

**Reciclagem de Base *in situ* de Pavimento com Problemas Estruturais Danificada pela Presença de Painéis de Alta Severidade****In-situ Base Recycling of Flooring with Structural Problems Damaged by the Presence of High Severity Pans**

DOI:10.34117/bjdv6n10-189

Recebimento dos originais: 08/09/2020

Aceitação para publicação: 08/10/2020

**Marcelo Lúcio Vaz**

Centro Universitário UNIFG, Guanambi, Brasil

E-mail: marcelo.lucio93@hotmail.com

**Gisele Ribeiro Cordeiro**

Centro Universitário UNIFG, Guanambi, Brasil

E-mail: gisele.ribcord@gmail.com

**Naiara de Lima Silva**

Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Brasil

E-mail: naiara.silva@ufsb.edu.br

**Gilvânia Alves de Oliveira**

Centro Universitário UNIFG, Guanambi, Brasil

E-mail: gilvania22@live.com

**Humberto Laranjeira de Souza Filho**

Centro Universitário UNIFG, Guanambi, Brasil

E-mail: humbertolar@gmail.com

**Bruna Naiane Alexandrino Santos**

Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Brasil

E-mail: bruna.naiane@ufsb.edu.br

**RESUMO**

O grande volume de material fresado em obras de reestruturação de pavimentos é uma problemática ambiental, em relação ao seu descarte. A técnica de reciclagem *in situ* deste material para o uso como reforço da camada de base vem ganhando mais espaço em obras de pavimentação no Brasil. Este trabalho teve como objetivo verificar a viabilidade da técnica de reciclagem da camada de base do pavimento através de análises laboratoriais e ensaios de campo, em um trecho deteriorado da Rodovia Federal BR-122, devido à presença de panelas de alta severidade. O material foi ensaiado em laboratório e os resultados obtidos foram confrontados com resultados de ensaios de campo, verificando a viabilidade da aplicação da técnica de reciclagem como solução para a problemática da rodovia. Foi constatado que a estabilização granulométrica com utilização de 30% de pó de brita resolveria a problemática da deteriorização da base.

**Palavras-chave:** Pavimento, Reciclagem, Base, Estabilização granulométrica.

**ABSTRACT**

The large volume of milled material in sidewalk restructuring works is an environmental problem, in relation to its disposal. The technique of *in situ* recycling of this material for use as reinforcement of the base layer has been gaining more space in paving works in Brazil. This work aimed to verify the feasibility of the recycling technique of the base layer of sidewalk through laboratory analysis and field tests on a deteriorated stretch of the Federal Highway BR-122, due to the presence of high severity pans. The material was tested in laboratory and the results obtained were compared with the results of field tests, verifying the viability of the recycling technique as a solution to the road problem. It was verified that the granulometric stabilization with the use of 30% of gravel dust would solve the problem of deterioration of the base.

**Key words:** Flooring, Recycling, Base, Particle size stabilization.

## 1 INTRODUÇÃO

Pavimento é a estrutura destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los; melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança e; resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento (SENÇO, 2007).

O pavimento possui as seguintes camadas: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito. Em algumas ocasiões, não haverá camada de sub-base ou de reforço. Em contrapartida, o revestimento e o subleito são essenciais para caracterização da estrutura (BALBO, 2007).

Mais especificamente, de acordo com o Manual do DNIT (2010), a base é a camada designada para resistir aos esforços provocados pelo tráfego com a função de distribuir os mesmos sobre a sub-base, subleito ou o reforço do subleito regularizado e compactado de maneira correta. As bases podem ser constituídas por solo estabilizado naturalmente, misturas de solos e agregados (solo-brita), brita graduada, brita graduada tratada com cimento, solo estabilizado quimicamente com ligante hidráulico ou asfáltico, concretos, etc. (BALBO, 2007).

Para que funcione adequadamente, todas as peças que compõem o pavimento devem trabalhar deformações compatíveis com sua natureza e capacidade portante, isto é, de modo que não ocorram processos de ruptura ou danificação de forma prematura e inadvertida nos materiais que constituem as camadas (BALBO, 2007).

Segundo DNIT (2006), estas estruturas são concebidas para durarem um determinado período e o decréscimo da condição ou serventia das mesmas ao longo do tempo é conhecida como deterioração. O entendimento dos mecanismos que regem este processo é condição essencial para a identificação das causas que o levaram a condição atual do pavimento, bem como para a escolha e programação da técnica mais adequada para sua restauração.

Para Bonfim (2007), nos anos 70, com a crise econômica internacional e a insuficiência dos materiais asfálticos, em consequência da crise do petróleo, grandes especialistas internacionais juntamente com os órgãos do governo buscaram ideias que proporcionassem melhores condições de trafegabilidade das vias. Assim, surgiu a necessidade de restaurar o pavimento deteriorado utilizando a técnica de reciclagem, atendendo aos aspectos técnicos e econômicos.

Conforme Araújo (2004), entende-se por reciclagem de pavimentos a técnica que consiste em proporcionar uma nova estrutura, reaproveitando o material fresado na sua totalidade ou parcialmente. Desta forma, na homogeneização dos materiais podem ser adicionados outros elementos que irão compor a nova camada.

Para a ANTT (2015), a utilização do material fresado é imensamente positiva na reciclagem de pavimentos, devido a aspectos como: sua abundância, quando corretamente aplicado; excelente

solução no aspecto técnico e econômico; além de ser um material nobre e com características favoráveis para ser reaplicado nas camadas do novo pavimento. Uma das grandes vantagens é que sua aplicação evita desperdício e conseqüentemente não há necessidade de depositar esse material no meio ambiente, diminuindo o impacto ambiental negativo.

Segundo Gomes (2015), o material fresado apresenta, de maneira geral, uma curva granulométrica não uniforme, uma deficiência primordial no que se concerne a resistência estrutural do pavimento. Nesse sentido o agente estabilizador (pó de pedra), por ser um material considerado fino, com diâmetro menor que 8,5 mm e ao mesmo tempo com excelente resistência, surge como solução para desvirtude do material fresado, proporcionando uma melhor uniformidade e em conseqüência disto, uma estabilização granulométrica.

Uma base reciclada *in situ* com estabilização granulométrica, é composta por um conjunto de materiais que compõe uma mistura reciclada, fazendo uso de equipamentos apropriados para este tipo de execução. Em alguns casos essa mistura é composta pelo pavimento existente, água e agregados adicionais. Assim, as proporções de cada material são definidas em laboratório, sendo misturada, espalhada e compactada e, após ser enquadrada nos parâmetros normativos, essa mistura constituirá a nova camada de base (DER/PR, 2005).

Segundo Silva (2012), no processo de estabilização granulométrica, o Índice de Suporte Califórnia (ISC) varia de forma significativa à medida que é alterada a proporção de agente estabilizador de granulometria (pó de pedra) na mistura. O autor concluiu através de ensaios com diferentes proporções de material fresado e pó de pedra, utilizando a energia de compactação modificada, que o aumento de pó de pedra e conseqüentemente diminuição do material fresado na mistura, o ISC aumenta.

Em suma, os defeitos em pavimentos são muitos, podendo acarretar problemas funcionais e estruturais. Contudo, nota-se que os mesmos podem ser tratados com as técnicas de reciclagem, inclusive as panelas, objeto de análise do presente trabalho.

Conforme definição do DNIT (2003), as panelas são cavidades formadas na superfície do pavimento causadas por falta de aderência entre as camadas justapostas, podendo acarretar o deslocamento, como também atingir as camadas inferiores do pavimento ocasionando desagregação das mesmas.

Prestes (2001) classifica as panelas quanto ao seu nível de severidade e profundidade: baixa (menor que 25 mm), média (entre 25 e 50 mm) e alta (maior que 50 mm). E para ser considerada uma panela, o buraco existente na superfície do pavimento deve ter dimensão mínima de 15 cm.

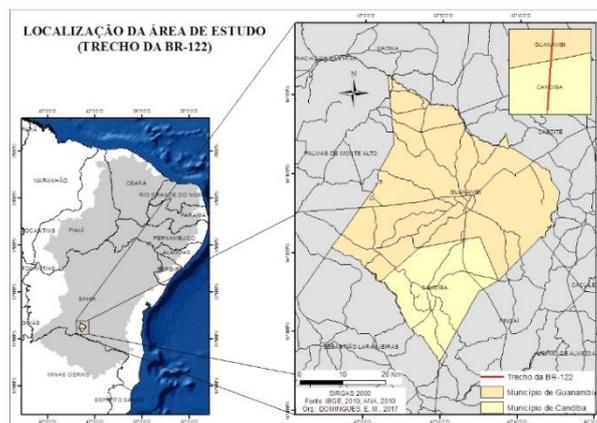
**2 OBJETIVOS**

O presente artigo tem como objetivo verificar a viabilidade da técnica de reciclagem da camada de base do pavimento através de análises laboratoriais e ensaios de campo, em um trecho deteriorado da Rodovia Federal BR-122, devido à presença de painéis de alta severidade.

**3 CARACTERÍSTICAS DO ESTUDO**

A área estudada compreende um segmento da Rodovia Federal BR-122 localizada entre o município de Guanambi e o distrito de Pilões (Candiba) no sudoeste da Bahia, mais especificamente entre os km 841,70 e 842,70 (Figura 1).

Figura 1. Localização da área de estudo (Fonte: IBGE, 2010; Org.: DOMINGUES, E. M., 2017)



A escolha do trecho se deu em função da vulnerabilidade estrutural da base do pavimento devido à presença de painéis de alta severidade provocadas, entre outros fatores, pelo tráfego pesado.

Inicialmente, foram analisados dados fornecidos pela empresa executora, já que as obras iniciaram em um período anterior ao presente estudo. Foi utilizado o método semidestrutivo<sup>1</sup>, e o material deteriorado da janela (solo natural) foi ensaiado em laboratório para definir a solução mais eficaz para o melhoramento da base. Após esse procedimento, a empresa determinou que a mesma iria passar pelo processo de estabilização granulométrica, utilizando 30% de agregado adicional (pó de brita).

<sup>1</sup> “é aquele que se vale de aberturas menores de janelas no pavimento que permitam utilizar um instrumento portátil de pequenas dimensões para avaliar a capacidade de carga de um pavimento, tal como o uso de cones dinâmicos de penetração – DCP” (TRICHÊS e CARDOSO, 2001; TRICHÊS et al., 2004).

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo se desenvolveu de forma experimental verificando a eficiência da estabilização da base utilizando material fresado do pavimento e o percentual pré-estabelecido de agregado adicional. Para isto, foram realizados ensaios laboratoriais e de campo no trecho em que estava sendo executada a reciclagem da base do pavimento.

Os ensaios realizados para o controle na execução da base estabilizada granulometricamente foram: Análise granulométrica (DNER - ME 083/98), Determinação de massa específica aparente in situ com emprego do frasco de areia (DNER - ME 092/94), Determinação da umidade com emprego do speedy (DNER - ME 052/94), Compactação (DNIT 164/2013 - ME), Índice de Suporte Califórnia - ISC (DNIT 172/2016 - ME), Limite de Plasticidade e Liquidez (DNER - ME 082/94) e (DNER - ME 122/94), respectivamente.

Alguns procedimentos foram adotados na realização dos ensaios, de acordo com o DNIT (2010), para o controle das características na execução da base reciclada:

- Determinação da umidade a cada 100 m de pista, antes da compactação, com tolerância admitida de  $\pm 2$  pontos percentuais em relação à umidade ótima;
- Determinação da densidade aparente seca máxima, umidade ótima, com amostragem a cada 200m e ISC e expansão, através de uma amostra por camada para cada 300 m de pista;
- Para obtenção da granulometria da mistura reciclada na pista durante o espalhamento, foi coletada uma amostra por camada para cada 300 m de pista;
- Determinação dos limites de liquidez e plasticidade do material que passa na peneira de abertura 0,42 mm, para cada 300 m de pista;
- Determinação do teor de umidade, da massa específica aparente seca in situ, e o respectivo grau de compactação após a conclusão da camada, para cada 100 m de pista.

A execução da base em campo compreendeu as operações de retirada do material com a máquina recicladora; transporte e adição do agregado para a pista com o caminhão basculante; espalhamento do material com o uso de Motoniveladora (distribuição do material até a sua devida homogeneização); utilização do caminhão pipa para umedecimento e homogeneização do material; compactação do solo com equipamentos apropriados de modo a obter grau de compactação mínimo de 100% (Figura 2).

Figura 2 – Compactação da base



## 5 RESULTADOS E ANÁLISES

A técnica utilizada, para reciclagem da base, foi de estabilização granulométrica apenas (70% material fresado + 30% pó de pedra). Não houve necessidade de estabilização química (uso de cimento), uma vez que os resultados encontrados nos diversos ensaios de laboratório foram satisfatórios e dentro dos parâmetros normativos. A base acabada obteve uma espessura de 20 cm.

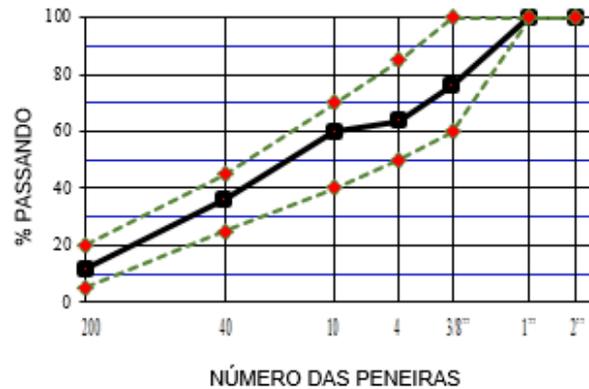
### 5.1 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A tabela 1 apresenta os resultados das análises granulométricas feitas com o material fresado e o agregado adicional (base + 30% pó de brita) para uma espessura de 0,20m. Já no gráfico 1 é apresentada a curva granulométrica da amostra coletada no km 841,7.

Tabela 1 – Análise granulométrica das amostras (material fresado + agregado adicional)

Km	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA (% PASSANDO)						
	2"	1"	3/8"	4	10	40	200
<b>841,7</b>	100	100	76,3	63,8	59,8	36,0	11,7
<b>842,0</b>	100	100	80,4	71,8	66,8	38,4	15,1
<b>842,3</b>	100	100	75,5	68,9	68,1	39,4	17,6
<b>842,6</b>	100	100	82,2	61,5	48,8	26,8	11,5

Gráfico 1 – Distribuição Granulométrica do km 841,70



De acordo com os resultados, ficou evidenciado que todas as amostras apresentaram composição granulométrica satisfazendo a faixa D da Norma DNIT 141/2010 - ES (Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço), como mostra a tabela 2.

Tabela 2 – Faixas granulométricas (Fonte: DNIT, 2010).

Tipos	Para $N > 5 \times 10^6$				Para $N < 5 \times 10^6$		Tolerâncias da faixa de projeto
	A	B	C	D	E	F	
	% em peso passando						
2"	100	100	-	-	-	-	$\pm 7$
1"	-	75-90	100	100	100	100	$\pm 7$
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-	$\pm 7$
Nº 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	10-100	$\pm 5$
Nº 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100	$\pm 5$
Nº 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70	$\pm 2$
Nº 200	2-8	5-15	5-15	10-25	6-20	8-25	$\pm 2$

As faixas são definidas de acordo com o Número N de tráfego calculado segundo a metodologia do USACE. Para o trecho estudado, a empresa executora informou que a rodovia apresenta um  $N > 5 \times 10^6$ .

A faixa em que o material se enquadra é um parâmetro de grande relevância na caracterização do solo para implantação de rodovia, uma vez que conhecendo a magnitude do tráfego (número N), é possível determinar através da mesma se o material irá atender a demanda ou se será necessário utilizar técnicas de melhoramento do solo.

## 5.2 ÍNDICE SUPORTE CALIFÓRNIA

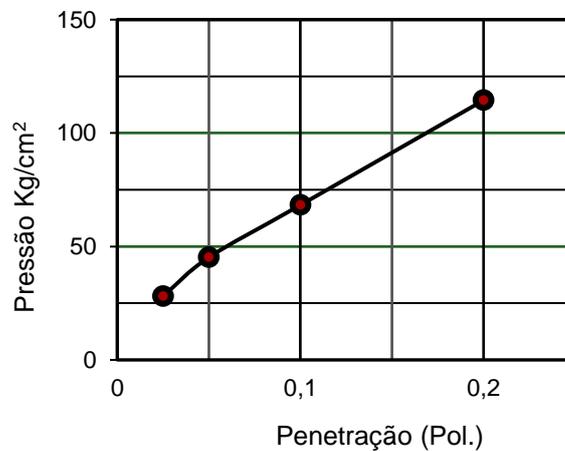
Segundo Brasil (2010), o ensaio de Índice Suporte Califórnia deve atender aos seguintes critério:  $ISC \geq 60\%$  para Número  $N \leq 5 \times 10^6$ ;  $ISC \geq 80\%$  para Número  $N > 5 \times 10^6$ , e Expansão  $\leq 0,5\%$ , determinados através dos ensaios de Compactação, na energia de Proctor Modificado (55 golpes); e do ensaio de Índice de Suporte Califórnia – ISC

Os valores de ISC e expansão das quatro amostras ensaiadas atenderam as características descritas em DNIT (2010), para Número  $N > 5 \times 10^6$ , e estão descritos na tabela 3. O gráfico 2 especifica a variação da pressão (Kg/cm<sup>2</sup>) ao longo da profundidade para a amostra coletada no km 841,70.

Tabela 3 – Ensaio de ISC e expansão

Km	ISC (%)	Exp. (%)
841,70	109,9	0,06
842,00	106,9	0,07
842,30	105,2	0,08
842,60	121,1	0,05

Gráfico 2 - Penetração CBR (ISC) do km 841,70



## 5.3 LIMITES DE CONSISTÊNCIA

Foram obtidos os limites de liquidez (LL) e plasticidade (LP), e o índice de plasticidade (IP), observando as faixas aceitáveis de acordo com as normas já mencionadas, que estabelecem como 25% o limite máximo para o LL e 6% para o IP. Na tabela 4 são representados os valores encontrados para as amostras, dentro dos parâmetros definidos pelas normas vigentes.

Tabela 4 – Ensaio dos limites de consistência

Km	LIMITES DE		
	CONSISTÊNCIA		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
<b>841,7</b>	21,9	18,1	3,8
<b>842,0</b>	23,1	18,7	4,4
<b>842,3</b>	20,4	15,5	4,9
<b>842,6</b>	20,2	15	5,2

#### 5.4 COMPACTAÇÃO

Foram encontrados ainda os valores da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima em laboratório pelo ensaio de compactação, utilizando o método C - energia modificada (55 golpes).

Em campo, foram encontrados os valores da massa específica aparente *in situ* e a umidade *in situ*, utilizando-se o método do frasco de areia e o aparelho *speedy* respectivamente.

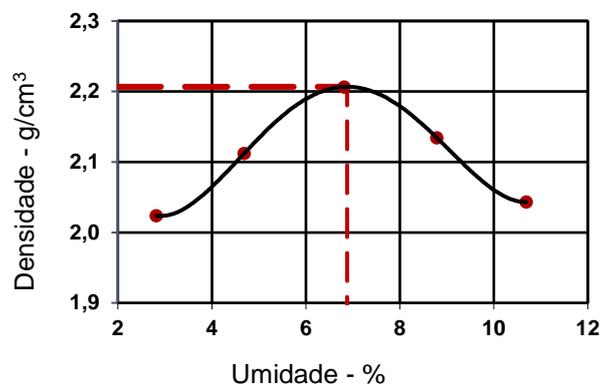
Os cálculos do grau de compactação foram obtidos através da razão entre os valores da massa específica aparente seca *in situ*, obtida na pista, e da massa específica aparente seca máxima, obtida no laboratório. Os resultados obtidos estão demonstrados na tabela 5. Também é demonstrado no gráfico 3 a curva de compactação obtida para o km 841,70.

Com base nos resultados obtidos, através do controle de compactação, ficou comprovado o desvio de umidade dentro do intervalo especificado de  $\pm 2$  pontos percentuais em relação à umidade ótima, obtida em laboratório, e o grau mínimo de compactação desejado de 100%.

Tabela 5 – Ensaios de compactação.

Km	Laboratório		Campo		GC (%)
	w <sub>ot</sub> (%)	g <sub>d</sub> máx. (kg/m <sup>3</sup> )	g <sub>d</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	w (%)	
841,7			2,208	5,8	100
841,8	6,9	2,207	2,213	5,4	100,3
841,9			2,214	5,6	100,3
842,0			2,242	5,4	100,5
842,1	5,6	2,231	2,235	5	100,2
842,2			2,237	5	100,3
842,3			2,227	6	100,7
842,4	6,6	2,211	2,224	5,8	100,6
842,5			2,231	6,2	100,9
842,6			2,238	6	101,1
842,7	6,2	2,214	2,225	5,9	100,5

Gráfico 3 – Curva de compactação do km 841,70



## 6 CONCLUSÕES

De acordo com os estudos realizados, ficou evidente a possibilidade de utilização da técnica de reciclagem de base reaproveitando o material existente na sua totalidade.

Em paralelo, no quesito meio ambiente, a utilização desta técnica minimizou os impactos ambientais, visto que o próprio pavimento foi o local de depósito dos materiais degradados, dando aos mesmos um destino ecologicamente correto.

Ao passar pelo processo de melhoramento, o material fresado foi reutilizado mantendo sua funcionalidade e principalmente retomando as condições de uso, com segurança aos usuários e ao próprio pavimento no que diz respeito às características estruturais.

Ao adentrar nos resultados técnicos encontrados na base deteriorada e na base estabilizada, é lícito que os estudos preliminares com a abertura de janelas e a coleta de materiais para serem ensaiados foram satisfatórios.

Os ensaios realizados em laboratório demonstraram de forma verídica que a adoção de 30% de pó de brita como agregado adicional, resolveria a problemática da deterioração da base devido à presença de panelas de alta severidade.

Para a validação dos resultados obtidos em laboratório, foram feitos os ensaios em campo, durante o processo de execução da obra. Desta forma, ficou comprovado que o método utilizado e o agregado adicional satisfizeram as necessidades da base do pavimento, atendendo aos critérios normativos.

Por tudo que foi mencionado cabe ressaltar que a técnica de reciclagem demonstra ser uma boa alternativa para o desenvolvimento das malhas rodoviárias brasileiras. Neste sentido, o aprimoramento da técnica deve ser contínuo uma vez que as descobertas de novas tecnologias seguem em ritmo acelerados e podem contribuir significativamente para a evolução do método.

Desta forma, seguir os padrões normativos torna-se fator preponderante para o conforto estrutural e funcional das técnicas existentes e das que possam surgir.

**REFERÊNCIAS**

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. ANTT. Relatório técnico - Pesquisa RDT CONCEPA/ANTT. Reciclagem de pavimentos flexíveis: Estudo da estabilização química e granulométrica de material fresado para uso como camada de pavimento. Porto Alegre, 2015.

ARAÚJO, L. M. D. (2004). Estudo do comportamento de material fresado de revestimento asfáltico visando sua aplicação em reciclagem de pavimentos. 110 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

BALBO, J. T. (2007). Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos. 558 p.

BONFIM, V. (2007). Fresagem de Pavimentos Asfálticos. 3ª ed., São Paulo: Exceção Editorial. 127 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto e Pesquisas Rodoviárias 2ª ed., Rio de Janeiro, 2006.

\_\_\_\_\_. DNIT 005/2003 - TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos Terminologia. Rio de Janeiro, 2003. 12 p.

\_\_\_\_\_. DNIT 141/2010 - ES: Pavimentação – Base Estabilizada granulometricamente - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2010. 9 p.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. DNER-PR. (2005) Pavimentação: Reciclagem de pavimento in situ com estabilização granulométrica. DER/PR ES-P 34/05. Curitiba.

GOMES, L. F. T. (2015) Estudo da viabilidade do uso de material fresado com adição de cimento como opção de base e sub-base em pavimentos. 2015. 75 f. Trabalho de conclusão de curso II (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. (2010). Censo Demográfico. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br>>. Acessado em: 03 de maio de 2017.

PRESTES, M. P. (2001) Métodos de avaliação visual de pavimentos flexíveis: Um estudo comparativo. 2001. 108 f. Trabalho de conclusão do curso (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SENÇO, W. (2007) Manual de Técnicas de pavimentação. 2ª ed., Vol. I. São Paulo: Pini. 761 p.

SILVA, C. F. S. C. (2012). Reutilização do resíduo oriundo dos serviços de restauração asfáltica como material alternativo em camadas de pavimentos flexíveis. 2012. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.