portanto, na utilização é fundamental que haja estudos e testes, objetivando avaliar as suas propriedades mecânicas (Resende, 2010).

2.5.3 Desvantagens

Diante dos estudos de diversos autores, a principal desvantagem da utilização das escórias como agregado é devido a sua expansibilidade, essa característica é devido a presenças de CaO e MgO em sua composição (Resende, 2010; Parente, Boavista e Soares, 2003; Izoton, 2020; Schumacher, 2018; Boldrini e Pacheco, 2021). No entanto, esse potencial expansivo pode ser reduzido a níveis aceitáveis, através do processo de cura, realizando a ação de hidratar o material por meio da irrigação das pilhas, essa etapa demanda um período de 3 a 6 meses (Parente, Boavista e Soares, 2003).

Conforme evidenciado por Resende (2010), é comum as indústrias siderúrgicas se concentrarem em regiões próximas às minas de extração de minério de ferro, e portanto, restringe a disponibilidade dos agregados siderúrgicos a apenas algumas regiões no país. Diante desse ponto, gera uma desvantagem em relação às distâncias que se devem percorrer para substituir os agregados das pavimentações.

A realização de testes de caracterização física é fundamental para a obtenção de uma compreensão detalhada das propriedades da escória proveniente da aciaria. Isso possibilita o desenvolvimento de procedimentos e normas para a utilização desse resíduo siderúrgico na construção de lastros ferroviários (PACHECO, 2006).

2.6 Referência Normativa

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) regula e normatiza a execução e classificação de diversos tópicos importantes para todas as áreas (Faculdade Laboro, 2021). No âmbito da engenharia, em especial nas obras de pavimentação com a utilização de escórias de aciaria nas camadas de base e sub-base, os profissionais possuem à disposição a norma ABNT NBR 16364:2015.

Visando caracterizar e conhecer as propriedades dos solos, algumas das normas utilizadas são a ABNT NBR 6457:2016 Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização, ABNT NBR 7182:2016 Solo — Ensaio de

compactação e a ABNT NBR 9895:2016 Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio. Por mais, as normas ABNT NBR 10004:2004 Resíduos sólidos - Classificação e ABNT NBR 10006:2004 Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos são fundamentais, pois classificam os resíduos sólidos, em relação aos potenciais riscos à saúde e ao meio ambiente, com o propósito de normatizar o gerenciamento dos materiais de forma adequada.

Ademais, é importante destacar que o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) é encarregado pelo desenvolvimento e supervisão da aplicação das normas pertinentes à pavimentação no Brasil (DNIT, 2013). Portanto, a partir da norma DNIT ES 115/2009 é definidos os procedimentos para a aplicação de escória de aciaria nas camadas de base e sub-base da pavimentação.

Por fim, é válido ressaltar que o extinto Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), sob a atual gestão do DNIT, estabeleceu duas importantes normas sobre o tema discutido, sendo a DNER EM 262/94 - Escorias de aciaria para pavimentos rodoviários e a DNER EM 263/94 - Emprego de Escorias de aciaria em pavimentos rodoviários.

3. METODOLOGIA

De acordo com a definição de Silva (2015), o conhecimento científico não emerge de retorno inicial ou da primeira imagem que se apresenta, mas sim da investigação do que está oculto e desconhecido por meio de pesquisas científicas. Além disso, o autor esclarece que os elementos característicos do conhecimento científico incluem fatos verdadeiros que podem ser corroborados por meio de métodos sistemáticos e normalizados, juntamente com a organização criteriosa das informações.

Partindo da concepção de que método é um procedimento ou caminho para alcançar determinado fim e que a finalidade da ciência é a busca do conhecimento, podemos dizer que o método científico é um conjunto de procedimentos adotados com o propósito de atingir o conhecimento (Prodanov; Freitas, 2013, p. 24).⁷

Conforme descrito por Cooper e Schindler (2016), a pesquisa aplicada foca na resolução prática de problemas e concentra-se na busca de respostas relacionadas a ações, desempenho e tomada de decisões específicas. Por mais, em seu trabalho Fleury e Werlang (2017) define como sendo o estudo capaz de gerar impacto, ou seja, é o tipo de estudo que o conhecimento de um assunto é utilizado para coletar dados e fatos, objetivando confirmar e avaliar os resultados.

Diante do conceito apresentado, a presente investigação científica é classificada quanto ao tipo de aplicada, uma vez que busca investigar a aplicação dos requisitos mínimos necessários para a utilização de escórias de aciaria como material alternativo em camadas de base e sub-base de pavimentos flexíveis. O objetivo é enriquecer o conhecimento e promover uma abordagem crítica na execução de projetos de construção, sempre considerando as adaptações necessárias para aprimorar o empreendimento.

Quanto a natureza da pesquisa se classifica como qualitativa, concentra-se na dimensão da realidade que não pode ser expressa em termos quantitativos, abordando o domínio de significados, motivações, aspirações, crenças, valores e atitudes (Minayo, 2014). Portanto, o presente trabalho tem viés qualitativo, pois busca conhecer a aplicação da escória de aciaria em camadas de base e sub-base em áreas residenciais.

Quanto aos meios, essa pesquisa pode ser categorizada como bibliográfica e análise e coleta de dados, onde o seu objetivo é informar ao leitor sobre o uso da escória de aciaria na pavimentação e divulgar mais sobre o uso dela para esse fim, e, estudo de caso que se fundamenta na aplicação de pesquisa em empreendimentos de interesse social na área de pavimentação urbana com a utilização de escória. Assim possibilitando um conhecimento profundo e detalhado sobre esse material com suas vantagens e desvantagens.

A pesquisa bibliográfica, de maneira geral, abrange um conjunto de informações compiladas em diversas formas de publicações. Seu objetivo fundamental é orientar o leitor na investigação de um tema específico, fornecendo conhecimento. Ela se apoia em vários procedimentos metodológicos, que vão desde a leitura até técnicas de fichamento, organização, arquivamento e resumo de textos.

A pesquisa explicativa reside na identificação dos fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência de fenômenos. Trata-se do tipo de pesquisa que proporciona uma compreensão mais aprofundada da realidade, uma vez que se dedica a explicar a razão e o porquê das coisas (Gil, 2007).

Quanto aos fins esta pesquisa segue uma abordagem explicativa com o objetivo de aprofundar a compreensão do uso da escória de aciaria na sub-base e base em pavimentos flexíveis. A estratégia metodológica adotada visa explicar as vantagens e desvantagens da utilização da escória de aciaria os fatores que determinam ou contribuem para a eficácia

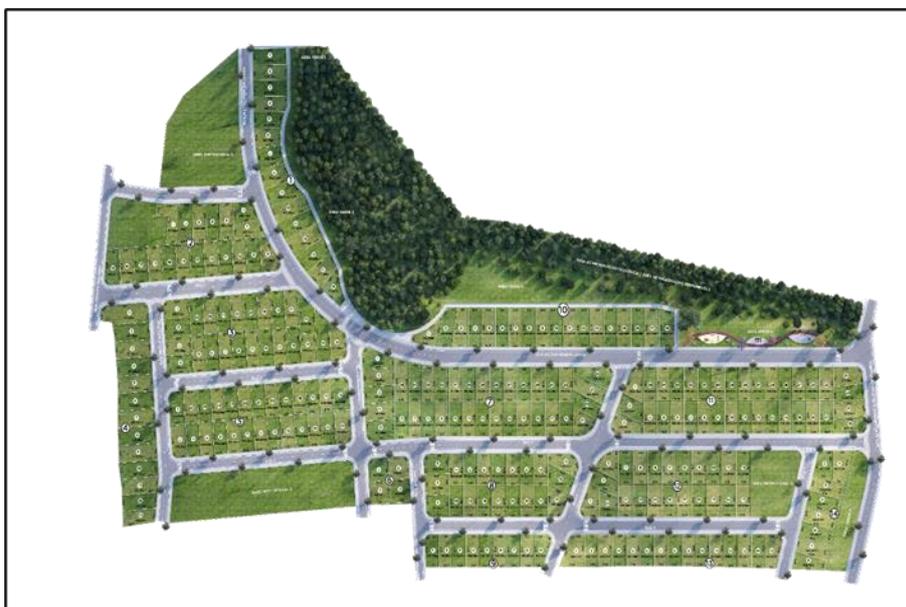
Conforme Marconi e Lakatos (2003), o universo ou população consiste no conjunto de seres, sejam eles animados ou inanimados, que compartilham pelo menos uma característica em comum. O universo desta pesquisa é o bairro residencial Parque Santa Tereza localizado no

município de Conselheiro Lafaiete em Minas Gerais, e a amostra é o empreendimento que utilizou a escória da aciaria na sub-base e base para confecção do pavimento flexível.

No que diz respeito à técnica de coleta de dados, empregou-se uma pesquisa documental, a qual se vale de fontes secundárias para extrair informações secundárias disponíveis em arquivos, como editoriais, leis, atas, listas, correspondências, documentos escritos, entre outros (Baptista; Campos, 2018; Rampazzo, 2015). De acordo com (Rampazzo 2015), uma pesquisa documental oferece vantagens significativas, sobretudo por ser uma fonte de dados rica e estável. Não apenas contribui para a resolução definitiva de um problema, mas também fornece uma compreensão mais aprofundada.

O terreno proposto para a pesquisa, possui uma área de aproximadamente 169.109,00 m², sendo 20.994,80 m² área de preservação permanente, áreas institucionais de nº 01 a 03, com 13.069,93m² sendo que o loteamento é composto de 14 (catorze) quadras identificadas como de nº 01 a nº 14, totalizando 263 (duzentos e sessenta e três) unidades lotes, definidos na Lei de Uso e Ocupação do solo do município (Decreto nº700, 2020), conforme figura 9.

Figura 9 - Master Plan



Fonte: Santos Imóveis (2023)

Está integrado na área urbana de Conselheiro Lafaiete no estado de Minas Gerais, em limites com os bairros Santa Matilde, Sion, São João e Nossa Senhora da Guia. Foi aprovado pelo Decreto nº 700, de 04 de novembro de 2020 e pela comissão de avaliação de imóveis que analisa aprovação de loteamentos, nomeando através da Portaria nº 1.996/2020 que aprova o loteamento convencional aberto “Parque Santa Tereza”. Com base na planta situada, pode-se

identificar o projeto desenvolvido, inclusive das vias que foram criadas para o tráfego local do loteamento, conforme figura 10.

Figura 10 – Planta do Loteamento Parque Santa Tereza



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizada a pavimentação da área. Utilizando materiais modernos para garantir uma superfície protegida e segura, melhorando a infraestrutura local. O objetivo foi proporcionar uma área mais acessível e esteticamente agradável, atendendo a padrões de qualidade e funcionalidade, conforme figura 11.

Figura 11 – Loteamento Parque Santa Tereza



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Após a conclusão do projeto, deu-se início à fase subsequente, que engloba as atividades de terraplenagem na abertura de ruas. Essa abertura não trouxe apenas forma física ao projeto, mas também envolveu a necessidade de infraestrutura para a acessibilidade e circulação na localidade. Essa etapa, visa preparar e modelar o terreno de maneira meticulosa, garantindo as condições ideais para a implementação das infraestruturas posteriores, conforme figura 12.

Figura 12 – Terraplenagem no Loteamento Parque Santa Tereza



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

O próximo passo após a abertura e concordância das ruas, é a preparação do subleito. A execução do subleito envolveu a compactação e nivelamento do solo, estabelecendo uma base sólida e resistente para a infraestrutura viável que viria a seguir. Essa fase representa um passo significativo no processo de construção, contribuindo para a durabilidade e estabilidade de toda a estrutura do empreendimento.

Posterior a conclusão da execução do subleito, iniciou-se o processo de regularização dessa importante camada de infraestrutura. A regularização incluiu a correção de eventuais irregularidades, garantindo uma superfície uniforme e estável para a subsequente construção da via, conforme figura 13.

Figura 13 – Execução do subleito do Loteamento Parque Santa Tereza



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Depois de concluir a etapa de subleito, avançou para a execução da sub-base e base, utilizando escória de aciaria. O início dessa etapa deu-se com o despejamento do material ao longo das vias facilitando o espalhamento do mesmo, conforme figura 14.

Figura 14 – Despejamento do material no Loteamento Parque Santa Tereza



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Em continuidade, espalhou-se a escória de aciaria fornecendo uma solução eficiente e sustentável, contribuindo para a resistência e durabilidade das camadas inferiores da via. Essa escolha de material não apenas atende a padrões de qualidade, mas também demonstra um compromisso com práticas construtivas conscientes e ambientalmente responsáveis, conforme figura 15.

Figura 15 – Espalhamento do material no Loteamento Parque Santa Tereza



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Após a dispersão da escória, o próximo passo envolve o processo de umedecimento. O processo de molhar a escória após o seu espalhamento como base e sub-base é uma prática fundamental no desenvolvimento da pavimentação. Essa umidificação tem diversos propósitos cruciais para o sucesso da compactação subsequente.

Ao molhar o material antes da compactação, garantiu-se que a umidade fosse distribuída de maneira uniforme, promovendo uma compactação mais duradoura. Esse processo contribuiu para a formação de uma base e sub-base mais densa e benéfica, capaz de suportar as cargas impostas pelo tráfego. Além disso, a umidificação auxilia na redução da emissão de poeira, criando condições mais seguras e de segurança para os trabalhadores e minimizando impactos ambientais, conforme figura 16.

Figura 16 – Umedecimento do material no Loteamento Parque Santa Tereza



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Mediante a umectação da escória, o próximo passo foi o processo de compactação, seguindo estritamente as normas estabelecidas pelo DNIT (2006), que pede a espessura mínima da base e sub-base, conforme figura 17.

Figura 17 – Escória compactada no Loteamento Parque Santa Tereza



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Uma vez concluída a compactação, inicia-se o estágio de imprimação. Esse processo envolveu a aplicação de uma camada de ligante asfáltico sobre a base preparada, criando uma superfície aderente para a camada asfáltica subsequente, conforme a figura 18.

Figura 18 – Imprimação no Loteamento Parque Santa Tereza



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Depois da aplicação da imprimação na camada preparada, procede-se com a etapa subsequente do processo de pavimentação. Com a pavimentação em andamento, é possível testemunhar a transformação do projeto em uma estrutura viária sólida e pronta para a mobilidade proporcionando eficiência e aderência. Ao concluir a imprimação na camada, é iniciada a fase final do processo: a pavimentação. Nesta etapa crucial, aplica-se a camada asfáltica que irá compor a superfície da via. conforme figura 19.

Figura 19 – Pavimentação finalizada no Loteamento Parque Santa Tereza



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Conforme ilustrado, o resultado final da pavimentação flexível com escória de aciaria, no Loteamento Parque Santa Tereza, é possível identificar as vias de trânsito prontas para utilização, visto que, até o presente momento, a pavimentação não desenvolveu nenhuma patologia, conforme figura 20.

Figura 20 – Pavimentação sem patologias no Loteamento Parque Santa Tereza



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Na tabela 2 podemos observar as vantagens e desvantagens da utilização de escória de aciaria em pavimentos flexíveis, o loteamento, por ser novo e recente, ainda não demonstrou nenhuma desvantagem decorrente do uso da escória, mas ainda assim, frisamos o que futuramente possa vir acontecer.

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da utilização da escória de aciaria em pavimentos flexíveis.

Utilização de escória de aciaria em pavimentos flexíveis	
Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">• Alta capacidade de resistir ao desgaste• Maior capacidade de suporte após compactada• Alta disponibilidade no mercado• Custo relativamente baixo• Contribui com a redução dos impactos ambientais• Minimiza os impactos negativos do material nos pátios das siderúrgicas.• É a maior durabilidade da obra, uma vez que, sofrem menos com as deteriorações sob a ação do tráfego.	<ul style="list-style-type: none">• Expansibilidade• Relação às distâncias que se devem percorrer para substituir os agregados das pavimentações.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Neste item foram identificadas as vantagens e desvantagens da utilização da escória de aciaria em pavimentos flexíveis, para melhor entendimento da aplicabilidade dessa técnica. A aplicação da escória de aciaria na sub-base e base da pavimentação flexível é recomendada em diversos cenários, especialmente para alcançar benefícios econômicos e ambientais.

É crucial realizar análises específicas do local e considerar as condições de aplicação para garantir que a escória atenda aos requisitos técnicos e ambientais do projeto de pavimentação. Além disso, o monitoramento constante do desempenho ao longo do tempo é essencial.

5. CONCLUSÕES

Em conclusão, a trajetória da pavimentação, desde suas origens até os avanços contemporâneos, destaca sua importância crucial para o desenvolvimento humano. A busca incessante por pavimentos de alta qualidade, seguros e economicamente viáveis é uma constante na engenharia civil.

A conscientização ambiental na engenharia civil abre caminho para práticas mais sustentáveis, incluindo a reutilização de resíduos da construção civil como agregados para pavimentação. Nesse cenário, a escória de aciaria, um coproduto da indústria siderúrgica, ganha destaque por suas propriedades mecânicas aplicáveis na construção civil, especialmente em pavimentação rodoviária.

O estudo de caso proposto, focado na aplicação da escória de aciaria em pavimentos flexíveis no bairro Santa Tereza, Conselheiro Lafaiete - MG, visou analisar de maneira aprofundada as vantagens e desvantagens dessa inovação. Ao fazê-lo, contribuímos para o avanço do conhecimento e para a promoção de práticas sustentáveis na pavimentação, visando o equilíbrio entre desenvolvimento econômico e responsabilidade ambiental.

Em síntese, este estudo ganha relevância diante da necessidade premente de encontrar destinos ambientalmente sustentáveis para os subprodutos resultantes de processos siderúrgicos. Esses subprodutos têm o potencial não apenas de oferecer soluções técnicas eficazes, mas também de serem transformados em coprodutos que podem reduzir a necessidade de utilizar matérias-primas provenientes de jazidas naturais.

A incorporação da escória de aciaria na sub-base da pavimentação não só fortalece a infraestrutura viária, mas também desencadeia benefícios econômicos e ambientais. Ao utilizar a escória como substituto do agregado comum, não apenas promove a estabilidade da pavimentação, mas também contribui para a redução do impacto ambiental, alinhando aos

princípios fundamentais da sustentabilidade. Essa abordagem representa uma maneira eficaz de transformar um subproduto industrial em um componente valioso, promovendo estruturas duráveis e ecologicamente responsáveis.

Além disso, é importante ressaltar que esta pesquisa permanece em aberto para futuros estudantes e profissionais interessados no tema. A investigação contínua sobre os custos e benefícios associados à incorporação da escória de aciaria na pavimentação é essencial para aprimorar ainda mais a compreensão dos impactos econômicos e ambientais dessa prática inovadora.

Ao proporcionar informações atualizadas sobre os custos envolvidos, os ganhos econômicos, e os impactos ambientais, futuros estudos podem contribuir significativamente para a disseminação do conhecimento e para a tomada de decisões informadas. Essa abertura para pesquisas futuras reforça o compromisso contínuo com a busca por soluções sustentáveis e eficientes, contribuindo para a evolução do campo e para a promoção de práticas mais conscientes em projetos de infraestrutura.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expressamos nossa gratidão a Deus por permitir a realização bem-sucedida de nossos objetivos, ao conceder-nos saúde e determinação ao longo da execução deste trabalho. Reconhecemos o apoio inestimável de amigos e familiares durante todo o percurso. Apreciamos profundamente a orientação e os ensinamentos dos nossos mestres e professores, destacando nossa orientadora, Sheila, por sua significativa contribuição para o desenvolvimento deste trabalho. De maneira abrangente, agradecemos a todos que, de alguma forma, contribuíram para a entrega deste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), desempenhando um papel fundamental em nossa jornada acadêmica. Suas contribuições, sem dúvida, influenciaram positivamente nossa formação acadêmica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, Suyanne M.; LAFAYETTE, Kalinny P.; SANTOS, Michele J.; PEDROSA, Aléssia A. **Avaliação do Comportamento Mecânico de um Compósito Solo-Resíduo-Fibra. Resíduos Sólidos: desenvolvimento e sustentabilidade.** EDUFRPE e Gampe/UFRPE, 1ºed, p.254-263, Recife, 2020.

AMBROZEWICZ, Paulo H. L. Materiais de Construção. São Paulo: Pini, 2012. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10.004: Resíduos sólidos -Classificação.** Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<https://analiticaqmcresiduos.paginas.ufsc.br/files/2014/07/Nbr-10004-2004-Classificacao-De-Residuos-Solidos.pdf>>. Acesso em: 15 de junho de 2023.

ARCELORMITTAL BRASIL. **Aplicações.** 2015a. Disponível em: <<https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/coprodutos/aplicacoes>> acesso em 27 de novembro de 2023.

ARCELORMITTAL BRASIL. **Escória de aciaria LD.** 2015b. Disponível em: <http://tubarao.arcelormittal.com/produtos/co_produtos/catalogo_produtos/escoria_aciaria_ld/introducao.asp>. Acesso em 05 de novembro de 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1992) ABNT NBR 12265: Sub-base ou base de solo-brita. Rio de Janeiro/RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) ABNT NBR 10004: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro/RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2004) ABNT NBR 10006: Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro/RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2015) ABNT NBR 16364: Execução de sub-base e base estabilizadas granulometricamente com agregado siderúrgico para pavimentação rodoviária - Procedimento. Rio de Janeiro/RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016) ABNT NBR 6457: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro/RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016) ABNT NBR 7182: SOLO – Ensaio de Compactação. Rio de Janeiro/RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2016) ABNT NBR 9895: Solo - Índice de suporte Califórnia (ISC) - Método de ensaio. Rio de Janeiro/RJ.

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

BALTAZAR, R. P. **Caracterização de uma rede municipal de estradas não pavimentada**. Dissertação de Mestrado apresentado na Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, p. 186. 1995.

Baptista, M. N.; & Campos, D. C. de. (2018). **Metodologias de pesquisa em ciências: análises quantitativa e qualitativa**. (2. ed.). Rio de Janeiro: LTC

BERNUCCI, Liedi B.; MOTTA, Laura M. G.; CERATTI, Jorge A. P.; SOARES, Jorge B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: Abeda, 2º edição, 2022.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica. Formação básica para engenheiros. Petrobras**. Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos. Rio de Janeiro-RJ,

BERNUCCI, Liedi Légi Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

BERSSANETI, Fernando T.; ASSUMPÇÃO, André; NAKAO, Osvaldo S. **Engenharia e construção: quais variáveis contribuem para o sucesso dos projetos executados atualmente no Brasil?** Gest. Prod., São Carlos, v. 21, n. 1, p. 95-109, 2014.

BITENCOURT, Amanda. **Panorama da Descarbonização na Produção de Misturas Asfálticas a Quente**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2023.

BOLDRINI, Bruna G.; PACHECO, Ronaldo F. **Estudo do comportamento da escória de aciaria tipo LD em base de pavimentos urbanos**. Revista Ifes Ciência, v.8 n.1 2021.

BRASIL, AÇO. Instituto Aço Brasil, 2020. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/processo--etapas.asp>>. Acesso em 01 de novembro de 2023.

BRASIL, AÇO. Instituto Aço Brasil. **Relatório de sustentabilidade de 2018**. Disponível em: <<http://www.acobrasil.org.br/sustentabilidade/>>. Acesso em 29 de setembro de 2023.

BRASIL. Decreto n. 700, de 4 de nov. de 2020. **Dispõem documentos e procedimentos que aprova o loteamento convencional aberto “Parque Santa Tereza” e dá outras providências**. O Prefeito de Conselheiro Lafaiete- MG. Lei Complementar nº 33/2011. Lei Federal nº 6.766/75. Nomeado através da Portaria nº 1.996/2020.

BRITO., P. C. B. R. **Avaliação Preliminar do Uso de Escórias Siderúrgicas para remoção de Fósforo de esgoto doméstico**. Projeto de Graduação (Curso de Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 62 p.,2018

CARDOSO A. V. M.; DIAS, F. M. **A utilização de escória de aciaria para manufatura de blocos de pavimentação**. In: 21º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Cuiabá, MT, Brasil, 2014.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Transporte Rodoviário: Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília, CNT, 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE – CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias**. Brasília, CNT: SEST SENAT, 2021.

COOPER, Donald R.; SCHINDLER, Pamela S. **Métodos de Pesquisa em Administração-12ª edição**. McGraw Hill Brasil, 2016.

COSTA, K.A. et al. **Study of controlled leaching process of steel slag in soxhlet extractor aiming employment in pavements**. Matéria (Rio J.) vol.22 no.2 Rio de Janeiro, 2017 Epub June 01, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - EM 262: **Escórias de aciaria para pavimentos rodoviários.** p.4. 1994

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER - EM 263: **Emprego de escória de aciaria em pavimentos rodoviários.** p.4. 1994

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES, DNIT. **Institucional, acesso à informação,** 2013. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/acesso-a-informacao/institucional>> acesso em 28 de novembro de 2023.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT **Pavimentação rodoviária - Base estabilizada granulometricamente com escória de aciaria** - ACERITA - Especificação de serviço. Publicação 115, Espírito Santo - ES, 2009.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT **Pavimentação rodoviária - Base estabilizada granulometricamente e Acobrita - Especificação de serviço.** Publicação 406, Espírito Santo - ES, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT **Pavimentação rodoviária - Sub-base estabilizada granulometricamente e Acobrita - Especificação de serviço.** Publicação 407, Espírito Santo - ES, 2017.

FACHIN, Odília. **Fundamentos da Metodologia Científica: noções básicas em pesquisa científica.** 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP). **Pavimento de vias no Brasil: Infraestrutura de transportes terrestres rodoviários e cadeias produtivas da pavimentação.** São Paulo, 2017.

FLEURY, Maria e WERLANG, Sérgio. **Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens.** 2016 e 2017. Disponível em: <<https://periodicos.fgv.br/apgvpesquisa/article/view/72796/69984>> acesso em 01 de novembro de 2023.

FREITAS, Hérica Braga de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Uso de escória de aciaria em misturas asfálticas de módulo elevado**. Transportes, São Paulo, v. 16, n. 2, p.5-12, dez. 2008.

Faculdade Laboro, **O que é ABNT? Descubra o que é e como funciona**. 2021. Disponível em: <<https://laboro.edu.br/blog/o-que-e-abnt/>> acesso em 28 de novembro de 2023.

FROSSARD, Rodolpho M. **Influência da adesividade ligante-agregado nas propriedades de fratura de misturas asfálticas sujeitas ao dano por umidade**. Dissertação de mestrado apresentado na Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2021.

GOMES, Elida A.; SILVA, Luciana R.; QUIRINO, Gustavo H.; **Estudo do Subleito e Dimensionamento do Pavimento Asfáltico do Loteamento Novo Horizonte I no Município de Campinorte-Go**. XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, Campinas (SP), 2020.

IBARRA, Jorge Alarcón. **Estudio del comportamiento de mezclas bituminosas recicladas en caliente en planta**. Tese de doutorado - Curso de Engenharia Civil, Escola Tècnica Superior D'enginyers de Camins, Canals I Ports de Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 2003. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/2117/93221>> Acesso em 05 de novembro de 2023.

IZOTON, Sidineidy. **Avaliação dos efeitos da expansão de agregados contendo escória de aciaria LD no desempenho mecânico de misturas asfálticas envelhecidas**. Dissertação de mestrado apresentado na Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020.

KIST, K. J.; BARTH, A. A.; LIMANA, L.; REICHERT, L. S. **O Uso de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) como substituição da matéria prima natural em base, sub-base e subleito de pavimentações**. Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, Santo Ângelo, CRICTE, 2017.

LANÇAMENTOS, Terra Lançamentos Imobiliários. **Parque Santa Tereza**. YouTube. 15 de maio de 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/@terralancamentos2714>> acesso em 05 de novembro 2023.

LUTIF, Jamilla; PIRES, Patrício José Moreira; SCHUMACHER, Aécio Guilherme. **Envelhecimento a longo prazo de misturas asfálticas densas contendo escória de aciaria LD em diferentes níveis de expansão** Sidineidy Izoton.2020

MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO - DNIT. Rio de Janeiro, 3º edição, 2006.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Notas de Aula da Disciplina de pavimentação.** Universidade Federal de Juiz de Fora. 2012.

MINAYO, M. C. de S. (Org.). **O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde.** 14ª ed. Rio de Janeiro: Hucitec, 2014. 408 p.

NETO, Iran Gonçalves V. **Retro análise das bacias deflectométricas para obtenção do módulo de resiliência das camadas de pavimentação.** Estudo de caso: BR 304-RN. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Centro Universitário Christus, Fortaleza (CE), 2020.

NETO, Orestes Trevisol. **Métodos e técnicas de pesquisa.** Chapecó-SC: Argos, 2017. (Série: TREVISOL NETO, Orestes)

NUNES, Aline A.; BRANDÃO, Joyce L.; ROSA, Karina D.; JACOB, Raquel S.; DAVID, Rita A. **Projeto de extensão: “engenharia sustentável”.** Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 5, n. 7, p. 10036-10042 jul. 2019.

OLIVEIRA, Bianca S.; CORDEIRO, Juni; NEVES, Patricia C.; CALAZANS, Giovanna M.; COSTA, José G. **Avaliação do Potencial do Reaproveitamento da Escória de Aciaria LD como Agregado Siderúrgico.** Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 7, n. 2, p.206-229, abr./jun. 2018.

OLIVEIRA, Jéssica M.; RODGHER, Sandra F.; FLORIAN, Fabiana; SILVA, Giordano P.; **Etapas da pavimentação no núcleo habitacional de JAU-SP.** VII Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica, IFSP – Câmpus Araraquara, 2022.

OLIVEIRA, Maria Marly de. **Como fazer pesquisa qualitativa**. 7. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2018.

PACHECO, L. C. D. **O estudo da escória de aciaria como agregado siderúrgico para uso em lastro ferroviário**. Niterói, RJ. 2006. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal Fluminense.

PAIXÃO, Monique; CORDEIRO, Cristóvão C.; CORREIA, Maria da C.; **Pavimentos Semirrígidos: prevenção e tratamento da reflexão de trincas**. XVI SEPA - Seminário Estudantil de Produção Acadêmica, UNIFACS, 2017.

PALHARINI, Douglas Z.; SOUSA, João Marcus V.; **Análise das principais manifestações patológicas em pavimentos flexíveis - Estudo de caso na cidade de Jataí-GO**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Centro Universitário Una, Jataí (GO), 2022.

PARENTE, Everton B.; BOAVISTA, Alvaro H.; SOARES, Jorge B.; **Estudo do comportamento mecânico de misturas de solo e escória de aciaria para aplicação na construção rodoviária na região metropolitana de Fortaleza**. Universidade Federal do Ceará (UFC), 2003.

PEDROSA, Rogério Antônio Alves. **Estudo da viabilidade técnica e econômica do uso de agregados de escória de aciaria em concreto betuminoso usinado a quente**. NUGEO, Área de concentração: Geotecnia - Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2010. (Dissertação de Mestrado).

PEREIRA, Mara Paula C.; **Análise comparativa entre pavimento rígido e pavimento flexível**. Monografia apresentada ao Curso de Graduação do Centro Universitário Atenas, Paracatu (MG), 2019.

PEREIRA, Pedro H.S. **Priorização de Vias Urbanas Pavimentadas as Atividades de Manutenção e Reabilitação a partir de Análise Multicritério**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), 2020.

PIMENTEL, Maurílio G.; VASCONCELOS, Adriano L.; PICANÇO, Marcelo S.; SOUZA, José V.; MACÊDO, Alcebíades N. **Caracterização da Escória de Alto Forno Proveniente de Resíduos Industriais visando seu uso na Construção Civil.** Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017, Belém-PA, 2017.

PINTO, S.; PINTO, I. E. **Pavimentação Asfáltica: Conceitos Fundamentais sobre Materiais e Revestimentos Asfálticos.** 1a ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil: estudo na cultura da cana-de-açúcar.** Jaboticabal: Funep, 2001. 67p.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição.** Editora Feevale, 2013.

RAMOS, Fernando Machado. PORTAL METALICA, **Da aciaria para o pavimento.** Disponível em: <<http://www.metallica.com.br/da-aciaria-para-o-pavimento.aspx>>. Porto Alegre, 2016. Acesso em: 06 mai. 2023.

RAMPAZZO, L. (2015). **Metodologia científica: para alunos dos cursos de pós-graduação e graduação.** (8. ed). São Paulo: Edições Loyola

RIBEIRO, D.; MOURAA, L.S.; PIROTE, N.S.S. **Sustentabilidade: Formas de Reaproveitar os Resíduos da Construção Civil.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Faculdade Anhanguera de Taubaté. São Paulo, 2016.

ROCHA, Fabiano Lucindo Lima da. **Utilização do agregado siderúrgico (escória de aciaria) em revestimento asfáltico tipo tratamento superficial.** 2011.

RODRIGUES, José L. A. **Conceção de Pavimentos Rígidos.** Dissertação de Mestrado apresentada no Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

RHODE, Luciana. **Escória de aciaria elétrica em camadas granulares de pavimentos: estudo laboratoriais**. Dissertação de mestrado em engenharia apresentado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

ROHDE, Luciana. **Escória de aciaria elétrica em camadas granulares de pavimentos: estudo laboratorial**. 2002

SANTANA, Humberto Santana. **Manual de Pré-misturados a Frio**. Instituto Brasileiro de Petróleo, 1993.

SANTOS, Graziella Pereira Pires dos. **Um estudo sobre a utilização da escória de ferroníquel em pavimento rodoviário**. 2013.

SANTOS IMÓVEIS. Santos Netimóveis, 27 de abril de 2021. **Página inicial**. Disponível em: <<https://www.santosimoveismg.com.br/lancamento/santatereza/#section-localizacao>>. Acesso em 5 de novembro de 2023.

SANTOS, Vinícius P. **Influência do gradiente de temperaturas na estimativa da vida à fadiga do revestimento asfáltico**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2018.

SCHMIDT, Elcio Luís. **O sistema de transporte de cargas no Brasil e sua influência sobre a economia**. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

SCHUMACHER, Aécio G. **Avaliação dos efeitos de agregados siderúrgicos nas características do material e no desempenho de misturas asfálticas**. Dissertação de mestrado apresentado na Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2018.

SILVA, Aírton Marques. **Metodologia da Pesquisa**. revisada. Fortaleza–Ceará: Ed. UECE, 109 p, 2015.

SILVA, Anne C.; ALCANTARA DA SILVA, Marcus V.; **A diferença entre pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos.** Qual o melhor custo benefício? Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Unievangélica, Anápolis (GO), 2021.

SILVA, Eduarda R.; BARBOSA, Ludmilla; SILVA, Marina M. **Utilização da Escória em Base e Sub-base de uma Pavimentação.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no Centro Universitário Barra Mansa, 2021.

SOUSA, Priscila. **Pavimento - O que é, tipos, conceito e definição.** Conceito.de, 25 de agosto de 2023. Disponível em: <<https://conceito.de/pavimento>> acesso em 31 de outubro de 2023.

SOUZA, Rodrigo A.; SANTANA, Sabrina S.; PINHEIRO, Érika C. N.; **Aplicação de pavimento flexível – estudo de caso da recuperação do sistema viário no município de Uruará/Amazonas.** Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.8, n.11, p. 74381-74402, 2022.

TREVISOL NETO, O. **Métodos e Técnicas de Pesquisa.** Chapecó: Argos, v. 8, p. 39-97, 2017.

TSAKIRIDIS, Petros E. et al. **Utilization of steel slag for Portland cement clinker production.** Journal of hazardous materials, v. 152, n. 2, p. 805-811, 2008.

VASSOLER, Grazielli; CHONG, Wang; SPECHT, Luciano P. **Comportamento mecânico de pavimentos flexíveis submetidos a gradientes térmicos.** Acta Scientiarum. Technology. Maringá, 2011, v. 33, n. 3, p.265-271. Disponível em: <<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/10848/10848>> acesso em 28 de novembro de 2023.

VIANA, Dandara. **Entenda o que é um pavimento asfáltico.** Universidade Federal do Piauí. Piauí, 2019.

VIEIRA, Gabriel H. **Avaliação estrutural de pavimentos urbanos a partir de ensaios de campo e retroanálise.** Dissertação de Mestrado apresentada na Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2020.