Reciclagem de Pavimento Flexível a Frio com Adição de Aglutinante Hidráulico, Estudo de Caso

Agnaldo Aparecido Alves dos Santos[1]
Fábio Jones Morgenstern[1]
Magnun Diniz Gardine[1]
Washington Batista Souza[2]

[1] *Graduando em Engenharia Civil, Faculdade Educacional Araucária*
[2] *Professor Orientador, MSc, Faculdade Educacional Araucária*

RESUMO

Estudo da redução de deflexão no pavimento utilizando o método de reciclagem com adição de aglutinante hidráulico e com o emprego de equipamento de resposta tipo Viga Benkelman. Sendo que o presente estudo identifica as vantagens do processo em relação aos sistemas convencionais, que necessitam de uma camada com maior espessura elevando assim o greide atual, o que leva os engenheiros a buscar técnicas diferenciadas, como exemplo a adição de aglutinante que tem sucesso comprovado, porém pouco difundido no meio.

Palavras chave: Pavimentos, Restauração, Deflexão

ABSTRACT

Deflection reduction study on pavement using the recycling method with addition a hydraulic binder and with the use of chevron type response Benkelman equipment. Since the present study identifies the process advantages over conventional systems which require a layer of greater thickness thus increasing the current greide , which leads engineers seek different techniques , for example the addition of binder that has proven successful but little widespread in the middle.
Keywords: Paviments, Restoration, Deflection

1. INTRODUÇÃO

A reciclagem de pavimento com adição de aglutinante hidráulico é um tema estudado e aplicado há bastante tempo em vários estados brasileiros, mesmo assim não é difundido como deveria, devido a pouco estudos técnicos e controle tecnológicos. No atual momento, em que se deve trabalhar com o menor impacto ambiental possível, evitando a degradação da natureza, executando obras com maior agilidade e com menor prazo e causando o menor transtorno possível ao trafego local, a reciclagem de pavimento com adição de aglutinante hidráulico torna-se uma opção viável e atrativa.

Essa técnica tem como objetivo transformar o pavimento flexível em um pavimento semirrígido, provocando com isso uma melhor distribuição das tensões aplicada à estrutura do pavimento, aproveitando a estrutura existente sem comprometer o novo dimensionamento e mantendo o greide da via com pequeno aumento de altura.

O estudo de caso apresenta uma solução adotada em uma via urbana na cidade de Curitiba, onde foi feita a restauração do pavimento, utilizando a adição de aglutinante hidráulico. Para que haja a redução da deflexão do pavimento a níveis aceitáveis para a condição de tráfego, sem a demolição de toda a estrutura do pavimento existente, faz-se necessário a reciclagem da camada de rolamento, com a correção granulométrica adicionando o aglutinante hidráulico, tornando a camada reciclada em uma base semirrígida.

Nas últimas décadas houve um grande aumento de tráfego nas vias urbanas e rodoviárias, com isso também ocorreu o crescimento exponencial do número de solicitações sobre o pavimento. Um exemplo é a via exclusiva de ônibus que liga o Bairro do Pinheirinho ao centro, objeto do nosso estudo, mais especificamente na Av. Sete de Setembro na área central de Curitiba, a qual foi dimensionada em um período onde se trafegava apenas com ônibus de dois eixos. Provavelmente na época se previu um crescimento da frota, mas não se imaginava um aumento tão grande, tanto em quantidade de veículos, quanto o aumento de números de eixos por veículo, como por exemplo é o caso dos Bi Articulados. Diante disso nos depara-se com o objeto de estudo, a restauração desse pavimento, que já teve superada a sua expectativa de vida. Similarmente a este estudo de caso, em rodovias se utiliza a técnica de retirar a camada de rolamento, aumentando a estrutura quando necessário e repondo nova camada de rolamento, com o objetivo de aumentar ou restaurar a sua vida útil, mas em segmento urbano esta intervenção se torna mais difícil, pois existem casas e comércios que são afetados com o aumento do greide (altura da rua), o sistema de drenagem que sofre alterações, calçadas removidas, etc. Ainda considera-se o alto consumo de material natural usado nessa modalidade, em um momento em que se trabalha para reduzir a utilização de recursos naturais.

A restauração de um pavimento inicia-se com o estudo do comportamento atual, defeitos e estrutura existentes e tráfego atual, com esses dados elabora-se um projeto de dimensionamento de acordo com as normas vigentes. Para este estudo de caso, o dimensionamento mostrava a necessidade de reforço nas camadas, como tratava-se de um pavimento urbano onde não havia a possibilidade de aumento da altura do greide para o reforço, optou-se pela reciclagem.

O estudo da base semirrígida já vem de longa data, em 1962 os engenheiros Childs e Nussbaum fizeram os primeiros estudos, concluído que existia uma equivalência de 2 para 1 em relação a espessura de uma base em brita graduada simples, ou seja, para 10cm de base em brita graduada simples equivale para o dimensionamento 20cm (BALBO 2007)

Quando a carga é aplicada sobre um pavimento semirrígido, ocorre maior distribuição das tensões, tornando a tensão que chega nas camadas subjacentes muitos menores que a mesma carga aplicada em um pavimento flexível, reduzindo dessa maneira as espessuras dos materiais componentes da pavimentação.

Diante das vantagens verificadas na aplicação do pavimento semirrígido, e com os devidos cálculos de dimensionamento para essa solução, verificou-se que não haveria a

necessidade da substituição e aumento de toda a estrutura do pavimento, tornando essa solução viável para os obstáculos que havia no segmento a ser restaurado.

Dessa forma o objetivo geral deste estudo de caso é apresentar a redução da deflexão do pavimento em uma restauração a níveis aceitáveis, apresentando ainda que não haverá necessidade de demolição e reconstrução de todas as camadas, minimizando o consumo de matéria prima natural através de aproveitamento do material já utilizado e mantendo o greide do pavimento a nível aceitável diante das construções lindeiras e com maior rapidez executiva.

Ainda como objetivo específico apresentar os resultados positivos obtidos com a reciclagem da atual camada de rolamento (asfalto) através de correção granulométrica e adição de aglutinante hidráulico, transformado em base semirrígida que melhora a distribuição das tensões à estrutura, reduzindo dessa forma a deflexão aceitável para a nova camada de rolamento sem ser necessário a demolição total da estrutura atual.

Para avaliar esse resultado, foi utilizado o método de verificação da deflexão atual do pavimento através de viga Benkelman, logo em seguida é feito a coleta e estudo em laboratório da condição granulométrico atual da camada de rolamento.

A partir destes estudos foi possível desenvolver em laboratório uma correção necessária da granulometria e com diversos ensaios de percentuais diferentes de aglutinante hidráulico (Cimento Portland) chegou-se ao percentual necessário para atingir a resistência ideal indicada em norma. Já com os projetos iniciou-se os trabalhos de restauração, com fresa da camada de rolamento, incorporação do aglutinante e correção granulométrica. Finalmente com a camada de rolamento transformada em base semirrígida e aplicado nova camada de rolamento em CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente), novamente executou-se o ensaio com viga Benkelman para a verificação da nova deflexão. Diante do exposto acima, o método do estudo será o acompanhamento dos ensaios de campo, ensaios de laboratório, método construtivo (execução) e ensaios de campo posterior a execução.

2. DESENVOLVIMENTO

A técnica de reciclagem de pavimentos já foi utilizada em alguns trechos de rodovias do brasil, porém diante de poucos estudos e controles tecnológicos que ainda não permitia prever a vida útil do pavimento após reciclado, por esta razão é que esta técnica era pouco utilizada (DAVID, 2006).

Diante da questão ambiental e escassez de matéria prima, nos últimos anos houve avanço na tecnologia com novos equipamentos e estudos aprimorados sobre a reciclagem de pavimentos. Mas em recente pesquisa sobre o levantamento de defeitos e aplicação da técnica de reciclagem, onde foi testado o desempenho de vida útil de trechos diversos com reciclagem, passou-se a utilizar com mais frequência a referida técnica.

Os resultados indicam que os comportamentos das estruturas tendem a ter uma vida útil de 7 a 15 anos para reciclagem com reforço de CBUQ e de 6 a 8 anos para reciclagem com tratamento superficial (ARRA, 2001).

2.1 RECICLAGEM DE PAVIMENTOS

Entende-se por reciclagem de pavimentos, a reutilização total ou parcial dos materiais existentes no revestimento e/ou da base e/ou da sub-base, em que os materiais são remisturados no estado em que se encontram após a desagregação ou tratados por energia térmica e/ou aditivados com ligantes novos ou rejuvenescedores, com ou sem recomposição granulométrica (MOMM E DOMINGUES, 1995).

Ainda segundo Kandhal e Mallick (1997) o reaproveitamento do material existente no pavimento para reproduzir um novo pavimento tem com resultado uma redução considerável de materiais, custo e energia.

A reciclagem pode ser feita através de dois métodos diferentes: a frio (sem necessidade de aquecimento), ou reciclagem a quente (processo com aquecimento) (DAVID, 2006). No método a frio, o processo pode ser subdividido em execução *In Situ* (no local) ou execução em uma usina especial de reciclagem a frio. O método mais comum e amplamente utilizado em todo o mundo é a Reciclagem a Frio *In Situ* (no local).

A reciclagem a frio *In Situ* é uma técnica em que são reutilizados os materiais existentes no pavimento no próprio local (DAVID, 2006). Este processo requer a utilização de um equipamento específico, a Recicladora de Asfalto, que possui um cilindro especial para corte e trituração não somente da camada asfáltica como também para a camada de base granular abaixo. Segundo a técnica, o pavimento danificado é cortado, triturado e, com o giro contínuo em sentido ascendente do cilindro, o material é misturado com o aglomerante hidráulico, e homogeneizado, todo o material é processado em uma única recicladora, assegurando altíssimos índices de produtividade.

A base reciclada *In Situ* com adição de cimento Portland: é a mistura reciclada no local com o emprego de equipamentos próprios para essa finalidade, utilizando-se material do pavimento existente, agregados adicionais (eventuais), cimento Portland e água, em proporções previamente determinadas em laboratório, misturada, espalhada e compactada, de forma a compor uma nova camada de base do pavimento (ES-P33/05 do DER/PR).

Segundo David (2006), a base reciclada *In Situ* possui algumas vantagens:

a) Aproveitamento total dos agregados existentes no pavimento;
b) Economia de recursos financeiros;
c) Aproveitamento do asfalto envelhecido na mistura;
d) Preservação da geometria do pavimento;

e) Rapidez na execução do serviço, minimizando os transtornos causados aos usuários.

Segundo a Portland Cement Association – PCA (2005), a utilização da reciclagem profunda possibilita uma redução de 6 vezes o volume de combustível utilizado quando comparado às técnicas tradicionais de reconstrução de pavimentos degradados.

Segundo Ponte *et al*.(2014) citado por Rosa *et al* (2015, p. 96) "a adição de cimento Portland eleva o módulo de resiliência, a resistência a tração e compressão, bem como a resistência às deformações permanentes."

2.2 ESTUDOS REALIZADOS

Andrade, et tal (2013) apresenta em seu estudo valores aproximados de produção e reciclagem do pavimento asfáltico para alguns países da Europa.

Segundo David (2006) citado por Andrade, et tal (2013):

> "Países como a Holanda e a Dinamarca que até o ano 2000 possuíam 0,12 e 0,53 milhões de toneladas, respectivamente, de material fresado, são capazes de reciclar 100% desse montante. A Alemanha, que produziu 13,2 milhões de toneladas de fresado, reaproveitou 55% dessa produção e a Suécia reutilizou 95% das 0,88 milhões de toneladas de material fresado que produziu. Na Itália, segundo Bocci *et al*. (2010), a técnica da reciclagem começou a ser empregada na década dos anos 70 e, no ano 2000, já havia sido atingida a quantidade de 2 milhões de toneladas de material fresado reciclado."

Almeida *et al* (2013) cita em seu trabalho:

> "As técnicas de reciclagem a frio não são novas e vêm sendo amplamente utilizadas há algum tempo, sendo responsáveis por diminuir a exploração de fontes de materiais pétreos, o consumo de energia, os próprios custos da obra e as possíveis consequências do depósito inadequado dos materiais não reciclados (Ameri *et al*., 2012). No Brasil, os primeiros registros do uso de reciclagem datam da década de 1960, na cidade do Rio de Janeiro (Castro, 2003). Segundo Kavussi e Modarres (2010), a emulsão adicionada à mistura reciclada é responsável por formar ligações flexíveis entre as partículas do agregado fresado, o que resulta em uma maior coesão e em uma maior resistência à deformação permanente."

2.3 PAVIMENTO

O pavimento é uma estrutura constituída por materiais de superior qualidade ao solo do local de implantação da via, dividido em camadas sobrepostas e dimensionado através de cálculos e é definido como:

"Pavimento é uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal, adequado para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível."
(BALBO, 2007, p. 35).

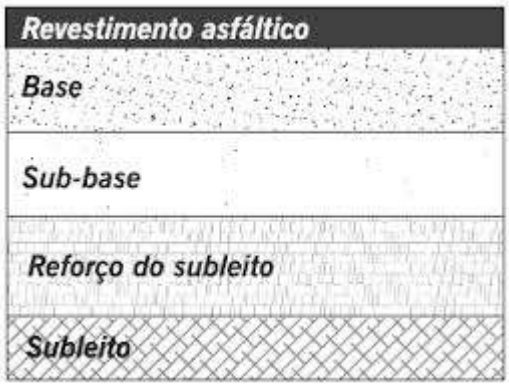


FIGURA 1: Imagem de camadas do pavimento
FONTE: www.repositorio.roca.utfpr.edu.br

"Pavimento é uma estrutura construída após a terraplanagem por meio de camadas de vários materiais de diferentes características de resistência e deformabilidade. " (SOUZA, 1980, p. 09).

2.4 TIPOS DE PAVIMENTO

Os tipos de pavimentos são classificados de acordo com o manual de pavimentação do DNIT, 2006, como:

Flexível: aqueles 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 base de brita graduada, revestida por uma camada asfáltica.

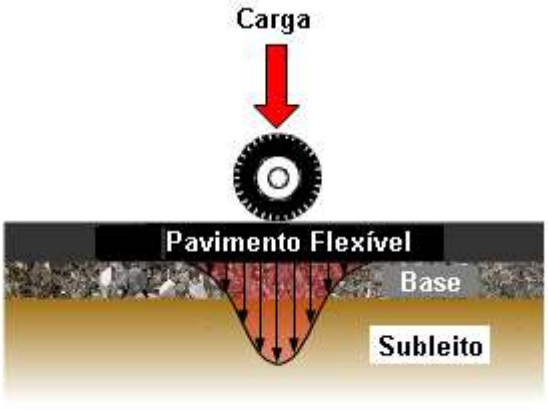


FIGURA 2: DISTRIBUIÇÃO DE CARGA NO PAVIMENTO FLEXÍVEL
FONTE: www.dtt.ufpr.br

a) Semirrígido: Caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedade cimentícias como, por exemplo, uma camada de solo cimento revestido por uma camada asfáltica.

b) Rígido: Aquele em que o revestimento tem elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve todas as tensões provenientes do carregamento aplicado.

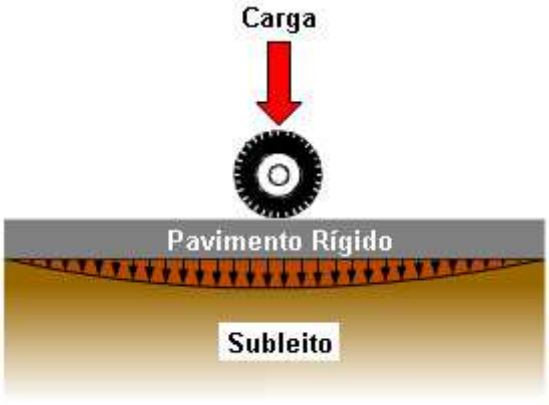


FIGURA 3: DISTRIBUIÇÃO DE CARGA NO PAVIMENTO RÍGIDO
FONTE: FONTE: www.dtt.ufpr.br

2.5 DEFEITOS NOS PAVIMENTOS

Segundo a norma DNIT 005/2003 TER, classifica os defeitos nos pavimentos conforme abaixo:

2.5.1 FENDA

As fendas são definidas como qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte.

Conforme a dimensão dessas aberturas, elas podem ser descriminadas como fissuras ou trincas.

As fissuras possuem uma abertura capilar podendo estar disposta nos sentidos longitudinal, transversal ou obliquo. São percebidas a vista desarmada a uma distância menor que 1,50m. Não causam problemas funcionais ao revestimento, não sendo portanto consideradas patologias graves quanto aos métodos atuais.

Diferentemente das fissuras, as trincas são perceptíveis a olho nu. Sua forma pode ser isolada ou interligada. O primeiro pode estar disposto transversalmente, longitudinalmente ou pode ser originada através dos fenômenos de retração térmica. O segundo pode ser do tipo “couro de jacaré” ou do tipo bloco. A diferença entre eles está na disposição das trincas, se aleatórias ou configuradas em blocos.

2.5.2 ONDULAÇÃO OU CORRUGAÇÃO

Já a Ondulação e corrugação é a deformação caracterizada por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento.

2.5.3 ESCORREGAMENTO

O escorregamento por sua vez é o deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua.

2.5.4 EXSUDAÇÃO

Exsudação é o processo pelo qual temos um excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causado pela migração do ligante através do revestimento.

2.5.5 DESGASTE

O desgaste da pista é o efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento e provocado por esforços tangenciais causados pelo tráfego.

2.5.6 PANELA OU BURACO

A famosa panela ou buraco na pista é uma cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o desplacamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas.

2.6 FASES DA VIDA DO PAVIMENTO

a) Fase de Consolidação: Segundo DNER-PRO-11/79, é o instante imediatamente à construção, sendo caracterizada por um decréscimo desacelerado do valor da deflexão, decorrente da consolidação adicional proporcionada pelo tráfego nas diversas camadas do pavimento. O valor da deflexão tende a se estabilizar ao fim desta fase.

b) Fase Elástica: É o momento que o pavimento irá trabalhar dentro de sua tolerância definida em projeto. Ou seja, a deflexão admissível sendo maior que a de solicitada.

c) Fase de Fadiga: Estado onde a estrutura do pavimento começa a deteriorar-se, demonstrando sinais patológicos em sua superfície. Não havendo a restauração, a estrutura pode vir ao colapso causado pelo crescimento do número de repetições de carga e principalmente pelo acentuado nível de deflexão.

Entre as principais deficiências, destacam-se: As falhas da fundação, de drenagem, de projeto e construtivas.

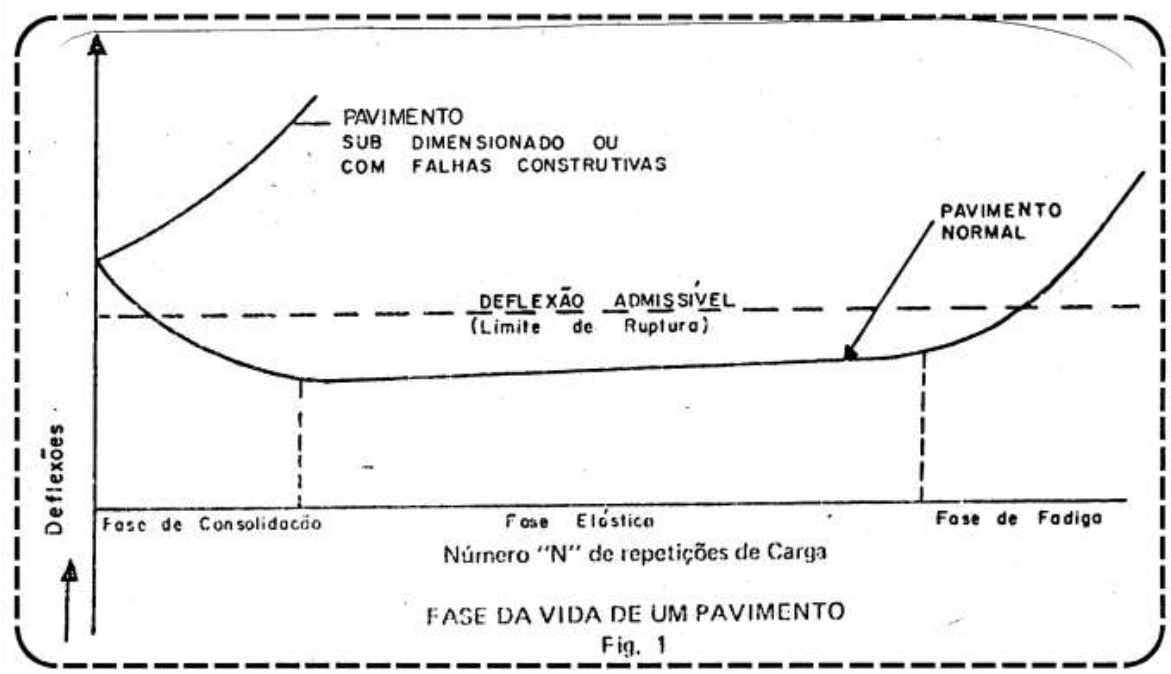


FIGURA 4: FASES DA VIDA DO PAVIMENTO
FONTE: DNER-PRO 11/74

A respeito as deflexões sofridas pelos dos pavimentos há de se considerar além dos esforços mecânicos solicitados a estrutura como compressão, cisalhamento e flexão, os efeitos deletérios do clima, como precipitações, a radiação solar, congelamento de camadas do pavimento e variação de temperatura, que desgastam sua estrutura, que se não for bem dimensionado e executado terá um breve período na fase elástica.

Segundo Balbo (2007), a atuação diária e sazonal do clima não apenas implica alterações momentâneas na resposta estrutural dos pavimentos, como também e principalmente a modificação de características dos materiais, o que resulta na degradação mais célere das estruturas de pavimento, sob a ação combinada de clima e cargas atuantes.

Portanto conforme o número de solicitações, a idade da estrutura, o efeito agravante do clima, a estimativa do tempo de serviço feito no momento do dimensionamento poderá sofrer uma drástica redução, em virtude disso o pavimento sofrerá alguma intervenção, seja um reforço, a reciclagem, tema desse estudo, ou a demolição total do pavimento a ser analisado, esta decisão será tomada por técnicos competentes, levando em conta os investimentos de recursos, matéria-prima e transtornos ao tráfego.

2.7 MATERIAIS

Segundo o DNIT (2006) o Cimento Portland é considerado entre outros aglomerantes hidráulicos mais comum a ser utilizado em pavimentação.

Chama-se aglomerante hidráulico as substâncias cuja propriedade principal é de, por ação da água em proporções e condições adequadas, apresentarem os fenômenos de pega e endurecimento (DNIT, 2006, Manual de Pavimentação, p.83)

2.8 EQUIPAMENTOS

Segundo o DER (2005) os equipamentos utilizados são vários, sendo de ensaios de campo, ensaios de laboratório e equipamentos para a execução dos serviços de reciclagem de pavimento “In Situ” com adição de cimento Portland.

Os equipamentos utilizados para a execução do serviço são os seguintes:

a) Distribuidor de agregados;

b) Distribuidor de aglomerante hidráulico;

c) Recicladora;

d) Caminhão-tanque para o abastecimento de água;

e) Motoniveladora;

f) Rolo liso vibratório;

g) Rolo de pneumáticos de pressão variável;

No entanto o equipamento denominado Viga Benkelman, é o que tem a finalidade de medir as deflexões em pavimentos, utilizada no estudo de caso.

2.8.1 VIGA BENKELMAN

Viga Benkelman é um equipamento que possibilita realizar medições deflectométricas de um pavimento.

A Viga Benkelman é composta por um conjunto de sustentação em que se articula uma alavanca interfixa, cuja relação entre os comprimentos dos braços é conhecida.

A Viga Benkelman, dentre os vários instrumentos disponíveis para medições deflectométricas em pavimentos, foi o aparelho que mais se difundiu em todo o mundo e até hoje tem um importante papel no meio rodoviário nacional.

2.8.1.1 APLICAÇÕES

Por ser um aparelho de baixo custo e alta versatilidade e de operação simples, de fácil capacitação do pessoal para sua operação, é um equipamento utilizado na maioria dos casos em que se deseja realizar a medição de deflexões de um pavimento.

Inicialmente, a Viga Benkelman era unicamente utilizada para determinação da deformação reversível máxima. No entanto, com o passar do tempo, passou-se a utilizar este equipamento também para a definição da bacia de deformação, visto a importância deste parâmetro, para a caracterização do estado de tensão da estrutura de pavimentos rodoviários e aeroportuários.

2.8.1.2 NORMATIZAÇÃO E PADRONIZAÇÃO

A Viga Benkelman é um equipamento regulamentado no Brasil:

Pelo método de ensaio DNER-ME 24/94 – Determinação das deflexões pela Viga Benkelman;

Pelo procedimento DNER-PRO 175/94 – Aferição da Viga Benkelman.

2.8.1.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O cálculo das deflexões é realizado pela expressão:

$$D_o=(L_o-L_f)\ x\ a/b$$

Onde:

Do = deflexão real ou verdadeira, em centésimos de milímetro;

Lo= leitura inicial, em centésimos de milímetro;

Lf = leitura final, em centésimos de milímetro;

a e b = dimensões da Viga Benkelman. (VIDE FIGURA 5)

O raio de curvatura da bacia de deformação no ponto de prova é calculado por meio da fórmula:

$$R = \frac{6250}{2(D_o - D_{25})}$$

Raio de curvatura – Viga Benkelman

Onde:

R = raio de curvatura, em metros;

D0 = deflexão real ou verdadeira, em centésimos de milímetro;

D25 = deflexão a 25 cm do ponto de prova, em centésimos de milímetro.

Com as leituras a diferentes distâncias do ponto de aplicação da carga é possível determinar a linha de influência longitudinal da bacia de deformação e o cálculo do raio de curvatura.

A viga deve ser periodicamente aferida em laboratório. O DNER-PRO 175/94 descreve o procedimento para aferição da viga. A cobertura de isopor da viga é recomendada para evitar deformações diferenciais de origem térmica das peças da viga. A leitura de deflexão elástica que se segue a um determinado deslocamento do caminhão não deve ser realizada imediatamente a fim que se manifestem as deformações dependentes do tempo.

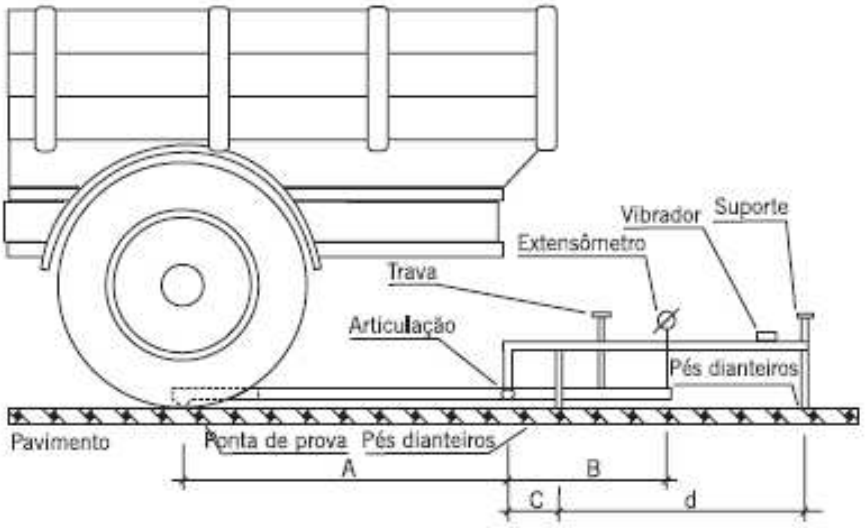


FIGURA 5 – ESQUEMA DA VIGA BENKELMAN
FONTE: DNER ME 24/94

2.9 DETERMINAÇÃO DO NÚMERO N

No dimensionamento e/ou reforço de pavimentos flexíveis, as diferentes ações são condensadas em um único parâmetro representativo chamado número N.

N é o número de repetições (ou operações) dos eixos dos veículos, equivalentes às solicitações do eixo padrão rodoviário de 8,2 tf durante o período considerado de vida útil do pavimento. O eixo padrão rodoviário brasileiro é um eixo simples de rodas duplas e que transmite ao pavimento uma carga total de 8,2 toneladas (80 kN). BALBO (2007).

2.9.1 CÁLCULO DE N ADOTADO PELO DNER

O Parâmetro “N” – número de repetições do eixo padrão é determinado utilizando-se a seguinte expressão:

$$N = 365 \times TMDA \times FV \times FR \times FD$$

Onde:

365 = número de dias de um ano

TMDA = Tráfego Médio Diário Anual na rodovia

FV = Fator de Veículos

FR = Fator Climático Regional (adotado = 1,4)

FD = Fator Direcional (considerado como sendo 50% no caso de rodovia de pista simples).

Na metodologia indicada pelo DNER, consideram-se apenas os caminhões e ônibus (veículos comerciais), como sendo os únicos veículos existentes na corrente de tráfego. Justifica-se pelo fato de que os automóveis apresentam um efeito muito pequeno em função de seu peso muito baixo. Neste método de dimensionamento, para efeito de projeto, o tráfego que transitará sobre determinado pavimento ao longo de sua vida útil de serviço é convertido em um número de operações/solicitações de um eixo rodoviário padrão. Este número de solicitações é conhecido como número “N”.

Assim sendo, a expressão pode ser escrita:

$$N = 365 \times (TMDA_{ônibus} \times FV_{ônibus} + TMDA_{caminhões} \times FV_{caminhões}) \times FR \times FD$$

2.9.2 CLASSIFICAÇÃO DOS VEÍCULOS SEGUNDO DNIT:

Para obtenção dos dados de tráfego faz-se necessário a contagem volumétrica classificatória conforme tabela do DNIT, neste trabalho não foi inserida a classificação completa, apenas as iniciais e as pertinentes ao estudo de caso. Veja a seguir:

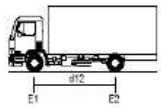
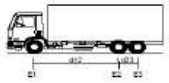
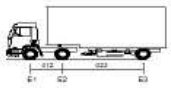
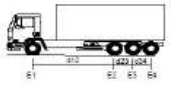
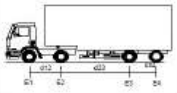
SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	2	16(16,8)	CAMINHÃO E1 = eixo simples (ES), rodagem simples (RS), carga máxima (CM) = 6t ou capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ES, rodagem dupla (RD), CM = 10t d12 ≤ 3,50m	2C
	3	23(24,2)	CAMINHÃO TRUCADO E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = ES, conjunto de eixos em tandem duplo TD, CM = 17t d12 > 2,40m 1,20m < d23 ≤ 2,40m	3C
	3	26(27,3)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM = 6t E2 = ED, RD, CM = 10t E3 = ED, RD, CM = 10t d12, d23 >2,40m	2S1
	4	31,5(33,1)	CAMINHÃO SIMPLES E1 = ES, RS, CM 6t E2E3E4 = conjunto de eixos em tandem triplo TT; CM = 25,5t d12>2,40 1,20m < d23, d34 ≤ 2,40m	4C
	4	29(30,5)	CAMINHÃO DUPLO DIRECIONAL TRUCADO E1E2 = conjunto de eixos direcionais CED, CM = 12t E3E4 = TD, CM = 17t 1,20m < d34 ≤ 2,40m	4CD
	4	33(34,7)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3E4 = TD, CM = 17t d12, d23 > 2,40m 1,20m < d34 ≤ 2,40m	2S2
	4	36(37,8)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t d12, d23, d34 > 2,40m	2I2

FIGURA 6: VEÍCULOS ADOTADOS NA CLASSIFICAÇÃO DO DNIT
FONTE: MANUAL DE ESTUDOS DE TRÁFEGO DNIT 2006

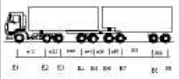
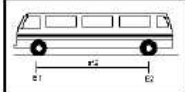
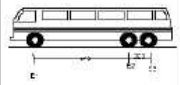
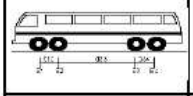
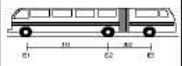
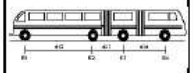
SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	9	74(77,7)	**RODOTREM (caminhão trator trucado + dois semi reboques dom dolly)** E1 = ES. RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t E8E9 = TD, CM 17t d12, d34, d56, d78 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40m	3T6
	2	16(16,8)	**ÔNIBUS** E1 = ES. RS, CM 6t ou a capacidade declarada pelo fabricante do pneumáttico E2 = ED, RD, CM 10t d12 ≤ 3,50m	2CB
	3	19,5(20,5)	**ÔNIBUS TRUCADO** E1 = ES,. RS, CM 6t E2E3 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t d12 > 2,40m 1,20 < d23 ≤ 2,40m	3CB
	4	25,5(26,8)	**ÔNIBUS DUPLO DIRECIONAL TRUCADO** E1E2 = conjunto de eixos direcionais, carga máxima 12 ton E3E4 = conjunto de eixos em tandem duplo com 6 pneumáticos, carga máxima 13,5t 1,20 < d34 ≤ 2,40m	4CB
	3	26(27,3)	**ÔNIBUS URBANO ARTICULADO** E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t d12, d23 > 2,40m	2SB1
	4	36(37,8)	**ÔNIBUS URBANO BI-ARTICULADO** E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10t d12, d23, d34 > 2,40m	2IB2

FIGURA 7: VEÍCULOS ADOTADOS NA CLASSIFICAÇÃO DO DNIT
FONTE: MANUAL DE ESTUDOS DE TRÁFEGO DNIT 2006

2.9.3 CONFIGURAÇÃO DOS EIXOS:

a) EIXOS SIMPLES: conjunto de duas ou mais rodas, cujos centros estão em um plano transversal vertical ou podem ser incluídos entre dois planos transversais distantes de 100 cm, que se estendem por toda a largura do veículo. Podem ser de dois tipos:

De rodas simples: com 2 rodas, uma em cada extremidade;

De rodas duplas: com 4 rodas, sendo duas em cada extremidade (4 pneus)

b)EIXOS TANDEM (RODAS DUPLAS): dois ou mais eixos consecutivos, cujos centros estão distantes de mais de 100 cm e menos de 200 cm, e ligados a um dispositivo de suspensão que distribui a carga igualmente entre os eixos (balancim). O conjunto desses eixos constitui um Eixo Tandem. Podem ser:

Tandem duplo: 2 eixos com 2 rodas em cada extremidade (8 pneus), sendo nos fabricantes nacionais, o espaçamento médio de 1,36 m

Tandem triplo: 3 eixos, com 2 rodas em cada extremidade (12 pneus)

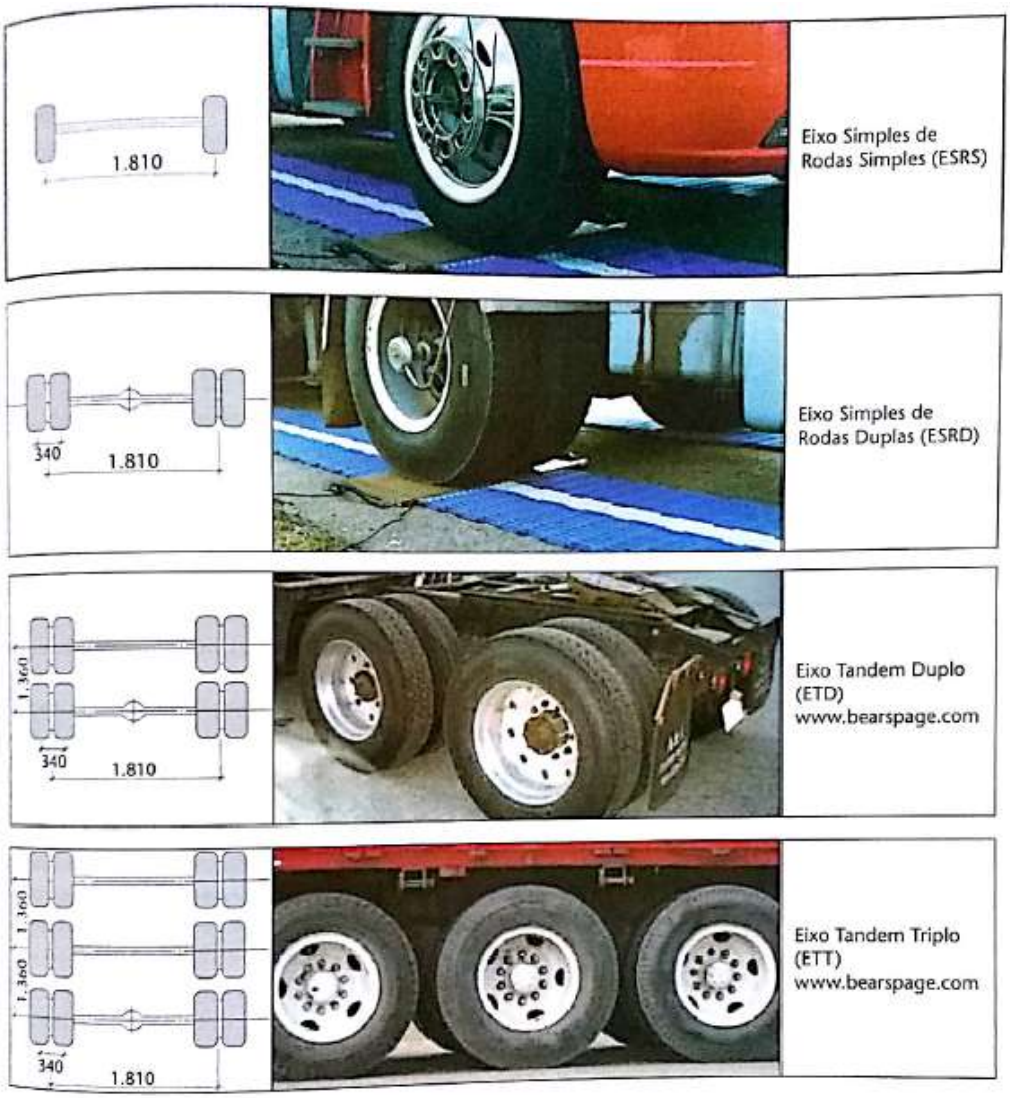


FIGURA 8: CONFIGURAÇÃO DOS EIXOS
FONTE: BALBO, JOSÉ TADEU. PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: MATERIAIS, PROJETOS E RESTAURAÇÃO – SÃO PAULO: OFICINA DO TEXTO, 2007.

2.9.4 FATOR DE CARGA (FC)

Número que, ao ser multiplicado pelo número de eixos que operam, nos fornece o N.

2.9.5 FATOR DE EIXO (FE)

É o número de eixos contados.

2.9.6 FATOR DE VEÍCULO (FV)

Calculado a partir da pesagem de eixo simples e tandem, por categoria de veículo e sua frequência. Para o cálculo do FV, os valores dos pesos de cada eixo devem ser convertidos em valores de eixo equivalente (FEO), conforme método da USACE ou AASHTO.

$$FV = FE \times FC$$

2.9.7 FATOR CLIMÁTICO REGIONAL

É utilizado para considerar as variações de umidade às quais os pavimentos estão sujeitos durante o ano e que influenciam diretamente na capacidade de suporte dos mesmos.

Os fatores climáticos regionais sugeridos no Brasil, são em função da altura média anual de chuva em mm.

Em posse dos valores calculados, de acordo com os fatores citados acima, calcula-se o número N.

2.10 DEFLEXÃO

Os defeitos estruturais resultam especialmente da repetição das cargas e vinculam-se às deformações elásticas ou recuperáveis e plásticas ou permanentes.

A determinação da capacidade estrutural de um pavimento se faz com a realização de testes de carga (Viga Benkelman), que sujeito a uma carga conhecida, sofre deformações elásticas. A medida desse deslocamento vertical em um determinado ponto, trata-se da deflexão. Segundo Hveem (1955), a deflexão é um termo aplicado para movimentos verticais transientes, quando o pavimento está sujeito à carga de rodas.

As deformações plásticas são acumuladas durante toda a vida útil do pavimento, sendo o surgimento da maioria dos trincamentos decorrentes da deflexão do pavimento, que podem levar à fadiga do revestimento.

Quando se mede o deslocamento elástico em vários pontos a partir da carga, tem-se a denominada bacia de deflexão ou linha de influência da carga sobre um ponto do pavimento (DNER-ME 061/94).

Ainda conforme a DNER-PRO-011/79 (método de dimensionamento) a deflexão admissível para que não surjam trincamentos no pavimento flexível é obtido através da equação;

$$Log\ D_{adm} = 3{,}01 - 0{,}176\ log\ N$$

Onde N é o número de repetição de eixo padrão com 8,2 t

Essa expressão é representada graficamente conforme o ábaco abaixo.

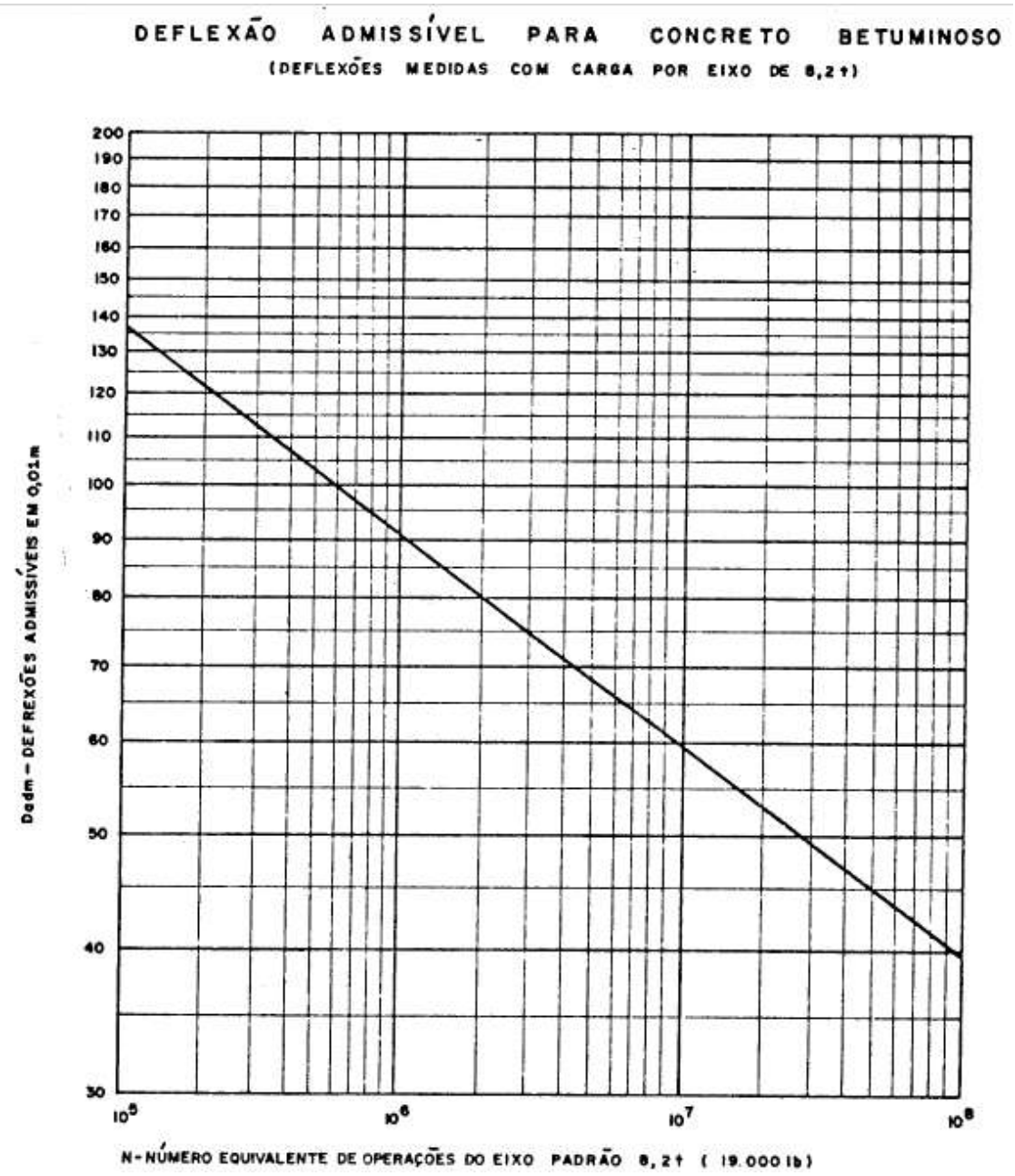


FIGURA 9: DEFLEXÃO ADMISSÍVEL PARA CONCRETO BETUMINOSO
FONTE: DNER PRO 11/79 PROCEDIMENTO B

2.11 CONTROLE TECNOLÓGICO

a) Granulometria: É a distribuição em porcentagem dos diversos tamanhos de grãos. Utilizando-se da norma DNER – ME-080/94 – Análise granulométrica por peneiramento e da norma DER/PR ES-P 05/05 (Pavimentação: Brita graduada) que especifica as faixas de correção.

b) Ensaio de Compactação: Define-se como o método para determinar a correlação entre o teor de umidade e a massa específica aparente do solo seco conforme norma DNIT 164/2013-ME.

O termo Proctor faz referência ao engenheiro Ralph Proctor, que em 1933 mostrou que a densidade de um solo seco, para um determinado esforço de compactação, depende da quantidade de água que o solo contém durante a compactação – para energia aplicada padrão (Proctor normal ou modificado).

O ensaio de compactação Proctor é um experimento de laboratório para a determinação da densidade máxima do solo, favorecendo assim o desempenho da estrutura e otimizando a redução de custo.

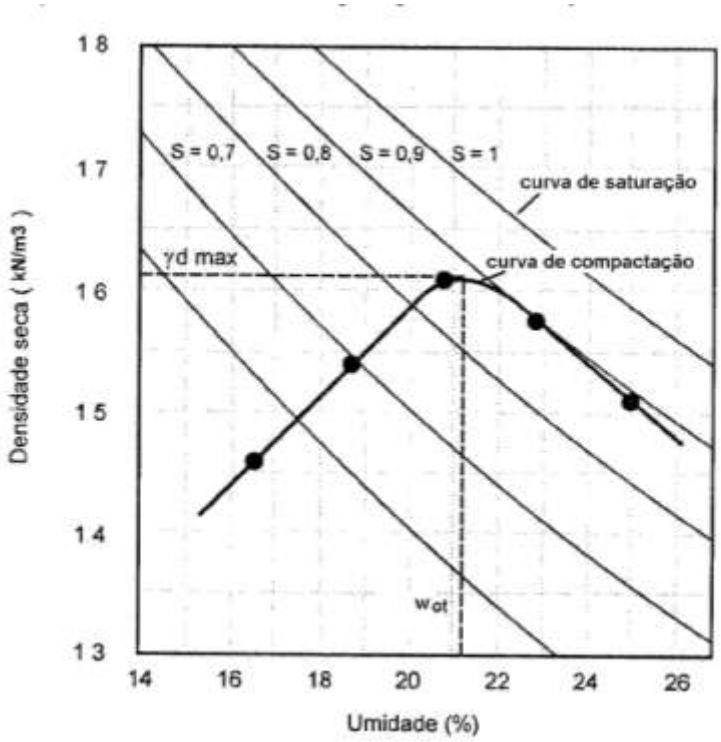


FIGURA 10: CURVA DE SATURAÇÃOXDENSIDADE MÁXIMA
FONTE: APOSTILA MECÂNICA DOS SOLOS PROFESSOR CEZAR BASTOS

A energia de compactação é dada pela equação:

$$E = \frac{n * N * P * H}{V}$$

Onde:

E - energia a ser aplicada na amostra de solo;

n - número de camadas a serem compactadas no cilindro de moldagem;

N - número de golpes aplicados por camada;

P - peso do pilão;

H - altura de queda do pilão;

V - volume do molde.

c) Resistência à Compressão: É o método de ensaio para a determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto, inclusive de testemunhos de estruturas conforme norma DNER-ME-091/98.

d) Determinação de massa específica *In Situ* com emprego do frasco de areia: Este método fixa o modo pelo qual se determina, por intermédio do frasco de areia, a massa específica aparente do solo, *In Situ* conforme norma DNER-ME-092/94, correlacionando com o ensaio de compactação determinado em laboratório.

e) Controle de taxa de aplicação de cimento:

Revisão da norma DNER ES 306/97, item 7.2.2

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Utilizando-se do método DER-PRO- 011/79, são feitos os levantamentos de defeitos e estudo da deflexão recuperável do pavimento, onde se constata a necessidade de reforço estrutural do pavimento. A solução proposta foi a opção pela reciclagem com adição de aglutinante hidráulico e a execução de nova capa de rolamento com pavimento flexível, tornando o conjunto de pavimento uma estrutura semirrígida.

Os procedimentos para a execução da reciclagem a frio com adição de aglutinante hidráulico são divididos em três etapas: Na primeira etapa é feito projeto, na segunda etapa é feita a execução, na terceira etapa é feita a verificação dos resultados.

3.1 PROJETO

Na elaboração do projeto foram feitos levantamentos de defeitos, deflexão recuperável e contagem do tráfego atual.

O segmento a ser restaurado, como mostra figura 11, apresentava diversas patologias, entre elas pode ser observado a consolidação de trilha de roda por adensamento do material estrutural e também escorregamento da capa de rolamento.



FIGURA 11 – CONDIÇÃO DO PAVIMENTO ESCOLHIDO
FONTE: OS AUTORES

O primeiro ensaio técnico executado foi através de ensaio de verificação da deformação recuperável do pavimento com o emprego do equipamento tipo resposta Viga Benkelman O procedimento desse ensaio é aplicar uma carga de eixo padrão observado a deformação máxima que ocorre no pavimento (figura 12).

A leitura final corresponde ao descarregamento do pavimento e todo o deslocamento recuperado é associado à deformação elástica do pavimento (deflexão).



FIGURA 12 – ENSAIO VIGA BENKELMAN
FONTE: OS AUTORES

O próximo ensaio foi através de método destrutivo, figura 13, abrindo um poço de sondagem com a finalidade de verifica os horizontes das camadas de pavimento e coleta de material para ensaios em laboratório.



FIGURA 13 – HORIZONTES DA CAMADA DO PAVIMENTO
FONTE: OS AUTORES

Inicialmente foram coletados a mistura de pavimento existente, com a camada de base em brita graduada e capa asfáltica, levando ao laboratório e ensaiados de acordo com a norma

DNER- ME 083/98. A Granulometria da mistura foi então comparada com a faixa II do DER-PR, para base em BGTC (Brita Graduada Tratada Com Cimento) adotada para esse segmento, qual se mostrou, como esperado, fora dessa faixa. Após a análise dos resultados, constatou-se a necessidade de recuperar o pavimento através da reciclagem.

3.2 EXECUÇÃO DA RECICLAGEM

Com o projeto de correção granulométrica e teor de cimento definido, inicia-se os serviços de reciclagem, da seguinte forma:

I. FRESAGEM: Inicialmente é fresado em torno de 20cm de espessura, onde vai atingir a camada de rolamento e a camada de base, figura 14.



FIGURA 14 – EQUIPAMENTO PARA FRESAGEM
FONTE: OS AUTORES

II. DISTRIBUIÇÃO DOS AGREGADOS: A próxima etapa constitui no espalhamento dos agregados que deverão fazer a correção granulométrica da mistura, figura 15 e figura 16.



FIGURA 15 – ESPALHAMENTO DOS AGREGADOS
FONTE: OS AUTORES



FIGURA 16 – ESPALHAMENTO DOS AGREGADOS
FONTE: OS AUTORES

III. DISTRIBUIÇÃO DO CIMENTO: A etapa de espalhamento do cimento, figura 17, que é o aglutinante hidráulico, deve ser feita logo em seguida, com alguns cuidados. Primeiramente é necessário que seja executado em dia sem umidade elevada e com tempo hábil para a conclusão da compactação em período não superior a duas horas após aplicado a água para se obter a umidade ótima de compactação definida em laboratório, e com controle efetivo da taxa aplicada, pois a variação do teor para mais ou menos poderá colocar em risco todo o projeto.



FIGURA 17 – APLICAÇÃO DO AGLUTINANTE HIDRÁULICO (CIMENTO)
FONTE: OS AUTORES



FIGURA 18 – CONTROLE DA TAXA DE APLICAÇÃO DO AGLUTINANTE (CIMENTO)
FONTE: OS AUTORES

IV. ADIÇÃO DE ÁGUA: Logo após o espalhamento dos agregados e cimento, inicia-se novamente a mistura e aplicação de água necessária para a obtenção da umidade ótima de compactação, através da fresadora e caminhão pipa, figura 19.



FIGURA 19 – MISTURA E ADIÇÃO DE ÁGUA
FONTE: OS AUTORES

V. COMPACTAÇÃO: Primeiramente inicia-se, após a distribuição dos elementos de correção do pavimento, a compactação através de rolo corrugado e rolo liso para tirar as imperfeições, figura 19.



FIGURA 20 – COMPACTAÇÃO
FONTE: OS AUTORES

VI. CONTROLE: Durante a compactação, são executados ensaios *In Situ*, figura 21, para o controle de energia de compactação e umidade ótima, comparando com ensaios de projeto elaborado em laboratório, além de corpo de prova que será rompido em laboratório para a verificação da efetiva resistência alcançada na mistura feita na pista.



FIGURA 21 – CONTROLE TECNOLÓGICO DA APLICAÇÃO (DENSIDADE *IN SITU*)
FONTE: OS AUTORES

VII. CURA: Logo após a verificação tecnológica, sendo atendido os parâmetros de projeto, como todos os concretos, é necessário sofrer um processo de cura no qual vai se obter a resistência final, essa cura nesse caso é executada com uma fina camada, em torno de 2,0 cm de massa asfáltica, figura 22, que deve ser aplicada logo em seguida, ainda dentro do limite máximo de 2 horas.



FIGURA 22 – CURA DO PAVIMENTO COM APLICAÇÃO DE MASSA ASFÁLTICA
FONTE: OS AUTORES

Essas etapas de execução concluem a transformação da camada de rolamento e parte da base existente em base reciclada com adição de aglutinante hidráulico, restando, para posterior, a implantação da capa de rolamento, que não é objeto desse estudo.

3.3 VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS FINAIS

A contagem de tráfego foi elemento primordial para a verificação da condição do pavimento e definição do projeto, juntamente com o estudo de deflexão atual do pavimento pode ser observado a necessidade do reforço.

3.3.1 PROJETO

O trafego atual conta com passagem de um biarticulado de 4 eixos a cada 90 segundos (Fonte URBS), dessa forma foi projetado um crescimento anual de 2,0% ao ano com estimativa de vida útil de 10 anos, conforme demostrado na tabela e fórmula a seguir.

$$N = 365 \times 10 \times 3 \times 4 \times 1{,}4 = 5{,}5\ E{+}07 \quad (8)$$

V0	V1	Taxa de crescimento	Projeção (Anos)	VP	N° Eixos	N
800	816	2%	10	898	4	5,5E+07

TABELA 1: DADOS PARA O NÚMERO N
FONTE: NOTAS DE AULA ANÁLISE E PROJETO DE TRANSPORTES

Onde:

V0 = Tráfego diário;

V1 = Tráfego diário no 1° ano;

Vp= Tráfego diário ao final de 10 anos, utilizando os fatores de equivalência de carga por eixo e ação climática ;

N = Número de repetições de eixo ao longo de 10 anos.

Com o número N de 5,5 E+07, verificado no ábaco, a deflexão aceitável seria de 0, 44 mm.

Deflexão atual no segmento estudado apresentou valores médio acima da deflexão aceitável para o tráfego projetado.

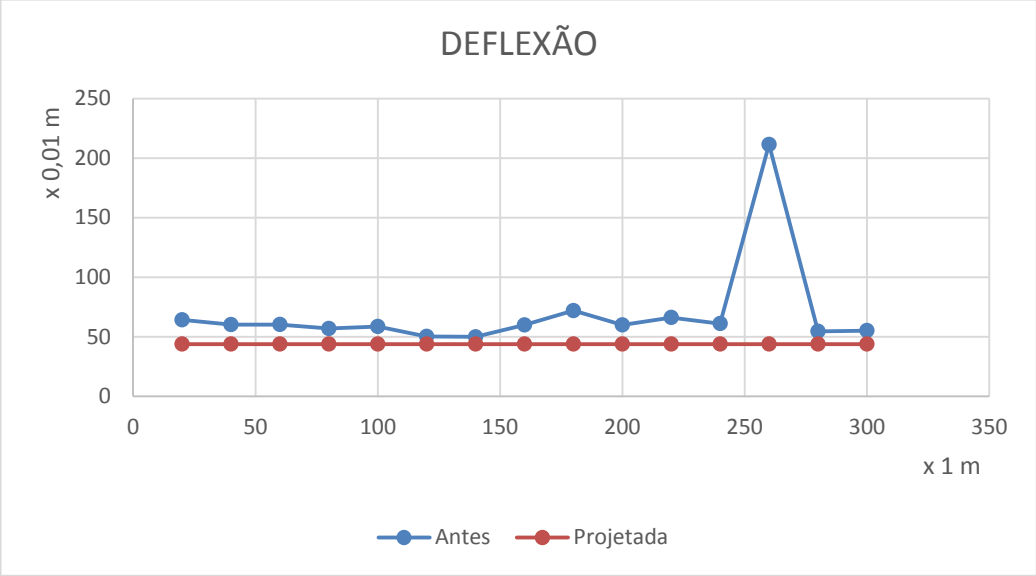


TABELA 2–COMPARATIVO DEFLEXÃO ANTES E DEPOIS DA RESTAURAÇÃO (PROJETO)
FONTE: OS AUTORES

3.4 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Inicialmente foi verificado a condição granulométrica da mistura de capa de rolamento fresada juntamente com a base existente de brita graduada, conforme norma DNER–ME–080/94 (Análise granulométrica por peneiramento) com a finalidade de corrigir a faixa granulométrica para se enquadrar na faixa II do DER/PR ES-P 05/05 (Pavimentação: Brita graduada).

No primeiro gráfico observa-se a faixa granulométrica da mistura coletada sem a correção (“In Loco”), já no próximo gráfico é apresentado com a correção, dessa forma podendo calcular a quantidade de material granular que deverá ser incorporado durante a fresagem e mistura na pista.

As correções necessárias foram de 12% em peso de brita 1, 25% em peso de pó de pedra e 3% de cimento. O cimento foi de terminado em função dos ensaios de resistência a compressão apresentados no item 3.4.1.

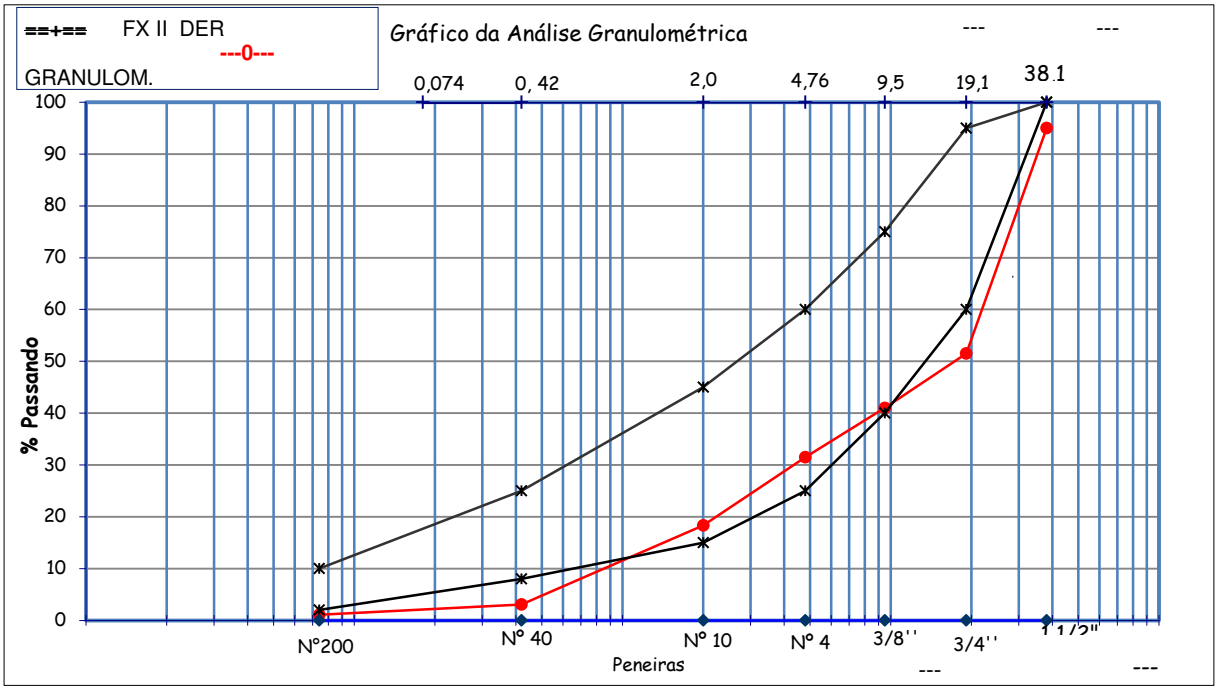


TABELA 3 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA: PAVIMENTO DETERIORADO
FONTE: OS AUTORES

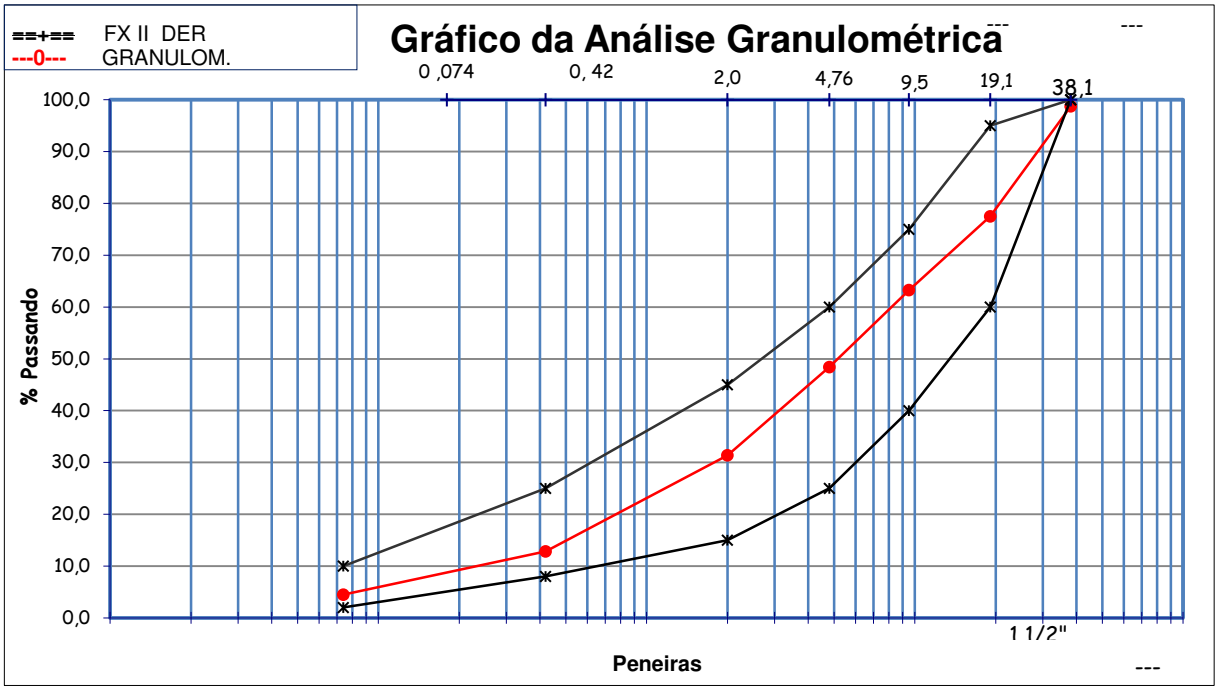


TABELA 4 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA CORRIGIDA
FONTE: OS AUTORES

3.4.1 RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO

De acordo com o manual de pavimentação rígida (DNIT 2005) estabelece uma resistência mínima de 3,5 Mpa a compressão simples aos 7 dias para base com cimento, com esse parâmetro foram executados ensaios onde se busca o percentual de cimento a ser aplicado.

O ensaio implica em fazer diversos corpos de prova cilíndrico com a mistura granulométrica corrigida e vários teores de cimento, após o rompimento conforme estabelece a norma.

Devido a experiência da equipe de laboratório nesse trabalho, desenvolveram os ensaios de resistência com dois teores de cimento, 3% e 4%, onde apresentou um resultado de resistência e economia com 3% de teor de cimento.

MOLDAGEM CP / COMPACTAÇÃO PROCTOR MODIFICADO

OBRA - PEÇA CONCRETADA	NÚMERO DO CP	MOLDAGEM DATA	SLUMP (CM)	RUPTURA DATA	IDADE (DIAS)	CARGA (T)	TENSÃO (Mpa)	ESTACA Nº	RESISTENCIA ESPECIFICADA	RESIST. OBTIDA MPA / MÉDIA
CORPO DE PROVA C/ 3,0 % DE CIMENTO	1	15/04/14	0	22/04/14	7	3,100	5,37		MIN. 3,5	
CORPO DE PROVA C/ 3,0 % DE CIMENTO	2	15/04/14		22/04/14	7	3,200	5,55		"	5,46
CORPO DE PROVA COM 4,0 % DE CIMENTO	3	15/04/14		22/04/14	7	4,300	7,45		MIN. 3,5	
CORPO DE PROVA COM 4,0 % DE CIMENTO	4	15/04/14		22/04/14	7	4,000	6,93		"	7,19

TABELA 5 – RESULTADOS DA RESITÊNCIA A COMPRESSÃO DOS CORPOS DE PROVA
FONTE: OS AUTORES

3.4.2 DEFLEXÃO

Observa-se no gráfico que inicialmente havia uma deflexão sem uniformidade e de valores altos, sendo que após a reciclagem e aplicação da capa de rolamento abaixou os valores e uniformizou o segmento.

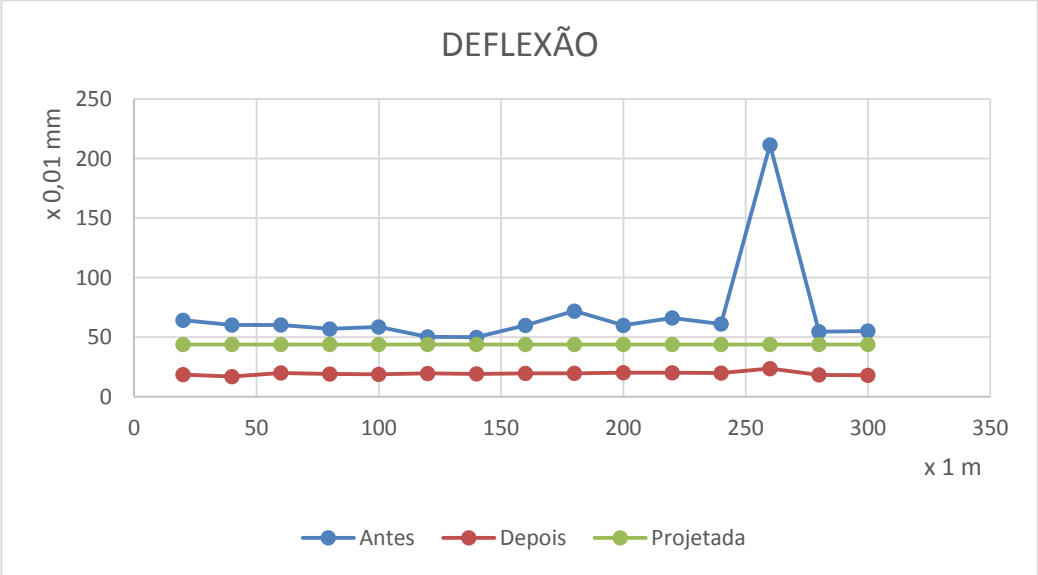


TABELA 6–COMPARATIVO DEFLEXÃO ANTES, DEPOIS E PROJETADA DA RESTAURAÇÃO (EM CAMPO)
FONTE: OS AUTORES

4 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A reciclagem de pavimento com adição de aglutinante oferece várias vantagens sobre o sistema de pavimento convencional, como, economia de energia, impacto ambiental (redução do uso de agregados), menor tempo para execução e economia financeira, porém como desvantagem não há estudo ainda concluído sobre a vida útil do pavimento depois de restaurado. Isso remete à necessidade de investigações complementares ao desempenho da estrutura nessa modalidade.

Algumas soluções para o segmento em estudo poderiam ser previstas pelo método convencional, sendo o mais usual fresar e reconstruir a capa existente e implantar outra capa asfáltica como reforço geralmente com uma espessura média de 10 a 15 cm a mais do que a base existente, baixando a deflexão e provavelmente atendendo os parâmetros desejados do tráfego e vida útil do pavimento. Para executar essa solução, que poderia ser a mais simples entre várias, seria necessário ainda o arrancamento e reconstrução de todos os passeios, meio fio e alteamento das caixas de coleta de água pluvial. Se levarmos em conta este custo mais os possíveis transtornos gerados aos lotes lindeiros, à via quanto ao alteamento do pavimento se conclui que a adoção da restauração com a reciclagem do pavimento torna-se vantajosa.

Além disto, deve-se considerar a economia do material que deveria ser usado na segunda camada de asfalto da solução convencional. Diante disso, apesar de não ser objeto desse estudo a questão financeira da solução adotada, podemos afirmar que esta é econômica e ambientalmente viável.

Os resultados da deflexão após o pavimento ser restaurado, mostram que os valores constatados ficaram abaixo do máximo definido no projeto como aceitável para o tráfego projetado para 10 anos, onde em teoria, deverá ter como vida útil.

Ainda como complemento, foi feito um levantamento visual de defeitos no pavimento um ano após a execução e liberação ao tráfego, onde não foram constatadas manifestações patológicas visíveis que evidenciem o comprometimento da estrutura do pavimento, conforme pode ser observado nas imagens a seguir.



FIGURA 23 – LEVANTAMENTO VISUAL (I) DE DEFEITOS
FONTE: OS AUTORES



FIGURA 24 – LEVANTAMENTO VISUAL (II) DE DEFEITOS
FONTE: OS AUTORES



FIGURA 25 – LEVANTAMENTO VISUAL (III) DE DEFEITOS
FONTE: OS AUTORES

5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. R. de *et al*. **Análise de Propriedades Físicas e Mecânicas de Misturas Asfálticas Recicladas a Frio com Emulsão Asfáltica e Cimento Portland e a Influência de cada Material**. Laboratório de Tecnologia de Pavimentação – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 2013

ANDRADE, W. M. de, *et al*. **Estudo da Técnica da Reciclagem à Frio Utilizando Espuma de Asfalto**. Laboratório de Mecânica dos Pavimentos – UFC. Fortaleza, 2013.

ARRA - **Asphalt Recycling and Reclaiming Association. Basic Asphalt Recycling Manual**. Annapolis/EUA, 2001.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração** – São Paulo: Oficina do texto, 2007.

BASTOS, Cezar. **Apostila Mecânica dos Solos** – DMC/FURG.

DAVID, D.; **Misturas Asfálticas Recicladas a Frio: Estudo em Laboratório Utilizando Emulsão e Agente de Reciclagem Emulsionado**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

DER/PR ES-P 05/05 - **Pavimentação: Brita graduada**. Paraná, 2005

DER – ES-P33/05 – **Pavimentação: Reciclagem de pavimento *in situ* com adição de cimento**. Paraná, 2005

DNER ES 306/97 – **Pavimentos flexíveis – Imprimação**, Rio de Janeiro 1997.

DNER – ME-024/94 – **Pavimento – determinação das deflexões pela viga Benkelman**. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME-061/94 – **Pavimento – delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédia da viga Benkelman**. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME-080/94 – **Análise granulométrica por peneiramento**. Rio de Janeiro, 1994.

DNER – ME-083/98 – **Agregados - Análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1998.

DNER-ME-091/98 – **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**, Rio de Janeiro 1998.

DNER-ME-092/94 – **Solo – Determinação da massa específica aparente *in situ* com emprego do frasco de areia**, Rio de Janeiro 1994.

DNER – PRO-011/79 – **Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis. Procedimento B**. Rio de Janeiro, 1979.

DNER-PRO 175/94 – **Aferição de Viga Benkelman**, Rio de Janeiro 1994.

DNER – **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro, 1981.

DNIT - **Manual de Estudos de Tráfego** - Rio de Janeiro, 2006.

DNIT 005/2003/TER – **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos**. Rio de Janeiro, 2003.

DNIT 164/2013-ME. **Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas**. Rio de Janeiro 2013.

HVEEM, F.N. **Pavement deflections and fatigue failures**. In: ANNUAL MEETING, 34, 1955. Bulletin, n. 114, p. 43-73, 1955.

KANDHAL , P.S.; MALLICK, R. B.; FWHA **Pavement Recicling Guidelines for State and local Governents. Fderal Highway Administration**, U. S. Departament of Transportation. FHWA-SA-98-042. Washington, 1997

MOMM, L.; DOMINGUES, F. A. A. **Reciclagem de pavimentos a frio *in situ* superficial e profunda. In: 29ª Reunião Anual de Pavimentação**. Anais. Cuiabá p 571-601, 1995.

PCA – **Portland Cement Association. Full-Depth Reclamation: Recycling roadas save mney and natural resources**, 2005. P.6.

ROSA, F D., *et al*. **Análise do comportamento mecânico de um pavimento reciclado com adição de diferentes agentes estabilizadores**. TRANSPORTES v. 23, n 2, 2015.

SILVA, Amanda Helena Marcandali da. *et al*. **Avaliação da Técnica de Reciclagem a Frio de Capa com Emulsão Polimerizada**. Revista ANTT, Brasília, v. 3, n.2, nov. 2011.

SOUZA, M. L. de, **Pavimentação Rodoviária**, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. MT-DNER- Instituto de Pesquisas Rodoviárias 2ª edição, Rio de Janeiro 1980.

SOUZA, Washington Batista. **Cálculo do Número N. Notas de aula. Disciplina Análise e Projetos de Transporte**. FACEAR – Faculdade Educacional Araucária, 2015.

www.dtt.ufpr.br – Acesso em 08/05/2016