

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS RODOVIÁRIOS: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Nathalia Costa Duarte¹
Otavio Henrique da Silva²

RESUMO

A precariedade dos pavimentos rodoviários brasileiros associada à problemática da destinação de resíduos evidencia a relevância de pesquisas voltadas à sua incorporação em revestimentos asfálticos. Além de promover economia, esse procedimento pode, inclusive, melhorar as propriedades mecânicas dos pavimentos. Nessa temática, esta pesquisa bibliográfica objetivou analisar a utilização de resíduos de minério, de PET e de lodo de ETA em revestimentos asfálticos. Após seleção de duas pesquisas que tratam sobre a utilização de cada um dos resíduos citados, realizou-se uma análise comparativa acerca dos métodos empregados e resultados obtidos, considerando a normatização aplicável. Verificou-se que a incorporação de resíduo de minério de ferro agregado, promove bons resultados para tráfegos leves e moderados, em locais com temperaturas inferiores a 60°C. A incorporação do resíduo de PET às misturas, embora diminua o Módulo de Resiliência, ainda é viável ambiental e economicamente. Já o uso do lodo de ETA mostra-se bastante promissor, visto que há atendimento às exigências técnicas, especialmente no caso da resistência a tração. Entende-se que os resultados evidenciam as potencialidades do uso de resíduos em revestimentos. Assim, cabe aos profissionais e órgãos reguladores o desenvolvimento de mais pesquisas visando comprovar e promover essa prática mais sustentável na engenharia.

Palavras-chave: Pavimentação. Misturas asfálticas. Reaproveitamento de resíduos.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, dentre os diferentes modos de transporte, o rodoviário apresenta maior destaque no que se refere ao volume de investimentos e à demanda, de modo que, considerando dados de 2015, representa 65% da matriz de transporte do país. Atualmente, o país conta com 221.820 km de estradas pavimentadas (MOREIRA *et al.* 2018), 99% delas compostas por pavimentos flexíveis, porém 78,6% das rodovias não são pavimentadas (CNT, 2017).

A implantação de pavimentos rodoviários baseia-se em adequado processo de planejamento, considerando diferentes dimensões (ALBERTO, 2018). Assim, características como a eficiência financeira, conforto, segurança são essenciais à adequabilidade de uma rodovia. Para tanto, o atendimento à normatização técnica é

¹ Graduanda em Engenharia Civil no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: nathaliacostaduarte@outlook.com.br.

² Professor mestre no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: silva.oh@outlook.com

imprescindível, tanto nas fases de dimensionamento e implantação, como na manutenção da infraestrutura rodoviária (MACHADO, 2013).

Tal como para outras áreas relacionadas à construção civil, recursos naturais são constantemente utilizados em obras rodoviárias, o que evidencia a necessidade de uso mais racional dos materiais envolvidos. Nesse contexto, pesquisas têm sido desenvolvidas com o objetivo de analisar a viabilidade técnica da reutilização de resíduos sólidos em pavimentação rodoviária, o que pode, inclusive, trazer melhoria na resistência desses pavimentos (OLIVEIRA, 2014). Com essa prática, além de se colaborar para a redução do uso de recursos naturais, tem-se o benefício da promoção de destinação ambientalmente adequada para os resíduos, conforme preconiza a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

A reutilização de diferentes resíduos por meio da incorporação em pavimentos asfálticos tem se configurado como possivelmente adequada tecnicamente e economicamente. Esse processo é particularmente relevante do ponto de vista ambiental quando considerados resíduos com elevado potencial causador de danos ao meio (CORREIA, 2014).

A problemática em questão pode ser observada no caso de resíduos de politereftalato de etileno (PET), material plástico cuja decomposição lenta é considerada um fator problemático ao ambiente (FORLIN; FARIA, 2002). Também, cita-se o resíduo de minério de ferro, proveniente da produção de aço, o qual demanda considerável volume para estocagem, havendo a possibilidade de contaminação hídrica e do solo. Ademais, destaca-se que o reaproveitamento do resíduo pode auxiliar a diminuir o risco desastres ambientais devido ao colapso de barragens de rejeitos de minérios (ARÊDES, 2016; COSTA *et al.*, 2014). Por fim, tem-se o lodo de estação de tratamento de água (ETA), usualmente dispostos em aterros sanitários, estruturas de alto custo que demandam grandes áreas para sua instalação (CAMPANA, 2009).

Neste cenário, é importante que projetistas, pesquisadores e demais profissionais ligados à área de pavimentação rodoviária conheçam e avaliem a possibilidade do uso de resíduos na composição de pavimentos flexíveis. Tal prática pode trazer, além de ganhos ambientais, outros de cunho técnico e econômico (OLIVEIRA, 2014). Deste modo, este trabalho busca, mediante revisão bibliográfica, analisar a utilização de diferentes resíduos sólidos (resíduos de minério de ferro, de PET, e de lodo de ETA) em revestimentos asfálticos rodoviários.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico apresenta breve distinção dos tipos de pavimentos, camadas e suas respectivas funções, além dos parâmetros de dimensionamento e principais normas técnicas aplicáveis publicadas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Nesta seção, também são apresentados resíduos alternativos para a incorporação nas diversas camadas do pavimento.

2.1 PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS FLEXÍVEIS

O pavimento é uma estrutura com determinada vida útil, sendo composto por camadas de diferentes materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal. O subleito deve atender estruturalmente o tráfego previamente determinado, de forma que haja durabilidade e o menor custo de execução possível (BALBO, 2007).

Usualmente, os pavimentos são classificados como rígidos ou flexíveis. Os pavimentos rígidos são caracterizados quando há a utilização de placas de concreto construídas com cimento Portland, instaladas no solo de fundação (MEDINA; MOTTA, 2015). Balbo (2016) reporta que o pavimento rígido pode ser produzido *in loco* ou pré-moldado.

O pavimento flexível, ou concreto asfáltico, é composto por ligante asfáltico e agregados. O agregado empregado neste revestimento deve apresentar alta qualidade e granulometria com graduação adequada, devendo ser produzido com controle rigoroso de dosagem. Após compactação, o agregado deve exibir massa densa e uniforme (CERATTI; REIS, 2011).

A estrutura do pavimento é responsável por receber e transmitir esforços, de forma que, essas cargas devem ser transmitidas à fundação de forma amenizada. Para que esse mecanismo atue corretamente, as peças devem trabalhar com deformações que sejam compatíveis para que não haja rompimento ou danificação antes da vida útil do pavimento (BALBO, 2007).

Os pavimentos rodoviários flexíveis são compostos por camadas granulares e betuminosas dispostas sobre o solo de fundação. As camadas superiores são constituídas por asfalto betuminosos que apresentam composições com granulometria variadas e estabilizada, comumente por betume asfáltico. As camadas betuminosas são responsáveis por suportar os esforços de compressão, tração e corte; por ser composta por matérias ligados e com coesão. Por outro lado, as

camadas granulares, onde há apenas o atrito entre as partículas, são designadas a suportar os esforços de compressão (TORRÃO, 2015).

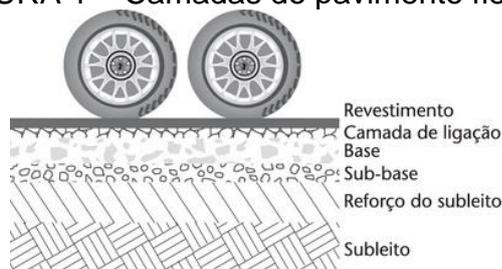
No pavimento flexível, as camadas são compreendidas em: revestimento, base, reforço da sub-base, sub-base, reforço do subleito e subleito. Os reforços de sub-base e subleito são específicos do projeto, podendo dispor ou não no pavimento (BALBO, 2007).

O DNIT (2006) define as seguintes funções das camadas constituintes do pavimento:

- a) Subleito: o terreno de fundação do pavimento;
- b) Reforço do subleito: espessura indefinida, normalmente implantadas por condições técnico-econômica, sendo constituída por material de qualidade inferior à camada superior, e com melhor material que o subleito;
- c) Sub-base: camada adicional, quando por situações técnico-econômica, a base não poder ser construída sobre a regularização diretamente;
- d) Base: camada responsável por resistir e distribuir esforços;
- e) Revestimento: camada pouco permeável que recebe diretamente as tensões provenientes do tráfego de veículos.

As camadas citadas são representadas na Figura 1.

FIGURA 1 – Camadas do pavimento flexível



Fonte: Balbo (2007)

Atualmente, o revestimento comumente utilizado é o Concreto Usinado à Quente (CBUQ), uma vez que 99% das rodovias pavimentadas são de material flexível. O CBUQ é composto por cimento asfáltico de petróleo (CAP), material de enchimento, agregado graúdo e agregado miúdo (TEIXEIRA; NASCIMENTO, 2019).

A propriedades dos agregados atuam diretamente na resistência do pavimento de forma que, as pedras britadas, contendo a sua propriedade geométrica como um diferencial favorável são as mais recomendadas para a pavimentação, mesmo com seu preço elevado e sua escassez em algumas regiões. Porém o DNIT permite o uso

da escória; seixo rolado britados e outros materiais citados em especificações complementares (DNIT, 2006; PAZOS *et al.*, 2015).

A Norma DNIT 031/2006 - ES (BRASIL, 2006), define que a mistura asfáltica a quente deve ser produzida em usina apropriada, com todos os materiais necessários, sob alto rigor de produção.

2.2 DESEMPENHO DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS E ENSAIOS MECÂNICOS APLICÁVEIS AOS REVESTIMENTOS

A função de um pavimento é proporcionar uma pista de rolamento segura e confortável, considerando a velocidade de projeto estipulada para a via, sob quaisquer condições climáticas. O *feedback* do pavimento é proveniente das cargas do tráfego que são aplicadas na estrutura, de forma que é influenciável pelo subleito. A caracterização dos solos constitui procedimento essencial, pois os módulos resiliente das camadas granulares da base e sub-base são de suma importância para o desempenho estrutural do pavimento. Os módulos podem ser determinados a partir das propriedades dos materiais sendo definidos por ensaios específicos (GONÇALVES; 1999).

Para se projetar e avaliar a adequação de um revestimento rodoviário são empregados ensaios de caracterização física, química e mecânica. Os principais ensaios mecânicos são:

- a) Módulo de resiliência (MR): relação entre tensão e deformação, no qual está sob um regime elástico-linear. O ensaio simula a solicitação que os pavimentos sofrem, através de equipamento de compressão, sob temperatura pré-definida. Para misturas à 25°C são valores entre 2000 e 8000 MPa (DNER, 1994; BRITO, 2006; BERNUCCI *et al.*, 2008).
- b) Resistência à tração por compressão diametral: ensaio de compressão até a ruptura do corpo de prova. A Norma DNER-ME 138/94 define o mínimo de 0,65 MPa (DNER, 1994; DNIT, 2018a).
- c) Dano por umidade induzida: medida indireta entre adesividade e coesão do ligante asfáltico e agregado pela água e seu efeito na resistência à tração. O mínimo pela ASTM D 4867 é de 70% (ASTM, 2014; DNIT, 2018b).
- d) *Flow Number* (ou número de fluxo): ciclo da curva da deformação plástica que se acumula através de números de ciclos, localizada na zona terciária, onde a

taxa de deformação é mínima. A passagem da zona secundária e terciária se faz pela ruptura por início de cisalhamento (DNIT, 2018). Bastos *et al.* (2017) determina: FN inferior a 100, tráfego leve; FN acima de 100 para tráfego médio e FN acima de 300 para tráfego pesado.

- e) Estabilidade e fluência de Marshall: resistência máxima apresentada pelo corpo de prova à compressão radial, em quilograma força, sendo como mínimo 500 kgf; e a deformação apresentada desde o início da aplicação de carga, sendo ela, nula até uma carga máxima, dentro do intervalo de 8 a 16/0,01 polegadas (DNER, 1995).
- f) Desgaste por abrasão *Los Angeles*: desgaste da mistura betuminosa após ser colocada no equipamento Los Angeles com carga abrasiva. É expresso em porcentagem, em peso, do material passante na peneira de 1,7 mm. O limite definido para os ensaios são valores inferiores a 25% (DNER, 1999; BERNUCCI *et al.*, 2008).

2.3 USO DE RESÍDUOS SÓLIDOS PARA INCORPORAÇÃO EM PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

O uso de resíduos sólidos na pavimentação tem se mostrado como uma prática promissora, especialmente devido à promoção de benefícios econômicos e socioambientais. Além de reduzir os custos, a incorporação dos resíduos sólidos em pavimentos flexíveis promove a eles uma destinação ambientalmente adequada (PINTO *et al.*, 2010).

Segundo a ABNT NBR 10.004:2004 (2004), os resíduos sólidos são definidos como resultados de atividades domésticas, ações industriais, exercícios hospitalares, atuações agrícolas, de serviços e de varrição, abrangendo o lodo de estações de tratamento de água (ETA) e líquidos que não convém ser lançados na rede de esgotos públicas ou diretamente nos corpos de água. Os resíduos são classificados em duas classes, sendo resíduos classe I, perigosos e os resíduos classe II que são subdivididos em resíduos classe II A, não perigosos e não inertes e resíduos classe II B, não perigosos e inertes.

Face à elevada utilização de recursos naturais, vem sendo desenvolvidos estudos que abordam a temática sustentável dentro da engenharia civil. As pesquisas sobre o reuso dos resíduos sólidos se tornam indispensáveis, uma vez que a

construção civil deve buscar, também a economia e sustentabilidade. Os estudos em pavimentação estão se intensificando e mostrando resultados consideráveis (ÂNGULO, 2001; OLIVEIRA, 2014).

Como exemplo, Coelho *et al.* (2015) analisa a viabilidade do uso de lodo proveniente de ETA no subleito do corpo estradal. Há estudos também sobre o uso de RCC como agregado miúdo (SOUZA *et al.*, 2019) e resíduos de cerâmica vermelha para o subleito (SILVEIRA; BORGES, 2016).

Ainda, nessa temática, De Sant'ana Filho (2013) estudou a adequação do uso de rejeito de minério de ferro como agregado. Há também pesquisas que abordam o uso de asfalto borracha, como é o caso de Medeiros (2019). Já Serra *et al.* (2018) obtiveram resultados promissores acerca do uso de PET na mistura asfáltica, sendo considerada uma forma ambientalmente adequada de destinação do resíduo.

A reutilização de resíduos, conforme tratam diversas pesquisas, possibilita reduzir impactos ambientais, diminuir o consumo de recursos naturais, proteger o ambiente e conservar reservas de matérias-primas (SANTOS *et al.*, 2014).

3 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como qualitativo, exploratório e descritivo, realizado por meio de revisão bibliográfica. Assim, foi conduzida análise de diferentes estudos científicos voltados à temática do reaproveitamento de resíduos em pavimentos flexíveis, especificamente para o revestimento asfáltico (camada do pavimento mais relevante do ponto de vista operacional e econômico).

Para análise, foram selecionados três tipos de resíduos sólidos: minério de ferro; PET; e lodo de ETA. Essa escolha foi realizada considerando o potencial de incorporação do resíduo em revestimento asfáltico, bem como a possibilidade de mitigação dos impactos, especialmente devido à quantidade gerada.

Para cada resíduo, foram selecionados dois estudos para discussão. Foram consideradas pesquisas de caráter prático, publicadas em bases de dados científicos de periódicos, congressos e de teses e dissertações; as quais possibilitassem realizar uma análise comparativa sobre os procedimentos metodológicos adotados e os principais resultados obtidos.

Para cada resíduo foi realizada uma análise em duas etapas, o que incluiu (1) identificar a caracterização empregada para do resíduo em questão nos estudos e

analisar o comportamento das misturas asfálticas a partir dos ensaios mecânicos conduzidos e (2) expor as principais conclusões dos pesquisadores. Para cada resíduo, os resultados apresentados dos dois estudos foram comparados e confrontados afim de proporcionar maior assertividade à discussão.

4 RESULTADOS

Conforme previsto no método, a seguir são indicados os principais resultados observados em pesquisas que abordam a temática da incorporação dos resíduos de minério de ferro, de PET e lodo de ETA em pavimentos flexíveis. Para cada resíduo, expõem-se uma breve descrição da caracterização utilizada pelos pesquisadores, seguida dos principais resultados obtidos, a partir da realização de ensaios mecânicos, e das principais conclusões indicadas nos estudos.

4.1 RESÍDUO DE MINÉRIO DE FERRO

Foram selecionados os trabalhos de Arêdes (2016) e de Souza *et al.* (2019), os quais discorrem sobre a viabilidade do uso dos resíduos sólidos provenientes da atividade de extração do minério de ferro em revestimento asfáltico.

4.1.1 Caracterização do resíduo e ensaios mecânicos empregados

O resíduo caracteriza-se como um agregado miúdo fino nos dois estudos, porém Souza *et al.* (2020) fazem uma diferenciação, realizando as denominações “resíduo fino” e “resíduo mais fino”. O resíduo fino apresenta características de areia grossa, enquanto o resíduo mais fino equivale a uma areia fina (usada principalmente para microrrevestimento), mesma característica do estudo de Arêdes (2016). As características físicas das amostras são apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 – Caracterização do resíduo

Ensaio e características	Norma	Arêdes (2016)	Souza <i>et al.</i> (2020)	
			Resíduo fino	Resíduo mais fino
Plasticidade	NP	NP	-	-
Densidade real (g/cm ³)	-	2,83	2,674	2,693
Sanidade	máx. 12%	5,56%	-	-
Equivalente de areia	mín. 55%	74%	81%	-
Passante na peneira nº200	-	22,70%	1,50%	28,10%
Vazios não compactados	mín. 45%	-	45,50%	-

Fonte: Adaptado de Arêdes (2016) e de Souza *et al.* (2020)

O ensaio de sanidade realizado por Arêdes (2016), utilizando o sulfato de magnésio, indicou valor abaixo do ensaio de areia, 5,56% ante 9,69%. Neste estudo, a granulometria do resíduo de minério de ferro apresenta quantidade de materiais finos elevada, uma vez que há passante acima de 20% na peneira 200. Dessa forma o autor, conclui que não é viável o uso de grandes quantidades do resíduo.

Souza *et al.* (2020) realizaram o ensaio de compactação de vazios para o resíduo fino. Arêdes (2016) não cita esse ensaio em seu estudo, uma vez que as granulometrias apresentadas são de características semelhantes ao resíduo mais fino de Souza *et al.* (2020). É importante ressaltar que o ensaio de abrasão Los Angeles não se aplica ao resíduo, uma vez que o resíduo se enquadra como agregado miúdo.

Em seus estudos, Souza *et al.* (2020) e Arêdes (2016) executaram ensaios mecânicos, os quais perfizeram bons resultados, porém há ressalvas. A partir de três misturas diferentes (Tabela 2), foram realizados diferentes ensaios (Tabela 3)

TABELA 2 – Misturas asfálticas (resíduo de minério de ferro)

Autor	Misturas		
	M1	M2	M3
Arêdes (2016)	brita 1, brita 0 e areia	brita 1, brita 0 e resíduo	brita 1, brita 0, areia e resíduo
Souza <i>et al.</i> (2020)	brita ¾”, brita ½”, areia e pó de pedra	brita ¾”, brita ½”, resíduo fino e pó de pedra	brita ¾”, brita ½”, resíduo fino, resíduo mais fino e pó de pedra

Fonte: Adaptado de Arêdes (2016) e de Souza *et al.* (2020)

TABELA 3 – Resultados dos ensaios mecânicos conduzidos

Ensaio Mecânico	Arêdes (2016)			Souza <i>et al.</i> (2019)		
	M1	M2	M3	M1	M2	M3
Módulo de Resiliência médio (MPa)	5615	5174	5418	11349	12935	12269
Resistência à Tração (Mpa)	1,42	1,46	1,64	1,84	2,13	2,06
Dano de umidade induzida (%)	81	74	-	72,40	76,90	71,40
<i>Flow Number</i>	327	350	-	569	318	105
Estabilidade (kgf)	1710	1361	1442	-	-	-

Fonte: Adaptado de Arêdes (2016) e de Souza *et al.* (2020)

A partir do ensaio de módulo de resiliência, Arêdes (2016) afirma que a troca da areia pelo resíduo é viável, ainda que os valores das misturas que incluíam o resíduo (M2 e M3) apresentaram resultados menores do que o da mistura que continha apenas areia (M1). O estudo de Souza *et al.* (2020) há resultados ainda melhores, nos quais as misturas que continham o resíduo de minério de ferro (M2 e M3) indicaram valores maiores do que a mistura que não o incluía (M1).

As diferenças dos valores do módulo de resiliência são devidas às misturas e ao CAP utilizado. Arêdes (2016) utiliza o CAP 50/70 enquanto Souza *et al.* (2020), CAP 30/45. Ambos autores obtiveram resultados semelhantes a trabalhos anteriores (MARQUES, 2004; SILVA, 2010; NOGUEIRA, 2008; FENGLER, 2018).

As misturas que contêm o resíduo, em ambos os estudos, a partir dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral, têm resultados superiores inclusive ao limite mínimo de 0,65 MPa fixado pela DNER-ME 138/94 (DNER, 1994).

Nos dois estudos, os ensaios de dano por umidade reduzida apresentaram resultados acima do valor mínimo de 70% determinado pela ASTM D 4867 (ASTM, 2014). Os resultados variam entre 71,4% e 81%, o que pode ser explicado devido à da origem do agregado.

Quanto aos resultados do *flow number*, o estudo de Arêdes (2016) indica que o resíduo pode ser usado em rodovias de tráfego médio, segundo os parâmetros de Bastos *et al.* (2016). Já Souza *et al.* (2019) conclui que o resíduo pode ser utilizado em pavimentos construídos em regiões com temperaturas inferiores a 60°C. Temperaturas superiores ao limite em questão incorrem em menores *flow numbers*, o que pode propiciar a geração de deformações maiores que esperado.

4.1.2 Conclusões dos estudos analisados

Souza *et al.* (2019) recomendam o uso do resíduo de minério de ferro no revestimento, desde que haja atenção ao volume de tráfego e condições climáticas pela tendência a deformações permanentes. Os autores afirmam que o agregado responde as condições técnicas e ambientais, de forma que contribui para ao ambiente e ao desempenho do pavimento. Da mesma forma, Arêdes (2016) conclui que o uso do resíduo traz benefícios ao ambiente, para o pavimento e para o custo da pavimentação. Apaza (2015), em seu estudo sobre a viabilidade da incorporação do uso do resíduo em revestimento, também corrobora a sua viabilidade técnica.

4.2 POLIETILENO TEREFALATO (PET)

Para a análise da viabilização do uso do resíduo de polietileno tereftalato (PET) no revestimento asfáltico, foram considerados os trabalhos de Arao (2016) e de Räder *et al.* (2018).

4.2.1 Caracterização do resíduo e ensaios mecânicos empregados

Arao (2016) e Räder *et al.* (2018) avaliam a possível incorporação do PET na fração de agregados miúdos do revestimento asfáltico, a partir da condução de, exclusivamente, ensaios mecânicos. Os ensaios físicos não são aplicáveis ao resíduo, uma vez que não possui as características necessárias para os ensaios. As misturas utilizadas nos trabalhos são mostradas na Tabela 4 e os resultados dos ensaios conduzidos por Arao (2016) e Räder *et al.* (2018) são apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

TABELA 4 – Misturas asfálticas (resíduo de PET)

Autor	Misturas					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Arao (2016)	Sem adição do resíduo	0,5% de flakes de PET de 2 mm	1% de PET de 2 mm	0,5% de flakes de 10 mm	1% de flakes de PET de 10 mm	0,5% de flakes de PET e substituição parcial de 2,5% do pó de pedra por pó de PET
Räder <i>et al.</i> (2018)	Sem adição do resíduo	0,7% de pó de PET	1,5% de pó de PET	0,7% de flake de PET	1,5% de flake de PET	-

Fonte: Adaptado de Arao (2016) e de Räder *et al.* (2018)

TABELA 5 – Resultados dos ensaios mecânicos conduzidos por Arao (2016)

Ensaio mecânico	Arao (2016)					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Módulo de Resiliência médio (MPa)	6278	7251	5160	5466	5624	6289
Resistência à Tração (Mpa)	1,38	1,25	1,87	1,4	1,73	1,78
Estabilidade (kgf)	1518	1588	1753	1589	1591	1466
Fluência (0,01")	7	7	8	9	8	9

Fonte: Adaptado de Arao (2016)

TABELA 6 – Resultados dos ensaios mecânicos conduzidos por Räder *et al.* (2018)

Ensaio mecânico	Räder <i>et al.</i> (2018)				
	M1	M2	M3	M4	M5
Módulo de Resiliência médio (MPa)	9157	9434	8738	9721	8178
Resistência à Tração (Mpa)	1,93	1,77	1,55	1,69	1,36
Dano de umidade induzida (%)	62	67	83	68	78
Estabilidade (kgf)	1734	1770,67	1534	1473	1171,33
Fluência (0,01")	15	10	23	14	18

Fonte: Adaptado de Räder *et al.* (2018)

Em ambos estudos houve o mesmo comportamento do módulo de resiliência. Quanto maior a adição do resíduo de PET, maior foi a redução do MR. Arao (2016) explica que isso se deve à temperatura do CBUQ, uma vez que se atinge a

temperatura de transição vítrea, que ocorre a 70°C, alterando a característica do resíduo. Dessa forma, esse já era um resultado esperado.

Os resultados dos ensaios de resistência à tração mostram que todos os resultados foram satisfatórios, apresentando valores maiores à 0,65 Mpa, mínimo exigido pela norma DNER-ME 138/94 (DNER, 1994). Arao (2016), em seu estudo, evidência o aumento da resistência à tração em relação ao aumento do resíduo de PET.

O ensaio de dano de umidade induzida foi realizado apenas pelo autor Räder. Para que haja aprovação para o ensaio é necessário um percentual de 70%, de acordo com a ASTM D 4867 (ASTM, 2014)., de forma que apenas as misturas M2 e M4 foram aprovadas.

As misturas com a aplicação do resíduo apresentaram maior estabilidade, de forma que todas elas indicaram valores superiores a 500 kgf, valor referência, conforme preconiza a DNER-ME 043/95 (1995). Os resultados dos ensaios de fluência no estudo de Arao (2016) também atendem aos parâmetros normatizados, que devem variar de 8 a 16/0,01 polegadas. No trabalho de Räder *et al.* (2018), as misturas estão dentro da faixa em questão, excetuando aquelas com adição de 1,5% do resíduo (M3 e M5).

4.2.2 Conclusões dos estudos analisados

Räder *et al.* (2018) concluíram que o uso do resíduo de PET na pavimentação constitui prática promissora e econômica, uma vez que há a substituição dos agregados naturais para os resíduos de PET. Arao (2016) também mostra como positiva a utilização do PET, com destaque para as misturas com 0,5% de flakes de 10 mm (M4) 0,5 % de flakes de PET com a substituição parcial de 2,5% do pó de pedra pelo pó de PET (M6). Em outro estudo, Serra *et al.* (2018) também apoia a viabilidade do uso do resíduo.

4.3 LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Sobre a viabilidade o uso do resíduo de lodo gerado no tratamento de ETA no revestimento asfáltico, foram analisados os estudos de Martinez (2014) e de Dawood *et al.* (2019).

4.3.1 Caracterização do resíduo e ensaios mecânicos empregados

O uso do lodo provenientes de estações de tratamento de água é um assunto relativamente recente. A problemática do resíduo relaciona-se ao fato de o lodo não poder ser lançado em corpos de água sem tratamento. Algumas pesquisas estudam a viabilidade de sua inserção especificamente no ligante asfáltico e diretamente no agregado miúdo juntamente com a cal hidratada, como é o caso do estudo de Martinez (2014), outras avaliam a possibilidade de substituição do fíler, como apresentado em Dawood *et al.* (2019).

No estudo de Martinez (2014), desenvolvido no Brasil, foram utilizadas três misturas: convencional (M1); por via úmida (M2), utilizando o lodo em que passou em várias temperaturas de secagem e depois incorporado ao ligante asfáltico; e sendo por via seca (M3), a qual passou por um processo de secagem a 175°C e recebeu adição de agregado miúdo. Já Dawood *et al.* (2019), em sua pesquisa no Iraque, emprega, além de uma mistura convencional (M1), outras quatro com a incorporação de 30% (M2), 50% (M3), 70% (M4) e 100% (M5) de lodo na fração do agregado miúdo. Tais estudos apresentam resultados satisfatórios (Tabelas 7 e 8), contudo variáveis, o que pode ser explicado por possíveis diferenças físico-químicas dos lodos utilizados. Contudo, os trabalhos analisados não abordam tal questão.

TABELA 7 – Misturas asfálticas (lodo de ETA) e resultados dos ensaios mecânicos conduzidos por Martinez (2014)

Ensaio mecânico	Martinez (2014)		
	M1	M2	M3
Módulo de Resiliência médio (MPa)	3569	5679	5165
Resistência à Tração (MPa)	0,98	1,24	1,04
Dano por Umidade Induzida (%)	96	71,3	96,5
Estabilidade (kgf)	1152	1538	1324
Fluência (0,01")	20	14	15
Desgaste por abrasão (%)	4,54	6,6	7,21

Fonte: Adaptado de Martinez (2014)

TABELA 8 – Misturas asfálticas (lodo de ETA) e resultados dos ensaios mecânicos conduzidos por Dawood *et al.* (2019)

Ensaio mecânico	Dawood <i>et al.</i> (2019)				
	M1	M2	M3	M4	M5
Resistência à Tração (MPa)	2,48	2,71	2,86	2,38	2,35
Estabilidade (kgf)	816	826	816	765	714
Fluência (0,01")	16	10	10	9	9

Fonte: Adaptado de Dawood *et al.* (2019)

Martinez (2014) obteve maior MR para as misturas com resíduo, tanto considerando a mistura em via úmida (5679 MPa), como a em via seca (5165 MPa), quando comparadas ao revestimento convencional (3569 MPa). Esse ensaio não foi realizado por Dawood *et al.* (2019).

No ensaio de resistência à tração, os resultados também são positivos. No trabalho de Martinez (2014), houve um aumento de 0,26 MPa em via úmida e de 0,06 em via seca com o uso do resíduo, visto que o revestimento convencional apresentou resistência à tração de 0,98 MPa. No estudo de Dawood *et al.* (2019), também houve acréscimo no parâmetro em questão com o uso de 30% e 50% de resíduo. No ensaio de dano por umidade induzida, Martinez (2014) obtém resultados de 71,3% e 96,5%, ambos aprovados pela Norma DNIT180/2018 – ME (DNIT, 2018).

O ensaio de estabilidade, Martinez (2014) obteve resultados de 1152,28 kgf, 1537,8 kgf e 1323,8 kgf, sendo eles de referência, via úmida e via seca, respectivamente. No ensaio de Dawood *et al.* (2019), a mistura com 30% teve valor superior ao de referência, sendo ele, uma mistura sem o uso do lodo de estação de tratamento de água, divergindo entre 825,97 kgf e 815,77 kgf, respectivamente. O ensaio de fluência apresenta redução nos dois estudos, de forma que ficam dentro faixa ideal de 8 a 16/0,01 polegadas (DNER, 1995).

O ensaio de desgaste por abrasão realizado por Martinez (2014) apresentou aumento conforme houve a adição do resíduo. O autor explica que isso ocorre devido à diminuição do CAP, porém todos os valores se enquadram dentro da Norma DNER-ES 386/99, respeitando o limite de 25%.

4.3.2 Conclusão dos estudos analisados

Após avaliar as características mecânicas exigidas pelas normas técnicas (DNER, 1994, 1995, 1999; DNIT, 2018a, 2018b), Martinez (2014) concluiu que o uso do lodo de ETA, especialmente por via úmida, é viável. Frente a resultados promissores, o estudo feito por Dawood *et al.* (2019) tem os requisitos necessários para as misturas diante aos ensaios mecânicos realizados. Os autores especificam que a porcentagem mais promissora para a incorporação do resíduo varia de 30% a 50%.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo bibliográfico permitiu analisar a viabilidade da incorporação dos resíduos de minério de ferro, de PET e de ETA em revestimentos asfálticos. Os dados fornecidos pelos diferentes estudos selecionados corroboraram a viabilidade técnica para a incorporação dos resíduos em questão em obras de pavimentação.

Quanto à utilização do resíduo de minério de ferro, Souza *et al.* (2018) obtiveram maior MR e uma maior resistência à tração para as misturas que incorporaram o resíduo em relação aos valores de referência de misturas asfálticas convencionais. Já Arêdes (2016), embora tenha apresentado valores inferiores, não inviabiliza o uso do resíduo, visto que os parâmetros exigidos pela normatização técnica foram atendidos.

O resíduo de PET apresenta resultados promissores. Apesar de haver a diminuição do MR conforme há aumento da adição do resíduo, caso utilize a proporção adequada de 0,5% de flakes de PET de 2 mm ou 0,5% de flakes de PET com substituição parcial de 2,5% do pó de pedra por pó de PET, para Arao (2016) e 0,7% de pó de PET ou 0,7% de flake de PET, para Räder *et al.* (2018); o resíduo atende ao requisito em questão. O ensaio de resistência à tração também são dentro do estabelecido por Norma. Ambos estudos, Arao (2016) e Räder (2019), encontraram tais características nas misturas com PET.

Finalmente, Dawood *et al.* (2019) e Martinez (2017) obtiveram resultados satisfatórios na incorporação de lodo de ETA, sendo observadas maiores resistência à tração e estabilização, além de uma diminuição da fluência. Assim, os estudos analisados indicaram resultados melhores do que os de mistura asfáltica sem a adição dos resíduos.

Além de proporcionar benefícios mecânicos ao pavimento flexível, a incorporação dos resíduos analisados no revestimento apresenta relevância também sob a ótica ambiental e econômica. Como se trata de uma forma ambientalmente adequada de destinação, evita-se eventuais danos ao meio no caso de descarte incorreto. Também, considerando o elevado investimento para a construção dos pavimentos asfálticos, a incorporação de resíduos permite reduzir o uso de materiais e, conseqüentemente, reduzir custos.

Cabe aos profissionais da área de transportes avaliarem viabilidade, segundo condições locais, da utilização de misturas asfálticas com o uso dos resíduos citados, atentando às normativas técnicas. Cabe também aos órgãos técnicos competentes a

criação e o aprimoramento de normas específicas para que cada resíduo tenha sua viabilidade comprovada, assim, facilitando o seu uso.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a continuidade de procedimentos de avaliação de resíduos sólidos que se demonstram promissores na pavimentação visando agregar maior sustentabilidade à engenharia rodoviária.

REFERÊNCIAS

ALBERTO, Vinicius Maróstica. **Contribuição à avaliação da ecoeficiência na escolha de estruturas de pavimentos flexíveis, semirrígidas ou invertidas.** 2018. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D4867:** Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures. West Conshohocken, 2014.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli.; ZORDAN, Sérgio Eduardo; JOHN, Vanderley Moacyr. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos da construção civil.** São Paulo, 2010.

APAZA, Freddy Richard Apaza. **Estudo de mistura asfáltica contendo resíduo do minério de ferro.** 2015. 212 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia, 2015.

ARAO, Mieka. **Avaliação do comportamento mecânico de misturas asfálticas com a inserção de polietileno tereftalato (PET) triturado.** Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

ARÊDES, Márcio Leandro Alves de. **Avaliação do comportamento mecânico de misturas asfálticas utilizando resíduo do beneficiamento do minério de ferro.** 2016. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Instituto Militar de Engenharia, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004:** Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 15115:** Agregados reciclados de resíduos sólidos da construção civil - Execução de camadas de pavimentação - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2004.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: Materiais, projetos e restauração.** 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentos de Concreto.** 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

BASTOS, Jucilene Batista dos Santos; SOARES, Jorge Barbosa; NASCIMENTO, Luís Alberto Hermann do. Critérios para os resultados do ensaio uniaxial de carga

repetida de misturas asfálticas em laboratório a partir do desempenho em campo. **Revista Transportes**. Rio de Janeiro, n.2, p. 29 – 40, ago. 2017.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA, Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 1 ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS ABEDA, 2008.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a lei n.9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providencias. **Diário Oficial da União**, 12 fev. 2010.

BRITO, Lélío Antônio Teixeira. **Avaliação e análise paramétrica do ensaio de compressão diametral sob cargas repetidas em misturas asfálticas**. 2006. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2006.

CAMPANA, Alex Silas. **Caracterização e estudo do comportamento térmico de resíduo (lodo) proveniente de estações de tratamento de água e de esgotos do município de Araraquara**. 2009. 82 p. Dissertação (Mestrado em Química), Instituto de Química, UNESP, Araraquara, 2009.

CERATTI, Jorge Augusto Pereira.; REIS, Rafael Marçal Martins de. **Manual de Dosagem de Concreto Asfáltico**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília. 2017.

COELHO, Rodrigo Vaz; TAHIRA, Fernando Shigueu; FERNANDES, Fernando; FONTENELE, Heliana Barbosa; TEIXEIRA, Raquel Souza. Uso de lodo de estação de tratamento de água na pavimentação rodoviária. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, n. 2, p.11-22, 2015.

CORREIA, Rodrigo da Silva. **Estudo de viabilidade econômica para o uso de resíduos de construção e demolição em camadas de base e sub-base de pavimentos**. 2014. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenheiro Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

COSTA, A. V.; GUMIERI, A. G.; BRANDÃO, P. R. G. Piso intertravado produzido com rejeito de sinter feed. 2014. **Revista IBRACON de Estruturas e Materiais**, Belo Horizonte, n. 7, p. 228-259, fev. 2014.

DAWOOD, Sahar A. Ali; OBAID, Hayder Abbas; HASHIM, Tameen Mohammed; JASIM, Hadeel Kareem. Influence of using alum sludge as an aggregate on hot mix Asphalt. In: IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING. **Anais...** IOP Publishing, 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM – DNER. **DNER-ME 043/95**: Misturas betuminosas a quente – ensaio de Marshall. Rio de Janeiro: DNER, 1995.

_____. **DNER-ME 133/94**: Misturas betuminosas – determinação do módulo de resiliência. Rio de Janeiro: DNER. 1994.

_____. **DNER-ME 138/94**: Misturas betuminosas - determinação da resistência à tração por compressão diametral. Rio de Janeiro: DNER. 1994.

_____. **DNER-ME 383/99**: Desgaste por abrasão de misturas betuminosas com asfalto polímero – ensaio Cantabro. Rio de Janeiro: DNER, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **DNIT 031/2006 - ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro: DNIT. 2006.

_____. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006.

_____. **DNIT 136/2018 – ME**: Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência a tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2018.

_____. **DNIT 180/2018 – ME**: Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação do dano por umidade induzida – Método de ensaio. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2018a.

_____. **DNIT 184/2018 – ME**: Pavimentação – Misturas asfálticas – Ensaio uniaxial de carga repetida para determinação da resistência à deformação permanente – método de ensaio. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2018b.

DE SANT’ANA FILHO, Joaquim Nery. **Estudos de reaproveitamento dos resíduos das barragens de minério de ferro para uso na pavimentação de rodovias e fabricação de blocos intertravados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Matérias) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais., Belo Horizonte, 2013.

FENGLER, Ricardo Zardin. **Caracterização de ligantes e misturas asfálticas modificados com a adição de Trinidad lake asphalt**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

FORLIN, Flávio J.; FARIA, José de Assis F. Considerações sobre a reciclagem de embalagens plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, Campinas, v. 12, p. 1-10, 2002.

GONÇALVES, Fernando Pugliero. **O desempenho de pavimentos flexíveis**. 1999. 149 p.

MACHADO, Denise Maria Camargo **Avaliação de normas de identificação de defeitos para fins de gerência de pavimentos flexíveis**. 2013. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Infraestrutura de Transportes, Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **Utilização do módulo de resiliência como critério de dosagem de mistura asfáltica; Efeito da compactação por impacto e giratória**. 2004. 461 f. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2004.

MARTINEZ, Juan Gabriel Bastidas. **Avaliação de desempenho de misturas betuminosas com adição de lodos de ETA e de ETE**. 2014. 113 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

MEDEIROS, Uíslei Araújo. **Viabilidade do uso de resíduos de borracha na pavimentação asfáltica**. 2019. 32 f. TCC (Graduação) – Curso de Ciências Militares, Academia Militar das Agulhas Negras, Resende, 2019.

MEDINA, Jacques de.; MOTTA, Laura Maria Goretti de. **Mecânica dos Pavimentos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2015.

MOREIRA, Marco Antonio Laurelli; FREITAS JUNIOR, Moacir de.; TOLOI, Rodrigo Carlo. O transporte rodoviário no Brasil e suas deficiências. **Refas: Revista Fatec Zona Sul**, São Paulo, n. 4, 2018.

NOGUEIRA, Mônica Grassi. **Comparação do comportamento em campo de concretos asfálticos com CAP 30-45 e com CAP 50-70 para revestimentos de pavimentos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

OLIVEIRA, Millena Damilde de. **Utilização de resíduos em pavimentação rodoviária**. 2014. 116 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

PAZOS, Abraham Guerrero; SACRAMENTO, Francisco Thiago; MOTTA, Laura Maria Goretti da. Efeitos de propriedades morfológicas de agregados no comportamento mecânico de misturas asfálticas. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 44., 2015, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: RAPv, 2015.

PINTO, Luiz Eduardo Maia.; MELO, Ricardo Almeida de.; ASSIS, Sérgio Ricardo Honório de. Estudo de viabilidade do uso do resíduo PET em obra rodoviária. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 1., 2010, Bauru. **Anais...** Bauru: IBEAS, 2010.

RÄDER, Adriéli Raquel da Silva; DINIZ, Bruna Calabria; SANTOS, Gabriela Fanck dos; BEIER, Alifer Andrei Veber; ECHEVERRIA, José Antônio Santanna. Estudo da adição de resíduos de garrafas pet pós-consumo em misturas asfálticas à quente. In:

CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET., 32., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: ANPET, 2018.

SANTOS, Mario Roberto dos.; TEIXEIRA, Cláudia Echevengúá.; KNISS, Cláudia Terezinha. Avaliação de desempenho ambiental na valorização de resíduos sólidos de processos industriais. **Revista de Administração da UFSM**, Santa Maria, v. 7, p. 75-92, nov. 2014

SERRA; Gleyciane Almeida; GUIMARÃES, Antonio Carlos Rodrigues; SILVEIRA; Virleene Leite; BARROS; Ayrton Mendes dos Santos; REIS, Ana Carolina as Cruz Reis. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 32., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: ANPET, 2018.

SILVA, Rodolfo Gonçalves Oliveira da. **Estudo laboratorial do desempenho mecânico de misturas asfálticas com resíduos industriais de minério de ferro.** 2010. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

SILVEIRA, Leonardo Ramos da.; BORGES, Rafael de Assis. Análise do uso de resíduos da construção civil como agregado miúdo em pavimentação. **Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia**, Goiânia, v. 9, p. 112-122, 2016.

SOUZA, Wana Maria; RIBEIRO, Antonio Júnior Alves; XAVIER, Isaac Wanderson de Pontes Xavier; SANTOS, Marianny Viana dos. Resíduos de cerâmica vermelha como um material ambientalmente sustentável para uso na pavimentação. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, Ceará, n. 2, p. 202 -213, set. 2019.

SOUZA, Thiago Delgado de; SILVA, Bem-Hur de Albuquerque e; GUIMARÃES, Antonio Carlos Rodrigues; MESQUITA, Andressa Rosa. Propriedades mecânicas de concretos asfálticos dosados com rejeitos do beneficiamento magnético a seco do minério de ferro. **Revista Transportes**. Rio de Janeiro, n. 1, p. 175 – 187, abr. 2020.

TEIXEIRA, Natália Costa; NASCIMENTO, Thaynara Valuar do. **Comparativo da aplicação do concreto betuminoso usinado à quente e do asfalto borracha nos pavimentos asfálticos.** 2019. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Jaraguá, Anápolis, 2019.

TORRÃO, Helder Capela. **Reabilitação de pavimentos rodoviários flexíveis.** 2015. 146 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Construção, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2015.