

RECICLAGEM DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS: ANÁLISE DE DESEMPENHO PÓS EXECUÇÃO

Priscila Rejane Rigon

Acadêmica do curso de Engenharia Civil UNIJUÍ.

e-mail: prii.rigon@hotmail.com

José Welington Ribeiro Greff

Acadêmica do curso de Engenharia Civil UNIJUÍ.

e-mail: zewe_rgsul@hotmail.com

Thais Regina Kolling

Acadêmica do curso de Engenharia Civil UNIJUÍ.

e-mail: thais.reh@gmail.com

André Luiz Bock

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Civil UNIJUÍ

e-mail: andre.bock@unijui.edu.br

Felipe Gregory Rosa

Engenheiro Civil pela UNIJUÍ

e-mail: felipe.gregorydarosa@hotmail.com

Resumo. *Este trabalho visa avaliar o desempenho de um trecho rodoviário na região Noroeste do Estado do Rio Grande do sul, por meio de análises periódicas das condições funcionais e de segurança do revestimento asfáltico, tratando também de uma análise do processo de restauração de pavimentos flexíveis através de reciclagem a frio in situ e execução de nova camada de rolamento com tratamento superficial duplo mediante análise recorrente de um trecho da via no município de Santa Rosa localizado na estrada de acesso a área urbana da Vila Sete de Setembro entre a RS 307 e o final da área urbana. Foram realizados os ensaios de ATR e macrotextura, que demonstraram o desempenho do uso da reciclagem a frio. Os resultados do afundamento mostraram que, embora a obra seja recente, já apresenta alguns afundamentos, porém não havendo trechos com necessidade de reforço. A macroestrutura se mostrou satisfatória para uso e velocidade de projeto da via tendo a textura superficial classificada como média.*

Palavras-chave: Pavimento. Reciclagem.

1. INTRODUÇÃO

O transporte rodoviário tem grande participação em diferentes frentes de serviços no Brasil, é o principal meio para transportes de cargas e de pessoas no país (CNT, 2018 – Pesquisa de Rodovias).

Ainda cita que o Brasil precisa viver um novo ciclo de crescimento, melhorando a qualidade das rodovias para evoluir em aspectos como a redução de acidentes e mortes, gastos excessivos aos usuários como combustível e desgaste dos veículos, entre outros (CNT, 2018 – Pesquisa de Rodovias).

Segundo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2005, p. 28) a reciclagem asfáltica parte da necessidade de melhoria na malha rodoviária, como alternativa na solução para reabilitação de pavimento com alto grau de deterioração.

Segundo Vieira et al. (2015) a situação atual do modal rodoviário exige, estratégias e ações de melhorias devem ser tomadas, tais como investimentos eficientes com o dinheiro público e, ademais, conhecer técnicas de recuperação rodoviária.

Fundamenta ainda que a reciclagem é uma técnica eficiente, gerando resultados satisfatórios e inúmeros benefícios, tais como a diminuição das escavações de material em áreas de empréstimos, minimizando impactos ambientais, desgaste de maquinário, além de eliminar custos dessas atividades, entre outros (VIEIRA ET AL. 2015).

A Reciclagem a Frio é um processo em que a estrutura do pavimento é removida total ou parcialmente, processada e misturada com agentes estabilizadores, tais como emulsão asfáltica, agentes rejuvenescedores ou estabilizantes químicos (DNIT, 2005).

Esta uma técnica muito utilizada por órgãos rodoviários, o que estimula a fabricação de equipamentos próprios para reciclagem, que agregam potências de atuação nos diferentes casos, tais como camadas de revestimentos espessos até subleitos com características plásticas, obtendo ótimo custo-benefício (DNIT, 2005).

Devido ao custo-benefício e importantes causas que contribui, a reciclagem vem ganhando cada vez mais espaço entre as empresas da área de pavimentação, atendendo a questões de cunho mundial como a sustentabilidade (DNIT, 2005).

Tendo em vista a melhora do cenário atual da malha rodoviária, de forma econômica e ecologicamente correta, esse trabalho tem como objetivo a análise do processo de reciclagem de pavimento asfáltico composto por TSD (Tratamento Superficial Duplo) e base granular com posterior análise de desempenho da solução adotada ATR (Afundamento do Trilho de Roda) e Macrotextura.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pavimento

O pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras dimensionadas, afim de

obter maior conforto, economia e segurança, proporcionando aos usuários melhoria nas condições de rolamento. Bernucci et al. (2010) descreve como uma estrutura destinada a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima de forma técnica e econômica.

Na visão de Balbo (2007) as estruturas do pavimento são projetadas com sentido estrutural, sendo compostas por camadas sobrepostas de diferentes materiais e dosagens, compactados para receber e transmitir esforços de maneira a aliviar pressões sobre as camadas inferiores.

O Manual da Pavimentação, DNIT (2006) descreve as definições das camadas do pavimento, em seção transversal, sendo:

- Subleito: é o terreno de fundação do pavimento;
- Leito: é a superfície obtida através de terraplenagem;
- Greide do leito: é o perfil do eixo longitudinal do leito;
- Regularização: é a camada posta sobre o leito destinada a conformá-lo transversal e longitudinalmente de acordo com as especificações.
- Reforço do subleito: é uma camada de espessura constante, que é aplicada com intuito de melhorar as características geotécnicas do material do subleito, devido a circunstância técnico econômicas.
- Sub-base: é a camada complementar à base, quando por circunstâncias técnico econômicas não for aconselhável construir a base diretamente sobre regularização;
- Base: é a camada destinada a resistir e distribuir os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se constrói o revestimento;
- Revestimento: é a camada, que deve ser impermeável, e que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos tendo como função melhorar a superfície de rolamento quanto as condições de conforto, segurança e desgaste.

2.2 Pavimento Asfáltico

Os pavimentos rodoviários classificam-se, de acordo com Bernucci et al. (2006), tradicionalmente em dois tipos básicos: rígidos e flexíveis. As composições com os dois tipos de camadas são classificadas como semirrígidos ou semiflexíveis. Em conformidade com o Manual de Pavimentação do DNIT (Brasil, 2006), as classificações, bem como exemplos e descrições dos pavimentos flexíveis, rígidos e semiflexíveis estão representadas na tabela 1:

Tabela 1 – Classificação dos Tipos de Pavimentos

Classificação dos Pavimentos	
Pavimento Flexível	Aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica.
Pavimento Rígido	caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.
Pavimento Semirrígido ou Semiflexível	aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.

Fonte: ROSA (2018).

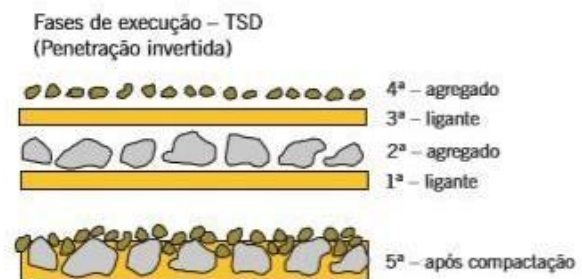
2.3 - Tratamento Superficial Duplo

Os tratamentos superficiais, segundo Bernucci et al. (2006), compreendem-se em aplicações de ligantes asfálticos e agregado sem mistura prévia em usina. A mistura ocorre na própria pista, com posterior compactação que irá promover o recobrimento parcial e a adesão entre agregados e ligantes.

O tratamento superficial duplo – TSD, é um revestimento flexível de espessura delgada, executado por espalhamento sucessivo de ligante asfáltico e agregado em operação múltipla.

O tratamento múltiplo começa pela aplicação do ligante com penetração invertida na primeira camada do agregado, nas camadas seguintes de ligante, será tanto invertida como direta. A Figura (01) ilustra a composição e ordem das camadas. (BERNUCCI ET AL. 2006)

Figura 01 – Fases da Execução – TSD (Penetração invertida)



Fonte: adaptado de Bernucci et al. (2006).

2.4 - Reciclagem De Pavimentos Flexíveis

No Brasil, segundo CNT (2017), 99% da malha rodoviária pavimentada é executada com pavimento flexível. Os pavimentos flexíveis que integram a grande maioria da rede, muitas vezes encontrando-se no fim da sua vida útil. Um estudo realizado durante treze anos de gestão pública, concluiu que a extensão de rodovias em estado perfeito diminuiu, enquanto a em estado desgastado aumentou. Ao passar do tempo os pavimentos rodoviários sofrem processos de degradação sob ação do tráfego e das condições climáticas, fazendo-se necessário a reabilitação destes pavimentos (CNT, 2017).

O pavimento asfáltico ao tornar-se estruturalmente deteriorado, compromete sua capacidade de carga, necessitando a colocação de espessuras adicionais de camadas ou através

da fresagem do revestimento deteriorado. O material resultante da operação de corte, por uso de máquinas especiais (fresagem), pode ser reaproveitado por reciclagem (BERNUCCI ET AL., 2006)

Bernucci et al. (2006) refere-se ainda, que a reciclagem de pavimentos sendo um processo de reutilização de misturas asfálticas envelhecidas para produção de novas misturas, reutilizando os agregados e ligantes deteriorados, produto da fresagem, com adição agentes rejuvenescedores, espuma de asfalto, CAP ou EAP novos.

A reciclagem de pavimentos rodoviários é umas das técnicas de reabilitação estrutural de um pavimento flexível degradado, que surge como alternativa às soluções mais tradicionais que envolvem a execução de camadas de reforço em misturas betuminosas fabricadas a quente, em central, geralmente acompanhadas de fresagem das misturas betuminosas mais degradadas e do seu transporte a depósito (Batista, 2004).

De acordo com Cunha (2010), a técnica de reciclagem também implica a fresagem prévia do pavimento, de modo a eliminar as fendas existentes na superfície de rolamento. No entanto, o material resultante do processo de fresagem não é desprezado, parte deste material e em alguns casos a sua totalidade volta a ser utilizado nas novas camadas (como base e rolamento) constituintes do pavimento reabilitado.

2.5 Reciclagem a Frio

Segundo o DNIT (2006) são divididas em duas as técnicas de reciclagem de pavimentos flexíveis, in situ ou em centrais de usinagem, podendo ainda ter diversas derivações a depender do local aonde será realizada.

A reciclagem a frio in situ, de acordo com ROSA (2018), corresponde a um processo de remoção total ou parcial e, reduzida para dimensões apropriadas, posteriormente sendo

misturada a frio no próprio local. Podem ser adicionados materiais betuminosos (emulsão asfáltica), agregados, agentes rejuvenescedores ou estabilizantes químicos. A mistura final poderá ser empregada em camada de base com cobertura de uma camada asfáltica.

No caso de misturas a frio, segundo Batista (2004), há um menor consumo de energia, dado não ser necessário aquecer o ligante e os agregados, que são aplicados a temperatura ambiente. A reciclagem in situ a frio como solução de reabilitação alternativa a uma solução técnica convencional pode corresponder a uma redução de custos da ordem de 20 a 40 % e a poupanças de energia de 40 a 50%.

3. METODOLOGIA

A pesquisa dá-se de forma indireta; por meio de pesquisa bibliográfica através de conceitos teóricos, análise dos dados estatísticos apresentados e realização de ensaios de campo.

O trecho analisado está situado no município de Santa Rosa, região noroeste no Rio Grande do Sul, na estrada de acesso a área urbana da Vila Sete de Setembro entre a RS 307 e o final da área urbana com extensão de 3,02 km e área de 21.140 m².

Este trabalho apresenta um paralelo de dois momentos, com trafego zero e consequentemente após seis meses de uso da via, em que coletados os dados em campo, puderam ser analisados. Trata-se dos dados coletados e obtidos no trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, de Felipe Gregory da Rosa coletados no período de junho/2018 a novembro/2018.

A metodologia proposta para o trabalho compreende o acompanhamento, análise e descrição das etapas de execução e pós execução programadas para a obra de

restauração, reestruturação e recapeamento asfáltico.

A empresa executora realizou uma série de ensaios laboratoriais, além de levantamento do entorno, avaliação da pista e a mesma apresentou-se com alto grau de deterioração com péssimas condições de tráfego.

Este artigo irá basear-se nos dados coletados em campo através dos ensaios de (ATR) Afundamento no Trilho de Roda e ensaio de Macrotextura (Mancha de Areia).

3. 1 Ensaio de ATR – Afundamento no Trilho de Rodas

Segundo Norma de Avaliação objetiva da Superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos (DNIT, 2003) o ensaio de afundamento das trilhas de rodas objetiva avaliar a superfície de pavimentos rodoviários (flexíveis e semirrígidos), mediante a contagem e medida das deformações permanentes nas trilhas de roda.

Figura 2: Execução do Ensaio de ATR



Fonte: Própria (2018)

3. 2 Ensaio de Macrotextura – Mancha de Areia

De acordo com Bernucci et al. (2010) a macrotextura é uns dos principais fatores que

interferem no atrito, ademais, o desgaste também pode ser um aspecto positivo para a macrotextura, visto que o mástique que envolve o agregado deixa um aspecto polido, prejudicando a microtextura e deixando a superfície com menos aspereza e menor capacidade de ruptura da lâmina d'água. Segundo Bernucci et al. (2010, p. 430) a macrotextura pode ser determinada e classificada (Tabela 2) pelo ensaio da altura média (HS), da mancha de areia.

Tabela 2 – Classe de Macrotextura

Textura Superficial	Limites hm (mm) Fonte: Dnit 2006		Aplicação do Revestimento Fonte: Pasquet (1968)
	Mínimo	Máximo	
Muito Fina	< 0,20		Não deve ser utilizado
Fina	0,21	0,40	Reservado p/Zonas Urbanas V< 80km/h
Média	0,41	0,80	Indicado p/ vias com 80km/h<V<120km/h
Grossa	0,81	1,20	Indicado p/vias rápidas com V>120km/h
Muito Grossa	> 1,20		Indicado p/ casos especiais

Fonte: Adaptado de APPV (1999) apud Bernucci et al. (2010)

Figura 3: Ensaio de Mancha de Areia



Fonte: Própria (2018)

4. RESULTADOS

A partir dos ensaios em campo pode-se observar o desempenho do uso da reciclagem a

frio os quais apresentaram os resultados que seguem na análise dos dois períodos.

4.1 Ensaio de ATR – Afundamento no Trilho de Rodas

Ensaio executado conforme a norma (DNIT-PRO 006/2003, p.3) e as medições conforme o passo a passo abaixo:

- Definido a extensão do trecho a ser realizado as medições dos sulcos os afundamentos das trilhas de roda, que ficou do ponto inicial “Estaca 0,00” até o ponto final “Estaca 0,00+300”;
- Marcação dos pontos de ensaio a cada 20m alternados em relação ao eixo da pista de rolamento, ou seja, em cada faixa de tráfego a cada 40 m;
- Medição das flechas (mm) nos pontos definidos com a utilização da treliça referida na Figura 17, sendo medidas as TRI e as TRE.
- Anotação das medidas em milímetros, primeiramente em um formulário criado para anotações dos resultados em campo, e posterior disposto em tabelas digitais, conforme Tabela 4 e 5 e os cálculos do HS, conforme a Eq. (1) (DNIT-PRO 006/2003). Os resultados do ensaio de afundamento de trilha de roda estão expostos na Tabela 3

$$HS = \frac{4V}{D^2\pi} \quad (1)$$

Tabela 3 – Resultados de ATR

TRECHO 1- KM 0+00 A 0+280 (LE e LD)					
Unidade em mm					
Ponto	Estaca	Lado direito		Lado Esquerdo	
		TER	TRI	TER	TRI
1	0+00	0	0	1,5	0
2	0+40	0	0	3,5	0
3	0+80	0	0	1,0	0
4	0+120	0	0	1,0	0
5	0+160	3,5	0	0	0
6	0+200	1,0	0	0	0
7	0+240	0,5	0	1,5	0
8	0+280	1,0	0	0	0

Fonte: Própria (2019)

4.1 Ensaio de Macrotextura – Mancha de Areia

A macrotextura, segundo Bernucci et al. (2006) pode ser determinada de várias formas, sendo a mais comum, e utilizada neste, pelo ensaio simples de altura média da mancha de areia (ASTM E 965).

O ensaio macrotextura foi realizado em duas etapas sendo a primeira no dia 17 de julho de 2018 e a segunda no dia 16 de novembro, contabilizando assim um intervalo de 4 meses entre as medições.

Desta forma a Tabela 4 traz os resultados do primeiro dia de ensaio e a Tabela 5 do segundo.

Por meio das tabelas é possível observar que há uma proximidade entre a maioria dos resultados em função do curto tempo entre as datas dos ensaios e que o segundo ensaio resultou em uma superfície com macrotextura mais aberta, quando o correto seria o resultado inverso a este.

Tabela 4: Resultados 1º Ensaio

Primeiro Ensaio Mancha de Areia (LD)				
Medidas em mm				
Ponto	Estaca	ØD (mm)	HS	Classe
1	0+000	557,5	0,10	Muito Fechada
2	0+020	260	0,47	Média
3	0+040	248,75	0,51	Média
4	0+060	280	0,41	Média
5	0+080	243,75	0,54	Média
6	1+000	285	0,39	Fechada
7	1+020	208,75	0,73	Média
8	1+040	232,5	0,59	Média
9	1+060	221,25	0,65	Média
10	1+080	285	0,39	Fechada
11	2+000	273,75	0,42	Média
12	2+020	247,5	0,52	Média
13	2+040	287,5	0,39	Fechada
14	2+060	305	0,34	Fechada
15	2+080	278,75	0,41	Média
16	3+000	245	0,53	Média

Fonte: Autoria Própria (2018)

Tabela 5: Resultados da 2ª Ensaio

Segundo Ensaio Mancha de Areia (LD)				
Medidas em mm				
Ponto	Estaca	ØD (mm)	HS	Classe
1	0+000	620	0,08	Muito fechada
2	0+020	265	0,45	Média
3	0+040	242,5	0,54	Média
4	0+060	280	0,41	Média
5	0+080	240	0,55	Média
6	1+000	294,5	0,37	Fechada
7	1+020	210,5	0,72	Média
8	1+040	221,25	0,65	Média
9	1+060	213,75	0,70	Média
10	1+080	250,25	0,51	Média
11	2+000	243,75	0,54	Média
12	2+020	222,25	0,64	Média
13	2+040	252	0,50	Média
14	2+060	272,5	0,43	Média
15	2+080	217,5	0,67	Média
16	3+000	187,5	0,91	Aberta

Fonte: Autoria Própria (2018)

Comparando o resultado dos dois ensaios, é possível verificar que as estacas tiveram pouca variação, a primeira permaneceu muito fechada e as estacas 10,13 e 14 mudaram de fechada para média e à estaca 16 mudou de média para a classe aberta.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho analisou através dos ensaios de macrotextura e afundamento de trilha de roda, 4 meses após, o desempenho da execução do processo de reciclagem de pavimento asfáltico composto por TSD (Tratamento Superficial Duplo) e base granular.

Pelos resultados obtidos é possível verificar que o afundamento de trilha se mostrou pouco relevante e que embora a obra é recente já apresenta alguns afundamentos e que não há trechos com necessidade de reforço.

Na mancha de areia os resultados ficaram próximos, entretanto no segundo ensaio resultou em uma superfície com macrotextura mais aberta, enquanto o correto seria o resultado inverso a este, isso se deve a exsudação observada na superfície estudada que se mostra mais lisa e macrotextura fechada.

De acordo com DNIT (2005), experiências de reabilitação de pavimentos asfálticos com as técnicas de reciclagem a frio, indicam maior eficiência em casos como: rodovias de baixo volume de tráfego (vicinais); acostamentos defeituosos de rodovias principais; na utilização do material reciclado como base estabilizada (como é o caso do trecho estudado). Desta forma pode se afirmar que os objetivos desta pesquisa foram atendidos.

6. REFERÊNCIAS

BATISTA, F. A. - **Misturas Betuminosas Densas a Frio**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2004.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: Materiais; Projetos e Restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro, PETROBRAS, ABEDA, 2006, 504p.

BERNUCCI, Liedi Bariani. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 3ª Reimpressão Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2010.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. AGENCIA CNT DE NOTÍCIAS. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** – Brasília: CNT, 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. AGENCIA CNT DE NOTÍCIAS. **Conheça os 13 Principais Defeitos do Pavimento das Rodovias.** Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/estudo/transporte-rodoviario-desempenho>> Acesso em: 01/04/2019.

CUNHA, Célia Melo. **Reciclagem de Pavimentos Rodoviários Flexíveis. Diferentes Tipos de Reciclagem.** Tese de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Lisboa: 2010.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. DER/PR. **Pavimentação: Pinturas Asfálticas. Especificações de Serviços Rodoviários.** DER/PR (DG/AP), 2005, 12p.

_____. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA. COORDENAÇÃO GERAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISA. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de conservação rodoviária.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 564p. (IPR. Publ., 710).

_____. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA. COORDENAÇÃO GERAL DE ESTUDOS E PESQUISA. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos.** 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 310p. (IPR. Publ., 720).

_____. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA / IPR. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos terminologia.** Norma

DNIT 005/2003 – TER. Rio de Janeiro, 2003. 12p.

_____. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA / IPR. **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento.** Norma DNIT 006/2003 – PRO. Rio de Janeiro, 2003. 10p.

_____. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA. COORDENAÇÃO GERAL DE ESTUDOS E PESQUISA. **Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de pavimentação.** 3. ed. Rio de Janeiro, 2006. 274p. (IPR. Publ., 719).

VIEIRA, Jamilson de O, PEREIRA, Diêgo A., MEDEIROS, Alexandre G.B., ROCHA, Eider G.A. **Reciclagem a Frio In Situ de Pavimentos Flexíveis – Estudo de Caso em Trecho Experimental.** Revista Brasileira de Engenharia e Tecnologia. V.1 n.1. Distrito Federal: Centro Universitário UDF, 2015.