

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

Vanessa Morel Link

**PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EM CORREDORES DE
ÔNIBUS: PATOLOGIAS E CONCEPÇÃO DE
ALTERNATIVAS**

Porto Alegre
dezembro 2009

VANESSA MOREL LINK

**PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EM CORREDORES DE
ÔNIBUS: PATOLOGIAS E CONCEPÇÃO DE
ALTERNATIVAS**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Washington Peres Núñez

Porto Alegre
dezembro 2009

VANESSA MOREL LINK

**PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EM CORREDORES DE
ÔNIBUS: PATOLOGIAS E CONCEPÇÃO DE
ALTERNATIVAS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Porto Alegre, 10 dezembro de 2009

Prof. Washington Peres Núñez
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Suyen Matsumura Nakahara (UFRGS)
Doutora pela Universidade de São Paulo

Prof. Larry Rivoire Júnior (IPA)
Mestre pela Universidade Luterana do Brasil

Prof. Washington Peres Núñez (UFRGS)
Doutor pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho a meus pais que sempre me incentivaram, a minha irmã que sempre esteve ao meu lado e a meu namorado que me apoiou nesta etapa decisiva do Curso de Graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Washington Peres Núñez, orientador deste trabalho pela sua atenção ao longo de todo este ano.

Agradeço a Prof^a. Carin Maria Schmitt por toda paciência que teve nos diversos momentos de dúvidas e por dedicar seu tempo e atenção aos alunos.

Há muitas maneiras de avançar, mas só uma maneira de
ficar parado.

Franklin D. Roosevelt

RESUMO

LINK, V. M. **Patologias em corredores de ônibus:** alternativas de soluções para pavimentos flexíveis. 2009. 31 f. Trabalho de Diplomação (Graduação em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

Os corredores de ônibus da cidade de Porto Alegre, executados em pavimentos flexíveis, apresentam diversos problemas, os quais são de fácil percepção a qualquer usuário deste sistema de transporte. Este trabalho aborda as características dessa estrutura, quais são as principais patologias e alguns fatores que podem motivar estes defeitos. Como o asfalto é constituinte principal da mistura usada para o revestimento a composição química é apresentada. O cimento asfáltico usado nesses corredores é o CAP-20, seus principais ensaios de caracterização são exemplificados, assim como as especificações de norma apresentadas. Visto que a temperatura tem grande influência no comportamento do ligante asfáltico, e a cidade de Porto Alegre apresenta grandes variações térmicas, a utilização deste ligante é questionada e a busca de alternativas de soluções para este problema é o objetivo deste estudo. Três corredores de ônibus foram analisados, os tipos de patologias neles encontradas e possíveis causas foram identificadas. Com base nas considerações feitas de cada corredor, nos tipos de problemas desenvolvidos e nas suas causas, concepções de alternativas em revestimento asfáltico foram expostas.

Palavras-chave: pavimentos flexíveis; ligante asfáltico de petróleo; patologias; corredores de ônibus.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do delineamento da pesquisa	15
Figura 2 – Estrutura de pavimento asfáltico (corte transversal	18
Figura 3 – Equipamento utilizado no ensaio de penetração e esquema do ensaio	24
Figura 4 – Equipamentos para ensaios de viscosidade absoluta e cinemática	25
Figura 5 – Exemplo de equipamento <i>Saybolt-Furol</i> de ensaio de viscosidade e esquema do interior do equipamento.....	26
Figura 6 – Equipamento automático para medida do ponto de amolecimento do asfalto e esquema do ensaio com equipamento mais simples	27
Figura 7 – Trecho executado em pavimento composto.....	40
Figura 8 – Trecho executado em pavimento flexível	40
Figura 9 – Escorregamento do revestimento acompanhado de exsudação	41
Figura 10- Propagação das fendas existentes na camada inferior para o revestimento ...	42
Figura 11 – Propagação da fissuras devido às juntas de dilatação e formação de panelas	42
Figura 12 – Painela com profundidade aproximada de 5cm	43
Figura 13 – Escorregamento com consolidação de trilha de roda	44
Figura 14 – Remendo com afundamento de 4 cm	44
Figura 15 – Afundamento em torno de tampa de rede de esgoto	45
Figura 16 – Pavimento em boas condições na AV. Bento Gonçalves	46
Figura 17- Formação de painela	46
Figura 18 – Propagação de trincas	47
Figura 19 – Afundamento plástico nas de trilhas de roda	48
Figura 20 - Afundamento ao lado do meio-fio (9 cm)	48
Figura 21- Afundamento ao lado da via (6 cm)	48
Figura 22 – Escorregamento do revestimento	49
Figura 23 – Trincas couro-de-jacaré	50
Figura 24 – Afundamento com remendo, escorregamento do revestimento e trincas parabólicas	50
Figura 25 - Afundamento com remendo, escorregamento do revestimento e painela	51
Figura 26 – Sequência de remendos e formação de painela	51
Figura 27 – Aproximação da painela do trecho com sequência de remendos	52
Figura 28 – Pavimento fresado	53
Figura 29 – Detalhe da altura do escorregamento mesmo após fresagem	53
Figura 30 – Afundamento de 6 cm e escorregamento do revestimento	54

Figura 31 – Exemplo de panelas, exsudação e desprendimento dos grãos da mistura asfáltica.....	55
Figura 32 – Exemplo de panelas, exsudação, escorregamento e desprendimento dos grão da mistura asfáltica	55
Figura 33 – Detalhe da figura 31 demonstrando a profundidade do afundamento.....	56
Figura 34 – Comparação entre pavimento composto e flexível.....	57
Figura 35 – Afundamento e escorregamento do revestimento com profundidade de aproximadamente 9 m.....	57
Figura 36 – Painela dentro de uma trilha de roda com profundidade de 9 cm	58
Figura 37 – Painela dentro de uma trilha de roda com profundidade de 9 cm	58
Figura 38 – Envelhecimento da mistura, afundamento de 5 cm e exsudação	59
Figura 39 – Trecho em curva com trilha de rodas e escorregamento do revestimento	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Especificações para Cimentos Asfálticos de Petróleo: classificação por viscosidade.....	28
Quadro 2 – Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo: classificação por penetração	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 MÉTODO DE PESQUISA	13
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	13
2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	13
2.2.1 Objetivo principal	13
2.2.2 Objetivos secundários	13
2.3 PREMISSAS	14
2.4 DELIMITAÇÕES	14
2.5 LIMITAÇÕES	14
2.6 DELINEAMENTO	14
3 PAVIMENTOS ASFÁLTICOS	16
3.1 ASPECTOS GERAIS	16
3.2 LIGANTE ASFÁLTICO	19
3.2.1 Maltenos	21
3.2.2 Asfaltenos	22
3.2.3 Resinas	22
3.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO LIGANTE ASFÁLTICO	22
3.3.1 Ensaio de Penetração	23
3.3.2 Ensaio de Viscosidade	24
3.3.3 Ponto de Amolecimento	26
3.4 ESPECIFICAÇÕES DO CAP-20	27
3.5 LIMITAÇÕES DO CAP-20 NOS CORREDORES DE ÔNIBUS	30
3.6 PATOLOGIAS	30
3.7 MISTURAS ASFÁLTICAS	34
3.7.1 Misturas tipo SMA	35
3.7.2 Misturas de elevado desempenho com emprego de cal hidratada	37
4 IDENTIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS E ALTERNATIVAS DE SOLUÇÕES	39
4.1 CORREDOR DE ÔNIBUS NA AV. JOÃO PESSOA	39
4.2 CORREDOR DA AV. BENTO GONÇALVES	45
4.3 CORREDOR DA AV. PROTÁSIO ALVES	52
4.4 CONCEPÇÃO DE ALTERNATIVAS E SUGESTÕES DE SOLUÇÕES	59
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

Os corredores de ônibus são soluções adotadas para diminuir o problema do trânsito caótico presente nas grandes cidades do Brasil. Como a quantidade de carros aumenta a cada ano, a fluência do tráfego depende de uma boa distribuição dos veículos ao longo das cidades. As vias segregadas para uso exclusivo do transporte coletivo ajudam no desempenho do tráfego das avenidas com trânsito intenso.

Nas principais avenidas da cidade de Porto Alegre, o uso destes corredores é a solução adotada para o melhor escoamento do trânsito. A fluência do tráfego nessas vias depende fundamentalmente da qualidade do revestimento, portanto, uma vez que este pavimento esteja danificado, a movimentação dos ônibus fica prejudicada.

Em Porto Alegre existem corredores de ônibus com os dois tipos básicos de revestimentos: asfálticos e de concreto, conhecidos por pavimentos flexíveis e rígidos, respectivamente. Como a quantidade de corredores em pavimentos flexíveis é significativamente grande e, comparando ao tempo relativamente recente da execução de corredores em concreto, nos corredores com revestimentos asfálticos os problemas são mais visíveis.

A presença de diversos problemas nos corredores executados em revestimento asfáltico é evidente. Diversas são as patologias que os pavimentos asfálticos apresentam, cada uma com causa específica e consequência prejudicial tanto aos usuários do transporte público como aos pedestres e motoristas. Os principais defeitos nos pavimentos são: escorregamento do revestimento, ondulações longitudinais e as trilhas de rodas. Essas deformidades podem acarretar em acidentes, inclusive atingindo pedestres, desconforto dos passageiros que estão dentro dos ônibus, maior custo operacional dos veículos e diversos outros problemas.

Assim, visto que os métodos ou materiais usados não estão sendo satisfatórios, a realização de um estudo com o intuito de identificar as causas desses problemas e indicar alternativas de soluções duráveis é fundamental na busca do aperfeiçoamento das técnicas de pavimentação de corredores de ônibus.

O desenvolvimento deste estudo foi realizado em cinco capítulos, e os assuntos foram distribuídos da maneira descrita a seguir. O capítulo 1 apresenta a introdução do tema e justificativa da sua escolha. O capítulo 2 aborda a metodologia aplicada na pesquisa.

O capítulo 3 consta de revisão bibliográfica do tema, versando principalmente sobre pavimentos asfálticos, suas características e especificações e seus componentes. Cita-se ainda o tipo de ligante asfáltico utilizado nos corredores de ônibus de Porto Alegre, os ensaios de caracterização e limitações do seu uso. Trata também das patologias aplicadas a este gênero de via de algumas misturas asfálticas.

O capítulo 4 descreve a análise dos corredores de ônibus estudados, apresentando os problemas encontrados, indicando possíveis causas e a seguir as soluções para este tipo de revestimento. O capítulo 5 apresenta as conclusões e considerações finais.

2 MÉTODO DE PESQUISA

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é: quais são as alternativas de soluções para os problemas identificados nos corredores de ônibus em pavimentos flexíveis de Porto Alegre/RS?

2.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos do trabalho estão classificados em principal e secundários e são apresentados nos próximos itens.

2.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é a proposição de alternativas de soluções para os problemas identificados nos corredores de ônibus em revestimento asfáltico de Porto Alegre/RS.

2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários deste trabalho são:

- a) verificação das patologias existentes nos pavimentos flexíveis dos corredores de Porto Alegre/RS;
- b) avaliação das características em serviço da mistura asfáltica utilizada;

c) análise das causas dos problemas identificados em campo.

2.3 PREMISSAS

É premissa do trabalho que tem ocorrido uma variedade de problemas observados ao longo de diversos corredores de ônibus de Porto Alegre/RS e são consequências desses problemas os custos de reabilitação anuais dos pavimentos, o desconforto dos passageiros, o maior desgaste do veículo e possíveis acidentes.

2.4 DELIMITAÇÕES

A pesquisa delimita-se aos corredores de ônibus da cidade de Porto Alegre/RS, executados em revestimento asfáltico.

2.5 LIMITAÇÕES

O estudo está limitado a análise de três corredores de ônibus.

2.6 DELINEAMENTO

As etapas de desenvolvimento da pesquisa estão delineadas abaixo:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) identificação das patologias nos corredores de ônibus;
- c) análise das causas;
- d) sugestões de alternativas de soluções das patologias;
- e) conclusões.

A figura 1 demonstra de forma esquemática como será feito o trabalho.

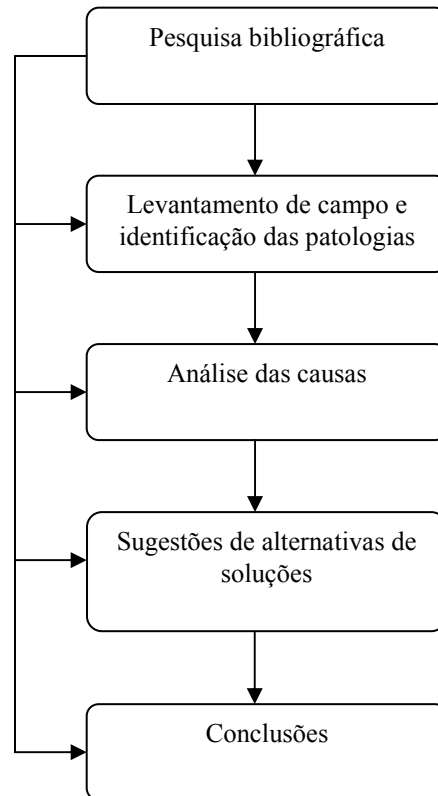


Figura 1 – Representação esquemática do delineamento da pesquisa

A pesquisa bibliográfica foi aplicada em todas as etapas do trabalho, com o objetivo de adquirir maior conhecimento sobre o tema principal, que analisa e indica alternativas de soluções para as patologias mais comuns nos corredores de ônibus. A etapa seguinte constituiu-se na elaboração de um relatório fotográfico que foi feito em determinados corredores de ônibus onde se evidenciam os principais problemas. A partir disto foi feita a identificação patologias encontradas.

Com posse das identificações das patologias, foi feita uma análise das causas dos defeitos que forem constatados, para que no seguinte passo possam ser feitas as sugestões de alternativas de soluções para as deformidades existentes. A última etapa estabelecerá as considerações finais de toda a pesquisa.

3 PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Este capítulo descreve quais são os aspectos gerais dos pavimentos flexíveis, as principais características desta estrutura e os componentes que atribuem aos revestimentos asfálticos algumas peculiaridades. Também versa sobre os ensaios de caracterização do ligante asfáltico, as suas especificações e limitações e as patologias que podem ocorrer neste tipo de pavimento.

3.1 ASPECTOS GERAIS

Pavimentos são estruturas com múltiplas camadas, estabelecidas sobre superfícies finais de terraplenagem, conforme definem Bernucci et al. (2007, p. 9), descrevendo ainda que esta estrutura é “[...] destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a proporcionar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança.”. Descrição que está em conformidade com a NBR 7.207 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1982, p. 2):

O pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a:

- a) resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- b) melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- c) resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície do rolamento.

Tradicionalmente existem dois tipos básicos de pavimentos: os rígidos e os flexíveis. Sendo possível usar como sinônimos pavimentos de concreto de cimento Portland e asfálticos, respectivamente (BERNUCCI et al., 2007, p. 9). Medina (1997, p. 17) considera também que “Quando, sob o revestimento betuminoso, tem-se uma base cimentada, o pavimento é dito semi-rígido. Considera-se o pavimento reforçado de concreto asfáltico sobre placa de concreto como pavimento composto.”

Os termos rígido e flexível referem-se ao comportamento da estrutura como um todo, quando dizem respeito à classificação do pavimento. Isto porque como característica do material, por exemplo, pode-se dizer que o concreto asfáltico será bastante rígido ou bastante flexível de acordo com as condições climáticas (BALBO, 1997, p. 14).

Balbo (1997, p. 12-13) afirma que quando os pavimentos rígidos e flexíveis são solicitados por cargas de mesma magnitude, as dimensões do deslocamento vertical elástico (ou deflexão) são expressivas e facilmente dimensionadas nos pavimentos flexíveis, diferentemente dos pavimentos rígidos. As pressões verticais, nos revestimento de misturas asfálticas, concentram-se nas proximidades da região carregada, contrapondo-se a distribuição nas placas de concreto.

Segundo Senço (1997, p.23):

Pavimentos flexíveis são aqueles em que as deformações, até um certo limite, não levam ao rompimento. São dimensionados normalmente à compressão e a tração na flexão, provocada pelo aparecimento das bacias de deformação sob as rodas dos veículos, que levam a estrutura a deformações permanentes, e ao rompimento por fadiga.

Balbo (1997, p. 12) complementa que “[...] pavimentos flexíveis, por sua vez, são compostos por camadas de rolamento elaboradas com algum tipo de mistura asfáltica.”. Bernucci et al. (2007, p. 9) reforçam que esta mistura asfáltica é composta essencialmente por agregados e ligantes asfálticos e que os pavimentos são constituídos, normalmente, por quatro camadas que repousam sobre o subleito, conforme demonstra a figura 2.

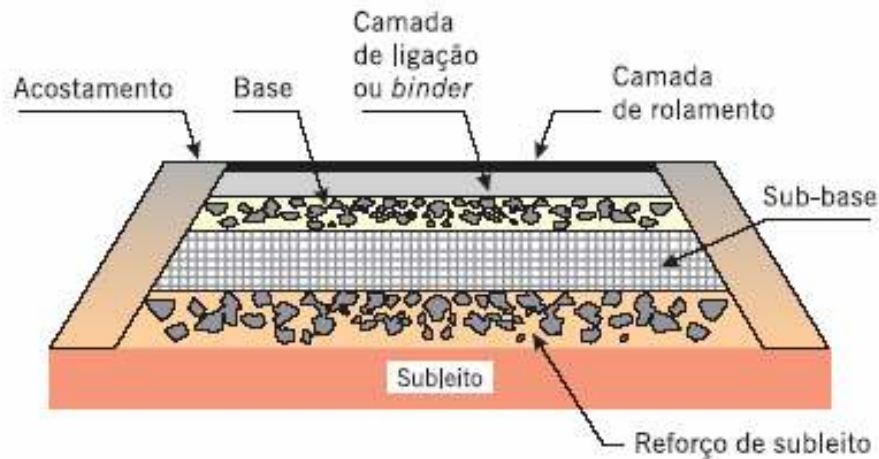


Figura 2 – Estrutura de pavimento asfáltico (corte transversal)
(BERNUCCI et al., 2007, p. 10)

De acordo com Senço (1997, p.15-20) as definições das camadas são:

Subleito

É o terreno de fundação do pavimento. [...]

Reforço do Subleito

É uma camada de espessura constante, construída, se necessário acima da regularização, com características tecnológicas superiores às da regularização e inferiores às da camada imediatamente superior, ou seja, a sub-base. [...] também resiste e distribui esforços verticais, não tendo as características de absorver definitivamente esses esforços, o que é a característica específica do subleito. [...]

Sub-base

É a camada complementar à base, quando, por circunstâncias técnicas e econômicas, não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito. [...]

Base

É a camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los. Na verdade, o pavimento pode ser considerado composto de base e revestimento, sendo que a base poderá ou não ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito.

Revestimento

[...] É a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do tráfego e destinada a melhorar a superfície de rolamento quanto às condições de conforto e segurança, além de resistir ao desgaste, ou seja, aumentando a durabilidade da estrutura.

Senço (1997, p. 23) ressalta que:

A dificuldade maior de adotar esta classificação é a liberdade de utilizar camadas flexíveis e rígidas numa mesma estrutura de pavimento. Assim, nada impede a execução de uma camada de revestimento de concreto asfáltico, que é flexível, sobre uma camada de base de solo cimento, que é rígida.

3.2 LIGANTE ASFÁLTICO

O ligante asfáltico é um dos principais componentes da estrutura do pavimento asfáltico quanto a sua influência na ocorrência de defeitos. Por estar na parte superior da estrutura, também é o que mais demonstra o aparecimento das patologias.

A especificação de materiais do DNIT 095/2006 EM define cimento asfáltico de petróleo como “[...] o asfalto obtido especialmente para apresentar as qualidades e consistências próprias para o uso direto na construção de pavimentos.” (BRASIL, 2006, p. 2–3). Apresentam como sigla CAP, que deve vir sucedida de um número que indica o tipo conforme a penetração, que é resultado de um ensaio de caracterização que será apresentado adiante. Bernucci et al. (2007, p. 26) complementam que “[...] utiliza-se a denominação CAP para designar esse produto semi-sólido a temperaturas baixas, viscoelástico à temperatura ambiente e líquido a altas temperaturas e que se enquadra em limites de consistência para determinadas temperaturas [...]”.

O uso de revestimentos asfálticos é a principal forma de pavimentação na maioria dos países do mundo, informam Bernucci et al. (2007, p. 25). As principais razões para o uso intensivo do asfaltos são:

[...] proporciona forte união dos agregados, agindo como um ligante que permite flexibilidade controlável; é impermeabilizante, é durável e resistente à ação da maioria dos ácidos, dos álcalis e dos sais, podendo ser aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral, com ou sem aditivos.

Bernucci et al. (2007, p. 26) afirmam que “O asfalto utilizado em pavimentação é um ligante betuminoso que provém da destilação do petróleo e que tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoplastico, impermeável à água e pouco reativo.”. Um processo de envelhecimento,

entretanto, não é descartado por essa baixa reatividade, podendo ser por oxidação lenta devido ao contato do asfalto com o ar e a água.

Para Senço (1997, p. 319) a preferência por asfaltos pode ser explicada pelas seguintes propriedades:

- adesividade entre o betume e os agregados, que permite a ligação entre as pedras;
- impermeabilidade;
- durabilidade das misturas e manutenção das propriedades do betume por muitos anos;
- possibilidade de trabalho a diversas temperaturas;

[...]

O comportamento mecânico do asfalto demonstra a susceptibilidade à velocidade, ao tempo e à intensidade de carregamento e à temperatura de serviço. O comportamento mais assumido é o termoviscoelástico (BERNUCCI et al., 2007, p. 26).

Segundo Bernucci et al. (2007, p. 41) o ligante asfáltico comporta-se como um sólido quando a viscosidade fica muito elevada. Essa situação ocorre em temperaturas muito baixas, deixando as moléculas com grande dificuldade de movimentação umas em relação às outras. Os autores descrevem que há fluxo entre as moléculas, quando elas começam a se mover na medida em que a temperatura aumenta, assim “O aumento do movimento faz baixar a viscosidade e, em temperaturas altas, o ligante se comporta como um líquido. Essa transição é reversível.”.

Então, a susceptibilidade térmica é uma propriedade importante dos ligantes asfálticos, pois se estes apresentarem grandes variações de estado e de propriedades, diante de alterações de temperatura, não serão desejáveis para utilização na pavimentação. Bernucci et al. (2007, p. 55) ainda ressalta que “É desejável que o ligante asfáltico apresente variações pequenas de propriedades mecânicas, nas temperaturas de serviços dos revestimentos, para evitar grandes alterações de comportamento frente às variações de temperatura ambiente.”.

Em pavimentos flexíveis, as variações de temperatura têm grande importância no que diz respeito a sua rigidez, que está diretamente ligada a viscosidade que é variável com a temperatura. Medina (1997, p. 59) reforça o que os outros autores indicam afirmando que

“[...] a deformabilidade maior ou menor do pavimento é condicionada pelas variações da temperatura do ar ou das condições meteorológicas de um modo geral.”. Para este autor, a extrema dependência dos fatores climáticos é uma característica marcante do pavimento como estrutura, este junto com a ação das cargas dos veículos, confere ao pavimento uma vida de serviço com poucos anos.

Para melhor compreensão das características e situações descritas acima é necessário o conhecimento da composição química dos ligantes asfáltico. A constituição do asfalto está diretamente ligada ao seu comportamento e desempenho, tanto em relação as temperaturas de serviço quanto as cargas aplicadas sobre ele.

Os asfaltos possuem composições químicas muito complexas, dependentes dos processos de fabricação e matéria-prima utilizada. De uma maneira fácil pode afirmar-se que os asfaltos são soluções de partículas de asfaltenos rodeadas por resinas, que existem em um meio oleoso (maltenos). (trabalho não publicado)¹. Estes componentes estão descritos abaixo.

3.2.1 Maltenos

Os maltenos são óleos líquidos, podendo ser separados em óleos aromáticos e saturados. Possuem menor peso molecular, estão presentes no asfalto em torno de 70% da concentração, e são solúveis em n-pentano. Ainda estão subdivididos em quatro frações (Ni, A₁, A₂ e P), conforme a solubilidade no ácido sulfúrico a diversas concentrações (trabalho não publicado)².

O mesmo trabalho ainda comenta que o subgrupo Ni é o das Bases Nitrogenadas, possuem alta reatividade com os asfaltenos, participando da sua dispersão. As Acidafinas I formam o subgrupo A₁ e também têm elevada reatividade com os asfaltenos e são susceptíveis ao envelhecimento formando os asfaltenos. As Acidafinas II (A₂) estão ligadas à durabilidade do asfalto, por este motivo são os constituintes bastante desejáveis na composição. A fração P,

¹ Material de aula da disciplina de Pavimentação, ENG 01012, sobre responsabilidade do Profº. Washington Peres Núñez, no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no primeiro semestre 2009.

² Idem.

Hidrocarbonetos Saturados, é a menos susceptível à oxidação, tornando se a fração mais durável.

3.2.2 Asfaltenos

Os asfaltenos são formados por hidrocarbonetos de elevado peso molecular, sendo insolúveis no solvente n-pentano. Estão presente na composição do asfalto num valor em torno de 30%. Esta estrutura química é caracterizada sob a forma de um sólido duro e quebradiço (em temperatura ambiente, 25°C) (trabalho não publicado)³.

3.2.3 Resinas

As resinas são estruturas químicas híbridas das anteriores e são solúveis em n-pentano. Associam-se com os asfaltenos e com os maltenos, permitindo que esses componentes formem uma solução (trabalho não publicado)⁴.

Este mesmo estudo conclue que os maltenos, asfaltenos e resinas, são os componentes que proporcionam ou não, aos asfaltos certas características, como viscosidade e energia. A viscosidade dos ligantes é influenciada pela proporção relativa dos três grupamentos químicos e pela temperatura do material: quanto mais asfaltenos, mais viscoso é o ligante, quanto maior a temperatura do asfalto, maior a energia e o movimento das partículas, gerando menor ligação entre elas e menor resistência ao cisalhamento que é medida pela viscosidade.

3.3 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DO LIGANTE ASFÁLTICO

Na maioria dos países, a determinação de que um cimento asfáltico é apropriado para a pavimentação é obtida pela utilização de medidas simples das características físicas do ligante, que podem ser realizadas de forma fácil em laboratórios de obras. Bernucci et al.

³ Material de aula da disciplina de Pavimentação, ENG 01012, sobre responsabilidade do Prof^o. Washington Peres Núñez, no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no primeiro semestre 2009

(2007, p. 42) também comentam que: “As duas principais características utilizadas são: a “dureza”, medida através da penetração de uma agulha padrão na amostra de ligante, e a resistência ao fluxo, medida através de ensaios de viscosidade.”. Os principais ensaios de especificação dos ligantes asfálticos e os métodos de execução são descritos a seguir.

3.3.1 Ensaio de Penetração

Senço (1997, p. 235) comenta que o Ensaio de Penetração é um dos fundamentais e tem por objetivo determinar ou controlar a consistência do asfalto, explica também que:

A penetração de um cimento asfáltico de petróleo é a distância, medida em décimos de milímetro, que uma agulha padrão penetra verticalmente na amostra de material, sob as seguintes condições:

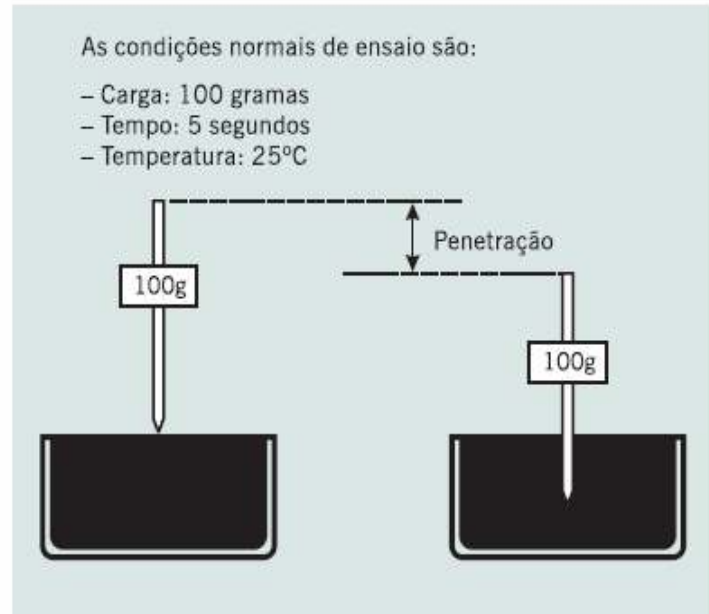
- carga de 100g;
- temperatura de 25°C; e
- tempo de aplicação da carga de 5 segundos.

Bernucci et al. (2007, p. 42) concluem que “No ensaio de penetração a consistência do CAP é inversamente proporcional à penetração da agulha na amostra de cimento asfáltico.”. A figura 3 representa o equipamento utilizado no ensaio e uma representação esquemática do resultado obtido.

⁴ Idem.



(a) Equipamento manual



(b) Esquema básico do ensaio

Figura 3 – Equipamento utilizado no ensaio de penetração e esquema do ensaio (BERNUCCI et al., 2007, p. 42)

3.3.2 Ensaio de Viscosidade

Como definição de viscosidade encontro-se na bibliografia que “é uma medida da consistência do cimento asfáltico, por resistência ao escoamento.” (BERNUCCI et al., 2007, p. 43). A unidade mais utilizada para este parâmetro é o poise (g/cm.s).

A figura 4 apresenta alguns modelos de equipamentos que medem a viscosidade dos ligantes asfálticos. Já a figura 5 representa um modelo de equipamento *Saybolt-Furol* e um esquema do interior deste aparelho.



Equipamento



Unidade de vácuo



Viscosímetro

(a) Equipamento de ensaio de viscosidade capilar Cannon-Manning, bomba de vácuo correspondente e exemplo de viscosímetro utilizado no ensaio



(b) Equipamento de viscosidade cinemática Cannon-Fenske

Figura 4 – Equipamentos para ensaios de viscosidade absoluta e cinemática.
(BERNUCCI et al., 2007, p. 45)

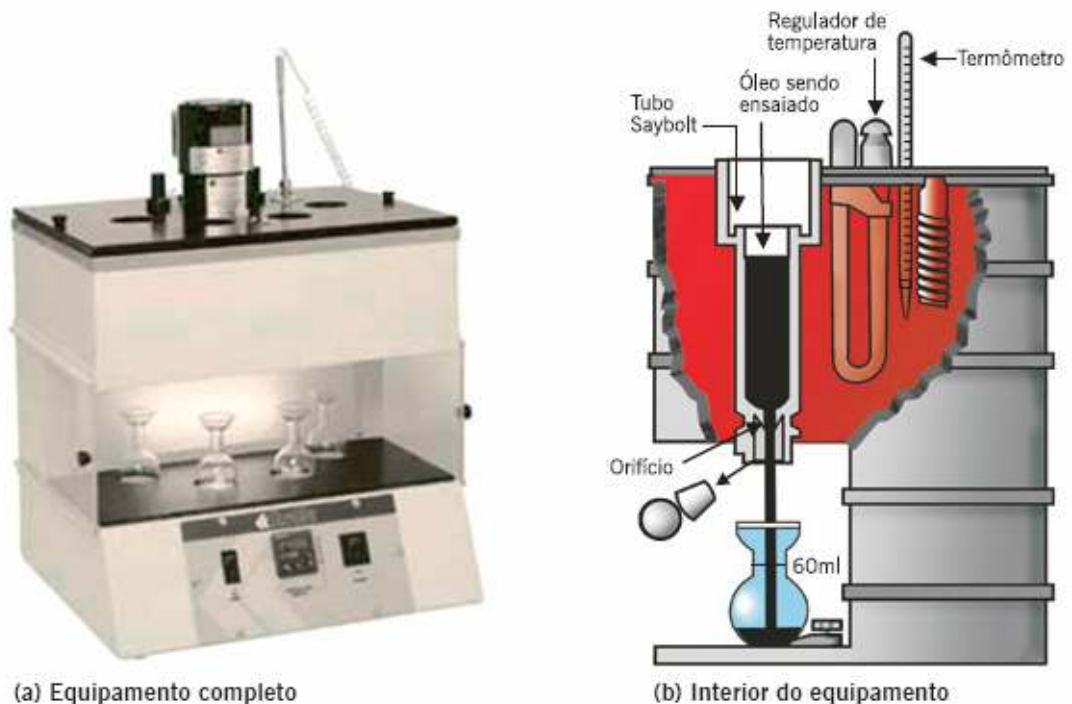


Figura 5 – Exemplo de equipamneto *Saybolt-Furol* de ensaio de viscosidade e esquema do interior do equipamento (BERNUCCI et al., 2007, p. 45)

3.3.3 Ponto de Amolecimento

Bernucci et al. (2007, p. 48) afirma que: “O ponto de amolecimento é uma medida empírica que correlaciona a temperatura na qual o asfalto amolece quando aquecido sob certas condições particulares e atinge uma determinada condição de escoamento.”. Para Senço (1997, p. 347): “O objetivo deste ensaio é a determinação de temperatura em que os asfaltos se tornam fluidos.”.

Para determinar o ponto de amolecimento de um CAP é utilizado o ensaio de anel e bola. Consiste em uma esfera de aço colocada em mostra de asfalto que está dentro de um anel metálico, todos estes acessórios são padronizados e colocados em um banho de água que em seguida é aquecido. A temperatura (em °C) que permite que a esfera ultrapasse a camada de asfalto e toque o fundo do recipiente, é o ponto de amolecimento do CAP ensaiado. A figura 6 demonstra este ensaio.

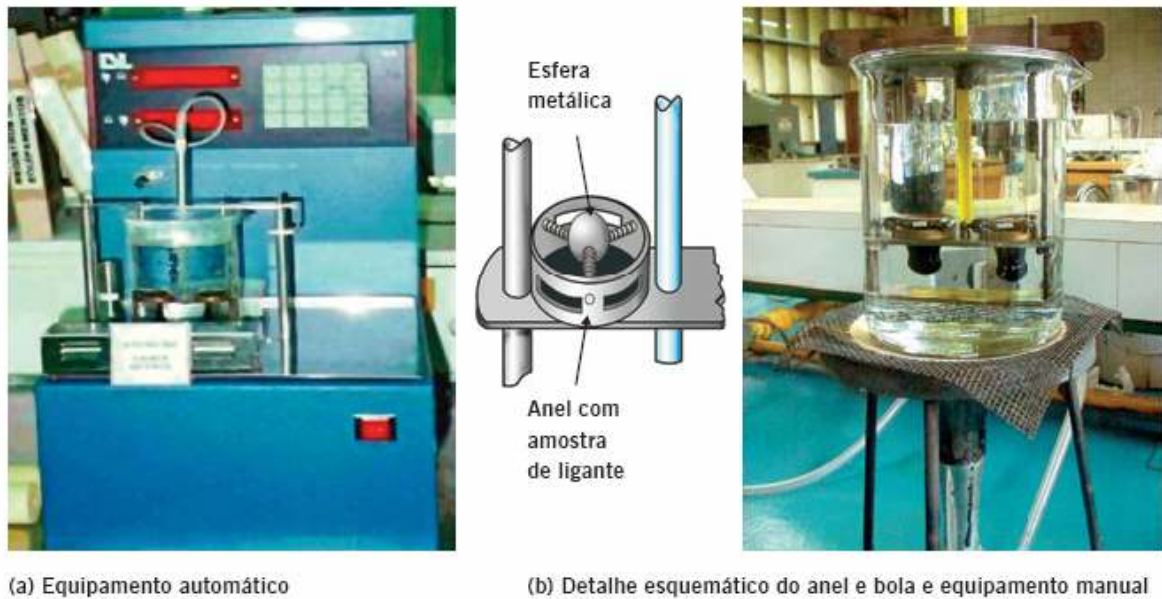


Figura 6 – Equipamento automático para medida do ponto de amolecimento do asfalto e esquema do ensaio com equipamento mais simples.
(BERNUCCI et al., 2007, p. 45)

3.4 ESPECIFICAÇÕES DO CAP-20

O ligante asfáltico utilizado para a pavimentação deve seguir algumas especificações. O CAP-20, o cimento asfáltico que normalmente foi utilizado para a construção dos pavimentos dos corredores de Porto Alegre, segue as exigências da norma do Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, DNIT 095/2006-EM (BRASIL, 2006).

A classificação do CAP a partir de 1986 era feita com ênfase na viscosidade absoluta, a 60°C, em poises (g/cm.s): CAP-7, CAP-20 e CAP-40. Desde o ano 2005 esta classificação é feita com base no ensaio de penetração que divide em: CAP-30/45, CAP-50/70, CAP-85/100 e CAP-150/200. Tendo como correspondente do CAP-20, por viscosidade, o CAP-50/70, por penetração (texto não publicado)⁵. O quadro 1 apresenta as especificações exigidas até o ano de 2005, com a classificação por viscosidade.

⁵Material de aula da disciplina de Pavimentação, ENG 01012, sobre responsabilidade do Prof. Washington Peres Núñez, no curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, no primeiro semestre 2009.

Características	Unidade	Valores			
		CAP 30-45	CAP 50-60	CAP 85-100	CAP 150-200
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 a 45	50 a 60	85 a 100	150 a 200
Dutilidade a 25°C, mín.	cm	60	60	100	100
Índice de Suscetibilidade Térmica		(-1,5) a (+1)	(-1,5) a (+1)	(-1,5) a (+1)	(-1,5) a (+1)
Ponto de fulgor, mín.	°C	235	235	235	220
Solubilidade em tricloroetileno, mín.	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5
Viscosidade Saybolt-Furol, 135°C, mín.	s	110	110	85	70
Efeito do calor e do ar, 163°C por 5h					
Penetração, mín.	%	50	50	47	40
Varição em massa, máx.	%	1,0	1,0	1,0	1,0

Quadro 1 – Especificações para Cimentos Asfálticos de Petróleo: classificação por viscosidade (BERNUCCI et al., 2007, p. 60)

Como condições gerais os cimentos asfálticos devem ser homogêneos, não conter água e não espumar quando aquecidos a 175°C. As amostras são submetidas aos ensaios apresentados no quadro 2 e devem atender as especificações contidas nele, caso contrário um cliente não é obrigado a ficar com a carga fornecida (BRASIL, 2006, p. 3).

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	LIMITES				MÉTODOS		
		CAP 30 / 45	CAP 50 / 70	CAP 85 / 100	CAP 150 / 200	ABNT	ASTM	DNER
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5	ME 003/99
	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36	
Viscosidade Saybolt Furol	s					NBR 14950	E 102	ME 004/94
a 135 °C, mín		192	141	110	80			
a 150 °C, mín		90	50	43	36			
a 177 °C		40 - 150	30 - 150	15 - 60	15 - 60			
OU								
Viscosidade Brookfield	cP					NBR 15184	D 4402	
a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín		374	274	214	155			
a 150 °C, SP 21, mín.		203	112	97	81			
a 177 °C, SP 21		76 - 285	57 - 285	28 - 114	28 - 114			
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)			
Ponto de fulgor mín	°C	235	235	235	235	NBR 11341	D 92	ME 149/94
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5	NBR 14855	D 2042	ME 153/94
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113	ME 163/98
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 °C, 85 min							D 2872	
Varição em massa, máx (2)	% massa	0,5	0,5	0,5	0,5			
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113	ME 163/98
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8	8	8	8	NBR 6560	D 36	
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5	ME 003/99

Observações:

(1) O Índice de susceptibilidade térmica é obtido a partir da seguinte equação ou da Tabela 2:

Índice de susceptibilidade térmica = IST

$$IST = \frac{(500) (\log PEN) + (20) (T^{\circ} C) 1951}{120 (50) (\log PEN) + (T^{\circ} C)}$$

onde : (T °C) = Ponto de amolecimento

PEN = penetração a 25 °C, 100g, 5 seg.

(2) A Varição em massa, em porcentagem, é definida como:

$$M = (M \text{ inicial} - M \text{ final}) / M \text{ inicial} \times 100$$

onde: M inicial massa antes do ensaio RTFOT

M final massa após o ensaio RTFOT

(3) A Penetração retida é definida como:

$$PEN \text{ retida} = (PEN \text{ final} / PEN \text{ inicial}) \times 100$$

onde: PEN inicial penetração antes do ensaio RTFOT

PEN final penetração após o ensaio RTFOT

Quadro 2 – Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo: classificação por penetração (BRASIL, 2006, p. 4)

3.5 LIMITAÇÕES DO CAP-20 NOS CORREDORES

O CAP-20, ligante usado na construção dos corredores de ônibus de Porto Alegre, tem apresentado algumas características que colocam em dúvida seu emprego neste tipo de pavimentação. Segundo Núñez et al. (2003), Porto Alegre apresenta no verão, temperaturas do ar muitas vezes superiores a 30°C, devido a períodos prolongados de exposição solar, que causam elevadas temperaturas nos revestimentos. Junto com a canalização do tráfego, elevadas cargas e baixas velocidades do ônibus provocam afundamentos nas trilhas de rodas de valores significativos.

Núñez et al. (2003) comentam que em um estudo realizado no Setor de Misturas Asfálticas do Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, os ensaios realizados medem:

[...] para o ponto de amolecimento anel e bola do CAP-20 valores compreendidos entre 49 e 51°C. Quando o ligante é submetido a efeito de calor e ar (ECA), o ponto de amolecimento aumenta para aproximadamente 53°C.

Esses valores são superados por temperaturas registradas no interior do revestimento em concreto asfáltico (máxima de 57°C), o que parece sugerir que este ligante não é adequado para situações em que o revestimento asfáltico é solicitado por tráfego intenso e canalizado de cargas aplicadas a baixas velocidades, como é o caso de corredores de ônibus, efeito agravado notavelmente por elevadas temperaturas.

Esse estudo aponta que o CAP-20 convencional não é uma boa opção de ligante para os revestimentos dos corredores de ônibus e indica o emprego de cimentos asfálticos com menor susceptibilidade térmica ou com elevados módulo e durabilidade, ou ainda uma outra concepção de pavimento (NÚÑEZ et al., 2003).

3.6 PATOLOGIAS NOS CORREDORES DE ÔNIBUS

No decorrer da vida útil dos pavimentos, essas estruturas apresentam defeitos ligados aos mais diversos motivos. Patologias estão fortemente ligadas aos materiais empregados e ao comportamento mecânico particular de cada pavimento. Assim, o conhecimento destas causas são: “[...] informações muito úteis ao engenheiro na tentativa de entender os problemas que se manifestam em pavimentos e terão bastante influência nas técnicas que serão empregadas para serviços de manutenção.” (BALBO, 1997, p.15).

Para Fernandes et al. (1999, p. 1):

Os pavimentos são estruturas complexas, que envolvem muitas variáveis, tais como: cargas do tráfego, solicitações ambientais, técnicas construtivas, práticas de manutenção e reabilitação, tipo e qualidade dos materiais etc. Representam parcela expressiva da infra-estrutura de transportes e, portanto, melhoramentos marginais nos seus componentes podem resultar em grandes economias em termos absolutos.

O conhecimento das patologias encontradas nos pavimentos é fundamental para uma posterior identificação das causas desses problemas e a indicação de alternativas de soluções. “O método de reparo depende da causa da deterioração, que deve ser totalmente eliminada para o defeito não tornar a ocorrer [...]” (FERNANDES et al., 1999, p. 4)

Fernandes et al. (1999, p. 2) dividem em dois grupos as causas de deterioração dos pavimentos:

- solicitações do tráfego: associadas, principalmente, à carga por eixo, ao tipo de eixo (simples, tandem duplo e tandem triplo), ao tipo de rodagem (simples, duplo e extralargo), à pressão de enchimento dos pneus e ao tipo de suspensão (feixe de molas e pneumático);
- solicitações climáticas: principalmente variações de temperatura e de teor de umidade [...]

Para Balbo (1997, p. 17-22) existem diversos modos de ruptura dos materiais de pavimentação, que “[...] acabam por condicionar o comportamento dos pavimentos quando sob ação das cargas rodoviárias, associando-se às patologias que se manifestam superficialmente [...]”. Esses modos de ruptura são por: resistência, fadiga, deformação plástica, retração hidráulica e térmica, propagação de trinca e ruptura funcional.

A ruptura por resistência do pavimento acontece quando o esforço aplicado é igual ou superior a sua resistência específica. No momento da ruptura a medida do esforço é a resistência típica do material (BALBO, 1999, p. 17).

Muitos materiais, quando são sucessivamente solicitados em níveis de tensão menores do que as tensões de ruptura, desenvolvem modificações em sua estrutura interna original, gerando um processo de microfissuração que acarreta em desenvolvimento de fraturas ocasionando o rompimento do material. Isto caracteriza a ruptura por fadiga (BALBO, 1997, p. 18).

Balbo (1997, p. 18-19) também explica que:

O agente ligante, que não possui natureza frágil e sim dúctil, suporta deformações plásticas significativas antes que ocorra a ruptura; no entanto, tais deformações apresentam limites a partir dos quais esforços de extensão causam uma microfissura na estrutura do material. O fenômeno é progressivo e causará a fratura do material ao longo do tempo.

É de importância ressaltar que fadiga é uma situação relativa a misturas tanto cimentadas quanto asfálticas, normalmente em pavimentos muito solicitados, (BALBO, 1997, p. 20).

As deformações plásticas também são chamadas de deformações permanentes. E sobre estas, Balbo (1997, p. 20) afirma:

Solos, misturas estabilizadas granulometricamente, pedras britadas e pedregulhos, a cada aplicação de carga apresentarão uma componente de deformação residual, que, de forma culminativa no decorrer da vida de serviço de um pavimento contribuem para a manifestação de deformações permanentes, em especial em trilhas de roda.

Tal tipo de processo pode ser considerado como condição de ruptura que ocorrerá com maior ou menor participação de cada camada da estrutura do pavimento flexível. Esta condição de ruptura está bastante associada à ruptura funcional, [...], sendo mais evidenciada em situações onde há baixa resistência de camadas inferiores (critério do CBR) ou ainda quando o fluxo de veículos comerciais (ônibus e/ou caminhões) é muito canalizado em faixas de rolamentos estreitas (comum em vias urbanas).

Balbo (1997, p. 21) afirma que “A retração nas misturas cimentadas consiste em variações volumétricas na massa que acabam ocasionando o surgimento de fissuras em sua estrutura interna.” Na maioria das vezes essas fissuras propagam-se até o revestimento. Os principais mecanismos de retração são térmicos e hidráulicos.

A ruptura por reflexão de trincas ou propagação das trincas acontece quando a camada superior, com revestimento flexível, que está em contato com uma camada inferior, podendo ser uma base cimentada ou asfáltica, possui trincas em sua superfície, explica Balbo (1997, p. 22), que também comenta que a função principal de um pavimento é:

[...] proporcionar ao tráfego usuário condições de rolamento confortável, seguro e econômico, uma ruptura funcional se caracteriza pelo não atendimento dessas condições. Inúmeros fatores podem contribuir, individualmente ou em conjunto, para a perda do conforto e da suavidade do rolamento do ponto de vista dos usuários. Um desses fatores é o surgimento de deformações plásticas em trilhas de roda que geram simultaneamente irregularidades superficiais transversais e longitudinais.

Balbo (1997, p. 23-24) explica as patologias definidas pela terminologia normalizada pelo DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (atual Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes), ele define fenda como:

Fissuras e trincas são definidas dentro de um grupo geral de defeitos chamado de fendas. Uma *fissura* é portanto uma fenda perceptível a olho nu a partir de distância inferior a 1,5m; *trincas* são as fendas maiores que as fissuras [...].

As trincas são classificadas como *transversais* (se aproximando perpendicularmente ao eixo estradal) e *longitudinais* (se aproximando paralelas ao eixo estradal) [...].

Existem ainda as trincas ditas interligadas, que são divididas em duas categorias: *trinca couro de jacaré* (também designada no meio por pele de crocodilo), com contornos erráticos, e *trinca de bloco*, com lados bem definidos aparentando blocos.

Para Balbo (1997, p. 23-24) o afundamento definido como:

[...] sendo uma ocorrência de deformação permanente na superfície do pavimento. Dois casos são tratados de maneira distinta: quando não há ocorrência simultânea de elevação lateral ao afundamento, o afundamento é dito consolidação. Até 6,0 m de comprimento são considerados locais; quando sua extensão é maior ao longo das trilhas de roda, o afundamento é dito de consolidação da trilha.

Quando ocorrem elevações, os afundamentos são ditos plástico, sendo analogamente, até 6,0 m denominados locais ou, se em extensão maior e ao longo das trilhas de roda, afundamento plástico da trilha de roda.

O mesmo autor (BALBO,1997, p. 23-24) determina que:

As *corrugações* devem ser entendidas como deformações de ocorrência transversal, que agrupadas, causam ondulações na superfície do pavimento. Estes defeitos são por vezes denominados “costela de vaca”, resultante de ondulações sequenciais de pequeno comprimento de onda.

Balbo (1997, p. 23-24), na sua obra também define outras patologias:

Escorregamento do Revestimento

[...] deslocamento do revestimento em relação à base com aparecimento de fendas em forma de meia-lua [...]

Exsudação

[...] excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, resultante da migração do ligante através do revestimento.

[...]

Desgaste

[...] arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial e provocado por esforços tangenciais do tráfego.

[...]

Panela

As panelas (ou popularmente *buracos*) são cavidades que ocorrem na superfície do pavimento, atingindo eventualmente a própria base da estrutura, resultante da desagregação de camadas.

Com o conhecimento dos tipos de ruptura e dos principais defeitos que um pavimento flexível pode apresentar, torna-se possível uma análise dos corredores de ônibus da cidade de Porto Alegre para a identificação das patologias que se desenvolvem neles. Com o estudo sobre os aspectos gerais da estrutura do revestimento e a constituição dos asfaltos é possível fazer uma análise da adequação ou não do ligante asfáltico usado para a pavimentação destas vias.

3.7 MISTURAS ASFÁLTICAS

Para compreender como acontecem as patologias nos pavimentos dos corredores de ônibus de Porto Alegre é necessário saber do que convencionalmente é composto o revestimento. Bernucci et al. (2007, p. 157) comenta que:

Na maioria dos pavimentos brasileiros usa-se como revestimento uma mistura de agregados minerais, de vários tamanhos, podendo também variar quanto à fonte, com ligantes asfálticos que, de forma adequadamente proporcionada e processada, garanta ao serviço executado os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência a fadiga e ao trincamento térmico de acordo com o clima e o tráfego previstos para o local.

A mistura mais utilizada no Brasil é o concreto asfáltico (CA) que também é conhecido como concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ). Esta mistura é composta por agregados de diversos tamanhos e cimento asfáltico dosados e convenientemente aquecidos, em função da viscosidade desejada (BERNUCCI et al., p. 158). Os mesmos autores ressaltam que “misturas asfálticas a quente também se dividem em grupos específicos em função da granulometria dos agregados [...]”.

Para Senço (1997, p. 27), o CBUQ é preferido para vias expressa porque:

É o mais nobre dos revestimentos flexíveis. Consiste na mistura íntima de agregado, satisfazendo rigorosas especificações, e betume devidamente dosado. A mistura é feita em usina, com rigoroso controle de granulometria, teor de betume, temperaturas do agregado e do betume, transporte, aplicação e compressão, sendo mesmo o serviço de mais acurado controle dos que compõem as etapas da pavimentação.

A mistura convencional, o CBUQ, é feita da seguinte maneira, segundo Bernucci et al. (2007, p. 158):

A mistura de agregados e ligante é realizada em usina estacionária e transportada posteriormente por caminhão para a pista, onde é lançada por equipamento apropriado, denominado vibroacabadora. Em seguida é compactada, até atingir um grau de compressão tal que resulte num arranjo estrutural estável e resistente, tanto às deformações permanentes quanto às deformações elásticas repetidas da passagem do tráfego.

A fabricação do revestimento é feita em usinas específicas, sendo chamadas de misturas usinadas, em usinas fixas ou móveis ou feitas na pista, que são os tratamentos superficiais. Quando separadas pela distribuição granulométrica classificam-se em: densas, abertas, contínuas e descontínuas (BERNUCCI et al., p. 158).

3.7.1 Misturas tipo SMA

A mistura SMA (*Stone Matrix Asphalt*) é traduzida em português como matriz pétreo asfáltica. É um revestimento asfáltico usinado à quente caracterizada por ter uma elevada taxa de agregados graúdos, assim maximiza o contato entre os agregados, pois aumenta a interação grão/grão. Essa graduação apresenta um elevado número de vazios que são preenchidos por uma fração de areia, filer, fibras e ligante asfáltico, o que constitui o mástique (BERNUCCI et al., p. 168).

O Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (2007, p. 4) Define o concreto asfáltico tipo SMA como:

[..] uma mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas. É composta de agregado mineral graduado, material de enchimento, fibras de celulose, cimento asfáltico modificado por polímero e, se necessário, melhorador de adesividade, sendo espalhada e compactada a quente. Concreto asfáltico tipo SMA deve ser empregado como camada de revestimento do pavimento.

Vasconcelos⁶ (2004 apud BABADOPOLUS et al., 2008, p. 77) afirma que o esqueleto mineral formado “[...] fornece à mistura um elevado intertravamento entre os grãos, de forma que a mistura ganha em resistência [...]”. O mesmo autor ressalta ainda que a porção de mástique fornece a mistura um melhor desempenho quanto a durabilidade.

O SMA apresenta uma curva granulométrica descontínua e Bernucci et al. (2007, p. 168) comentam que: “As misturas asfálticas densas convencionais em geral resistem pouco a reflexão de trincas e a deformação permanente o que é retardado na solução de SMA.”.

A concentração alta de agregados graúdos e sua graduação proporcionam uma superfície rugosa (macrotextura) com a formação de suaves canais entre os agregados, que geram uma drenagem superficial de boa qualidade. Característica que viabiliza um aumento da aderência pneu-pavimento quando molhados (BERNUCCI et al., 2007, p. 169-170).

Na mistura SMA a curva granulométrica apresenta grande descontinuidade nas peneiras intermediárias, possibilitando uma maior chance de escorrimento da mistura. Surgindo deste fato a necessidade do uso de fibras (BABADOPOLUS et al., 2008, p. 78). O Departamento de Estradas de rodagem de São Paul (2007, p. 5) afirma que “As fibras são empregadas com a finalidade de evitar o escorrimento do ligante durante a usinagem, transporte e aplicação da mistura. Podem ser utilizadas soltas ou envolvidas por ligante asfáltico formando grânulos [...]”.

São empregados, na mistura SMA, asfaltos modificados por polímeros como asfaltos convencionais, não tendo uma especificação para os ligantes. Contudo, as fibras normalmente são orgânicas (de celulose) ou minerais. Para não ocorrer a separação da mistura no transporte e evitar o escorrimento do ligante as fibras são adicionadas no momento da usinagem. Em alguns países fibras de vidro são utilizadas, já em outros existem experiências sem o uso das fibras, no entanto ligantes modificados são utilizados (NAPA⁷, 1999 apud BERNUCCI et al. 2007, p. 172).

Bernucci et al. (2007, p. 172) destaca como características de desempenho do SMA:

⁶ VASCONCELOS, K. L. Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas à Quente Dosadas pelas Metodologias Marshall e Superpave com Diferentes Granulometrias. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceara, Fortaleza, CE, 149 fl, 2004.

⁷ NAPA – NATIONAL ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. Design and Construction SMA mixtures: state of the practice. 1999. 43p.

- a) a boa estabilidade a elevadas temperaturas;
- b) boa flexibilidade a baixas temperaturas;
- c) boa resistência a derrapagem devido à macrotextura;
- d) grande resistência ao desgaste;
- e) redução do nível de ruído ao rolamento.

As sugestões de aplicações deste tipo de mistura são: áreas de carregamento e descarregamento de cargas, paradas e faixas de ônibus dentre outras (BERNUCCI et al. P. 172).

3.7.2 Misturas asfálticas com Cal hidratada

Com o intuito de aumentar a vida útil dos pavimentos, misturas asfálticas com elevados desempenhos estão sendo desenvolvidas. A incorporação de polímeros, aumentando assim a resistência à fadiga e redução de deformações permanentes é uma solução encontrada constituindo assim as misturas asfálticas de elevado módulo, denominadas EME (*enrobés à module élevé*) conforme Núñez et al. (2007, p. 2)

As misturas modificadas EME apresentam um comportamento em termos de resistência a deformações permanentes, muito superior ao de misturas asfálticas convencionais; mostrando, igualmente, elevada resistência aos efeitos deletérios d'água como descreve Rohde et AL.⁸ (2006 apud NÚÑEZ et al., 2007, p. 2)

Estudos descrevem que a adição de cal em misturas asfálticas, proporciona melhor adesividade agregado-ligante, assim como enrijece a mistura e o ligante asfáltico, retarda o trincamento e modifica a cinética da oxidação, de acordo com Little et AL.⁹ (2006 apud NÚÑEZ et al., 2007, p. 2), tornando-as misturas EME.

⁸ RHODE, L.; CERATTI, J. A.; NÚÑEZ, W. P. Misturas asfálticas para base de pavimentos de elevado desempenho e durabilidade. In: 18º Encontro do Asfalto, 2006, Rio de Janeiro: IBP, Anais, 2006.

⁹ LITTEL, D. & EPPS, J. The Benefits of Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt. Report for National Lime Association, 2001. Updated by Peter Sebaaly, in 2006.

Núñez et al. (2007, p. 2) afirmam que o emprego da cal em mistura convencional busca a “[...] obtenção de materiais que apresentem desempenho superior, quando submetidos a solicitações muito severas em termos de volume de tráfego e de cargas de eixos.”.

Segundo Petersen et al.¹⁰ (1987 apud NÚÑEZ et al., 2007, p. 3), os resultados obtidos com o acréscimo de cal hidratada a mistura asfáltica são os seguintes: melhora da adesividade entre o ligante e os agregados; aumento da rigidez tornando-a mais resistente aos afundamentos nas trilhas de roda e à fadiga, e, altas temperaturas; redução a oxidação e o envelhecimento do ligante deixando-o flexível por mais tempo, evitando os trincamentos.

Para Peterson et al.¹¹ (1987 apud Núñez et al., 2007, p. 4) pavimento asfáltico de elevado desempenho é:

[...] combinação de um revestimento resistente ao desgaste com uma camada intermediária durável e resistente às deformações permanentes (como as misturas com adição de cal) e uma camada de base resistente à fadiga com elevada durabilidade.

Uma das principais vantagens destes tipos de estrutura é que a espessura total do pavimento é menor se comparada às estruturas convencionais empregando bases granulares espessas.

Núñez et AL. (2007, p. 10) destacam os seguinte resultados obtidos em pesquisa com o emprego de cal hidratada em misturas convencionais: a mistura originada possui maior módulo de resiliência, sendo mais resistentes a deformação permanente e maior resistência à tração, deste modo mais resistente ao trincamento.

Os mesmos autores destacam que:

O emprego de misturas asfálticas com incorporação de cal hidratada é muito adequado em pavimentos de elevado desempenho, constituindo as camadas superiores dos mesmos, sujeitas a elevadas tensões de compressão (risco de afundamento nas trilhas de rodas), associada a camadas subjacentes mais flexíveis

¹⁰ PETERSEN, J. C., PLANCHER, H. & HARNSBERGEN, P. M. Lime Treatment of Asphalt to Reduce Age Hardning and Improve Flow Properties, *Proceedings AAPT*, Vol. 56, 1987.

¹¹ Idem.

4. IDENTIFICAÇÃO DAS PATOLOGIAS E ALTERNATIVAS DE SOLUÇÕES

As identificações das patologias foram feitas com base em três corredores de ônibus na cidade de Porto Alegre. Estes foram escolhidos por apresentarem inúmeros defeitos perceptíveis visualmente por qualquer pessoa leiga no assunto. Também foi considerada a importância que estes corredores têm no desenvolvimento do tráfego da cidade.

Os corredores estudados estão localizados nas avenidas João Pessoa, Protásio Alves e Bento Gonçalves. Os dois primeiros têm grande importância no escoamento do trânsito da cidade, pois atravessam vários bairros ligando-os ao centro. Já o último dá acesso a uma saída de Porto Alegre e na outra ponta faz ligação com uma importante área comercial da cidade.

Os corredores de ônibus foram percorridos ao longo de todo trecho previamente selecionado e as patologias foram fotografadas. Em alguns defeitos foram realizadas simples medições, como das profundidades de irregularidades, com a finalidade de se ter uma noção da influência que estes causam na passagem dos pneus de um ônibus.

A análise será apresentada da seguinte maneira: será descrita a localização do corredor, o tipo de pavimento predominante, os defeitos encontrados destacando os mais relevantes, apresentação de fotografias e as possíveis causas destes problemas. Estas etapas são feitas para todos os corredores estudados. A seguir serão propostas alternativas para solucionar os problemas descritos.

4.1 CORREDOR DE ÔNIBUS NA AV. JOÃO PESSOA

A análise feita no corredor de ônibus da av. João Pessoa abrangeu o trecho entre a av. Bento Gonçalves e a rua da República, nos bairros Azenha e Cidade Baixa, respectivamente, interligando a Zona Sul da cidade ao Centro, com extensão aproximada de 2,0 km.

O tipo de pavimento predominante nesta avenida é o flexível, com revestimento em CBUQ. Porém, no trecho inicial é possível perceber que abaixo do revestimento asfáltico existe uma

camada de concreto, o que caracteriza um pavimento composto, conforme definiu Medina (1997) citado acima. No trecho que compreende da av. Bento Gonçalves até a av. Princesa Isabel fica visível que o revestimento asfáltico foi colocado acima de placas de concreto. A partir deste ponto todo o pavimento é somente flexível, inclusive as paradas de ônibus. As figuras 7 e 8 demonstram estes dois sub-trechos do corredor de ônibus.



Figura 7 – Trecho executado em pavimento composto



Figura 8 – Trecho executado em pavimento flexível

Fazendo uma análise deste primeiro sub-trecho, fica fácil a visualização de fresagem do pavimento, que é parte de um processo de restauração da superfície de revestimento. Como o processo não foi concluído, a camada de CBUQ era fina e insuficiente para cobrir a placa, tornando inevitável o desenvolvimento de patologias.

A figura 9 mostra o exemplo de uma exsudação, neste caso acompanhado de escorregamento de asfalto por cima da faixa contínua de sinalização horizontal. Os dois problemas citados são ocasionados pela temperatura no interior do pavimento, a qual deve ter superado a do ponto de amolecimento do CAP. O primeiro faz com que o ligante asfáltico migre do interior do revestimento para a superfície em seguida dando origem ao segundo que faz com que a massa asfáltica escorregue para os cantos dos corredores. Este tipo de patologia confirma a inadequação do ligante asfáltico empregado na mistura convencional.



Figura 9 – Escorregamento do revestimento acompanhado de exsudação

Um dos defeitos mais evidentes neste trecho com placas de concreto é a propagação das fendas existentes na camada inferior para o revestimento, mostrado na Figura 10. Este problema possivelmente se originou devido ao bombeamento de finos da sub-base do pavimento rígido, e conseqüente quebra da placa de concreto no canto.



Figura 10 – Propagação das fendas existentes na camada inferior para o revestimento

As juntas transversais e longitudinais das placas de concreto também refletem no revestimento e proporcionam até o surgimento de panelas, com desprendimento de pedaços de CBUQ. A figura 11 apresenta este tipo de patologia.



Figura 11 – Propagação da fissuras devido às juntas de dilatação e formação de panelas

O aparecimento de panelas indica que a imprimação, não foi corretamente aplicada ou em quantidade desejada. A figura 12 mostra uma panela com uma profundidade de aproximadamente 5 cm.



Figura 12 – Panela com profundidade aproximada de 5cm

O sub-trecho que inicia após a av. Princesa Isabel apresenta-se por inteiro em pavimento asfáltico. Os defeitos mais encontrados são as trilhas de roda que aparecem devido ao tráfego canalizado, pesado e lento dos coletivos e os escorregamentos de revestimento, em ponto de parada de ônibus. Fendas em forma de meia-lua (trincamento parabólico) aparecem próximas aos escorregamentos. Como mostra a figura 13, que apresenta um escorregamento que chega praticamente a altura do meio-fio, causando uma trilha de aproximadamente 9 cm.

Na figura 14 aparentemente um remendo já havia sido executado, evidenciando que a tentativa de solucionar um problema, não resolve o afundamento, que é uma deformação permanente na via. Esta patologia pode ser causada devido à camada de base assentada abaixo do pavimento, pode ser por problemas na execução ou de dimensionamento desta camada, sendo agravada pelo grande volume de trânsito que passa sempre pelo mesmo local.. O afundamento registrado neste defeito foi de aproximadamente 4 cm.



Figura 13 – Escorregamento com consolidação de trilha de roda



Figura 14 – Remendo com afundamento de 4 cm

A figura 15 mostra um pequeno afundamento em torno da tampa de ferro de uma rede de esgoto. Pode-se notar que no momento a deformação é pequena, mas com as passagens repetidas dos coletivos, com grandes cargas por eixo, esse afundamento aumentará, provavelmente provocando conjuntamente outras patologias.



Figura 15 – Afundamento em torno de tampa de rede de esgoto

4.2 CORREDOR DA AV. BENTO GONÇALVES

A investigação de problemas na av. Bento Gonçalves foi feita ao longo de todo o corredor de ônibus, que tem começo na av. da Azenha e se prolonga até a estrada João de Oliveira Remião, tendo uma extensão de aproximadamente de 8,8 km. O trecho passa pelos bairros Azenha, Partenon, Vila João Pessoa e Agronomia, sendo uma saída de Porto Alegre para alguns ônibus intermunicipais de Viamão e Alvorada. Este corredor se interliga ao da av. João Pessoa, que dá acesso ao centro da capital, dando assim uma dimensão do tráfego que escoa por ele a importância econômica que tem.

Este corredor se caracteriza por ter todas as paradas de ônibus em pavimento rígido como também os trechos que compreende das ruas Paulino Azurenha e Silvado e av. Antônio de Carvalho a estrada João de Oliveira Remião. Os trechos entre os pontos de ônibus são de revestimento asfáltico, com exceção dos destacados acima.

Avaliando o pavimento asfáltico, com início na av. da Azenha até a rua Luíz de Camões pode-se dizer que está em ótimas condições, pois aparenta ter sido revestido a pouco tempo, com o aparecimento de patologias localizadas nas junções com as placas de concreto e bem isoladas no decorrer da via. A figura 16 demonstra boa condição do pavimento, quanto à camada de rolamento e sinalização.



Figura 16 – Pavimento em boas condições na av. Bento Gonçalves

Uma patologia encontrada no percorrer do trecho citado acima, encontrou-se início da formação de uma panela, já com o aparecimento da base da estrutura, podendo ao longo do tempo apresentar maiores problemas. A figura 17 apresenta essa formação.



Figura 17 – Formação de panela

Como comentado anteriormente, onde ocorre à junção dos dois tipos de pavimento, a propagação da junta transversal passa para a camada de asfalto sobreposta. Assim, ocorre o aparecimento de grandes fendas com desprendimentos de agregados. Através dessas fissuras, a penetração de água é inevitável, prejudicando a base da estrutura, pois acontece o bombeamento dos finos para a superfície do pavimento. Um exemplo deste trincamento está apresentado na figura 18.



Figura 18 – Propagação de trincas

Passando da rua Luiz de Camões a via segregada começa a apresentar danos menos espaçados e de piores características. Como será apresentado abaixo.

O afundamento com a consolidação de trilhas de roda foi notado em todos os corredores analisados. A causa desta patologia é a mesma para todos eles: tráfego muito pesado, canalizado e com baixa velocidade. As profundidades variam dependendo do tempo de serviço do pavimento. A figura 19 mostra um exemplo desta patologia. A profundidade aproximada de 9 cm foi medida comparando o eixo do corredor com o lado do meio fio (figura 20) que demonstra um afundamento plástico, já do lado que o corredor se conforma com a avenida, foi medido 6 cm de afundamento consolidado (figura 21).



Figura 19 – Afundamento plástico nas trilhas de roda



Figura 20 – Afundamento ao lado do meio-fio (9 cm)



Figura 21 – Afundamento ao lado da via (6 cm)

Mostrando detalhadamente o lado da via que se aproxima do meio-fio é notável que o revestimento escorregou e se acumulou na lateral, chegando quase ao nível do meio-fio do canteiro central. A figura 22 detalha esta situação.



Figura 22 – Escorregamento do revestimento

Após a rua Paulino Azurenha começa um segmento de corredor de ônibus executado em concreto. Como não é objetivo deste estudo esse tipo de pavimento, a verificação da existência de patologias continuou quando o revestimento modificou-se para o executado em asfalto, após a rua Silvado.

Dando sequência a busca por problemas ao longo da via, após a rua Silvado, o que pode ser destacado é que a camada de rolamento está comprometida praticamente até o final do trecho executado em asfalto.

Em diversos pontos a presença de trincas de fadiga (também conhecidas como couro-de-jacaré) chama a atenção. Este tipo de patologia no início não causa grandes efeitos no rolamento dos pneus de um ônibus, mas deixa claro que o revestimento está comprometido,

desgastado e envelhecido, como resultado o defeito pode evoluir para panela. A figura 23 demonstra essa patologia.



Figura 23 – Trincas couro-de-jacaré

Os registros de profundidades dos afundamentos nas trilhas de roda são em torno dos 8 cm, como as figuras 24 e 25. Em ambas figuras a presença de um remendo fica evidente, evidenciando que já houve uma tentativa de solucionar o problema e que ele tornou a aparecer. Na figura 24, uma quantidade do ligante escorrega para cima do faixa de sinalização horizontal, trincas parabólicas e exsudação são visíveis. Na figura seguinte há também a formação de uma panela, que já deixa à vista a base da estrutura.



Figura 24 – Afundamento com remendo, escorregamento do revestimento e trincas parabólicas



Figura 25 – Afundamento com remendo, escorregamento do revestimento e panela

Com essas duas figuras pode supor que o pavimento é frágil, que não suportou à carga a qual foi solicitado. Fica claro que houve o amolecimento do ligante asfáltico que escorregou, e juntamente como afundamento conformou a trilha de roda.

Bem ao final do trecho, a sequência de remendos e a fresagem demonstram que houve uma tentativa de restauração da via (figura 26). O detalhamento da panela (figura 27) evidencia que a solução utilizada não foi adequada, pois novas panelas continuaram a surgir mesmo assim.



Figura 26 – Sequência de remendos e formação de panela



Figura 27 – Aproximação da panela do trecho com sequência de remendos

4.3 CORREDOR DA AV. PROTÁSIO ALVES

O trecho de corredor de ônibus que foi analisado na av. Protásio Alves compreende da rua Ramiro Barcelos até a rua Faria Santos, com extensão aproximada de 2 km. Este corredor interliga o centro à grande maioria dos bairros centrais e a zona leste de Porto Alegre. Este segmento analisado possui diversas características. Possui trechos construídos em pavimento tipo flexível, rígido e compostos, apresenta paradas em asfalto, em concreto e também chegam a existir trechos onde uma pista é revestimento asfáltico e outra é concreto. Será feita análise somente onde a execução do revestimento é em concreto asfáltico.

Este corredor foi o que apresentou o maior número de problemas. Então, os defeitos apresentados a seguir foram escolhidos devido à chance de causarem maiores transtornos no desenvolvimento da trânsito que circula por ele.

O fragmento do corredor foi percorrido a partir da rua Ramiro Barcelos em direção ao bairro. A fresagem está presente em diversos intervalos da via. Com as figuras 28 e 29 pode-se supor que antes desse procedimento o houve o escorregamento do revestimento que chegou quase a altura do meio-fio e mesmo após o processo a diferença de altura do nível da via e o da patologia é significativa, chegando a atingir 6 cm.



Figura 28 – Pavimento fresado



Figura 29 – Detalhe da altura do escoamento mesmo após fresagem

Um afundamento na trilha de roda de 6 cm foi identificado em um trecho onde havia fresagem e um remendo certamente executado para solucionar o mesmo. Mas mesmo assim, em seguida ele tornou a ocorrer junto com um escorregamento de revestimento. A figura 30 amostra essas patologias.



Figura 30 – Afundamento de 6 cm e escorregamento do revestimento

As figuras 31 e 32 apresentam frações do trecho onde diversos problemas foram encontrados. Há presença de painelas, de exsudação, escorregamentos e desprendimento dos grãos da mistura asfáltica.



Figura 31 – Exemplo de panelas, exsudação e desprendimento dos grãos da mistura asfáltica



Figura 32 – Exemplo de panelas, exsudação, escorregamento e desprendimento dos grão da mistura asfáltica

A figura 33 mostra em detalhe o afundamento e o escorregamento do revestimento da figura 32 e destaca a diferença de altura entre estas patologias (8 cm). O que certamente deve ter ocorrido foi um afundamento devido ao tráfego de grande porte, a exsudação motivada pela

temperatura de serviço no interior do pavimento superior a do ponto de amolecimento do CAP e panelas causadas pelo desprendimento da mistura da base da estrutura.



Figura 33 – Detalhe da figura 32 demonstrando a profundidade do afundamento

Como o tipo de pavimento não é padrão ao longo deste corredor, na transição dos diferentes métodos executivos é possível comparar os problemas desenvolvidos em cada um. Na figura 34 é fácil observar onde ocorre o limite do pavimento composto com o pavimento flexível, uma vez que na junta da placa de concreto ocorre a propagação de fenda para a camada de asfalto colocada por cima. É visível que afundamentos com formação de trilhas de roda e escorregamentos acontecem em ambos os tipos de pavimento, reafirmando que as causas do aparecimento das patologias estão ligadas ao asfalto e não na estrutura abaixo do revestimento.



Figura 34 – Comparação entre pavimento composto e flexível

A figura 35 detalha o afundamento e escorregamento da figura 34, que apresentou uma profundidade de 9 cm. Desprendimento da mistura com a formação de placas também se destacam nesta imagem.



Figura 35 – Afundamento e escorregamento do revestimento com profundidade de aproximadamente 9 m

Uma placa dentro de uma trilha de roda foi observada em uma parada de ônibus onde uma pista é de concreto e a outra de asfalto, situação pouco comum de se encontrar. A profundidade do interior da placa até o nível normal da via foi de aproximadamente 9 cm. A figura 36 apresenta esta situação. Também se pode ver escorregamento do revestimento e trincas couro-de-jacaré



Figura 36 – Panela dentro de uma trilha de roda com profundidade de 9 cm

A mesma situação foi observada em um trecho seguinte, mas com agravante do acúmulo de água, que penetra no interior do pavimento e bombeia os finos para o exterior da estrutura, causando enfraquecimento da base. A figura 37 exhibe essa circunstância, com profundidade registrada de aproximadamente 9cm.



Figura 37 – Panela dentro de uma trilha de roda com profundidade de 9 cm

A figura 38 põe a vista o envelhecimento da mistura, ao mesmo tempo que pode ser visto um afundamento de 5 cm. Exsudação do ligante é perceptível na mesma imagem.



Figura 38 – Envelhecimento da mistura, afundamento de 5 cm e exsudação

Ao final do trecho analisado uma curva ratifica a idéia de que onde ocorrem frenagens e acelerações a manifestação de patologias na mistura convencional é inevitável. A figura 39 exhibe esta situação. Trilhas de roda ficam visíveis, bem como o escorregamento do revestimento e exsudação.



Figura 39 – Trecho em curva com trilha de rodas e escorregamento do revestimento

4.4 CONCEPÇÃO DE ALTERNATIVAS E SUGESTÕES DE SOLUÇÕES

Observou-se que a metodologia usada, para solucionar ou mesmo abrandar os problemas desenvolvidos nos corredores de ônibus, têm sido a realização de fresagem, pequenos trechos com recapeamentos e remendos. Em diversos trechos, o pavimento foi somente fresado,

visando diminuir os desníveis provocados, mas o surgimento de patologias continua a se desenvolver. Então, as sugestões indicadas a seguir não são para a restauração destes revestimento, e sim a concepção de um novo tipo, pois como observado anteriormente as medidas tomadas não estão sendo suficientes para resolver os problemas identificados nos corredores.

A primeira solução indicada seriam os pavimentos de concreto, que têm apresentado desempenho satisfatório quanto à durabilidade, ao desgaste e deformações permanentes e já são adotados em diversos trechos. No entanto, o tempo de mobilização do trânsito seria maior para o implemento desta solução. A demora na execução das placas é motivada pelo tempo de cura do concreto, quando comparado ao asfalto, que pode ser liberado para trânsito em um tempo mais curto. Mas como não é objetivo do estudo soluções em outros tipos de revestimento que não sejam os asfálticos, esta é uma solução que não será profundamente abordada.

Como apresentado na pesquisa bibliográfica e demonstrado na análise dos corredores, a maioria dos problemas tem como causa a mistura asfáltica, que não se adéqua às condições de tráfego e clima que os corredores estão submetidos. As alternativas aqui sugeridas então, dizem respeito somente à camada de revestimento

Se a restauração dos pavimentos dos corredores de ônibus fosse realizada, a opção de alternativa seria a substituição da camada de revestimento, com mistura asfáltica convencional, pela introdução de outro tipo de mistura. As misturas estudadas como alternativas são: a SMA e a com emprego de cal hidratada.

As misturas asfálticas tipo SMA apresentam características como maior resistência devido ao intertravamento dos grãos e melhor desempenho quanto à durabilidade do revestimento. Esse tipo de mistura torna-se uma boa alternativa para os revestimentos dos corredores, pois além do citado acima, ainda proporciona pouca reflexão de trincas e as deformações permanentes.

Adicionando cal hidratada em misturas convencionais, espera-se um resultado de maior resistência a deformações quando sem a mesma. A cal aumenta a rigidez da mistura, deixando o asfalto menos suscetível aos afundamentos nas trilhas de roda e à fadiga mesmo em altas temperaturas, ainda reduz a oxidação e o envelhecimento do ligante, evitando os trincamentos.

Portanto, estes dois tipos de misturas, a SMA e as convencionais com emprego de cal hidratada, seriam as alternativas de soluções para a concepção de novos tipos de revestimentos a serem utilizados em corredores de ônibus.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Das patologias definidas no item 3.6 do capítulo 3, somente corrugações não foram identificadas nos corredores analisados. Os afundamentos com formação de trilhas de rodas e os escorregamentos de revestimento foram os problemas mais encontrados ao longo dos trechos percorridos. Todavia, trincamentos por fadiga e exsudações também se apresentaram em quantidades significativas.

É evidente que a ocorrência do maior número de patologias está localizada em áreas onde acontecem acelerações e frenagens, locais como os pontos de embarque e desembarque e próximos a semáforos são os pontos críticos destes corredores. As paradas de ônibus, quando não executadas em concreto, apresentam as maiores deformações. Alguns afundamentos chegam a ter profundidade de 10 cm.

Fica clara a inadequação da mistura convencional de asfalto utilizada até os dias de hoje na cidade de Porto Alegre, pois o grande número das patologias está fortemente relacionado a mistura utilizada, o CBUQ. Este, composto por um ligante asfáltico que possui certas características que não atendem o solicitado. Constatou-se ainda que o ponto de amolecimento do mesmo é superado em dias de elevadas temperaturas, ocasionando o surgimento dos defeitos.

Através da pesquisa, foi possível a realização da seguinte constatação: a mistura convencional não proporciona bom desempenho quando solicitada por tráfego canalizado, com cargas de grandes magnitudes e com baixas velocidades. Características estas, próprias das vias segregadas, utilizadas como corredores de ônibus.

Deve ser ressaltado, que dos três corredores analisados, o da av. Protásio Alves foi que apresentou maiores problemas. Já na av. Bento Gonçalves o trecho inicial percorrido apresenta um bom pavimento que atende suas funções, dentre elas a melhoria das condições de rolamento da via quanto comodidade e segurança.

Destaca-se também que os métodos utilizados atualmente para solucionar os defeitos, objetivam somente restaurações localizadas nas patologias, não sendo satisfatórios como

restauração do pavimento. A concepção de alternativas de soluções parte da idéia de restauração de todo o pavimento ou sua total reconstrução.

Como primeira alternativa, sugeriu-se a utilização de placas de concreto, que atendem as solicitações de tráfego e clima com desempenho satisfatório. É importante citá-la, pois é uma opção utilizada em alguns trechos, mas como não é o objetivo deste estudo, suas características não foram avaliadas.

As sugestões de alternativas para os corredores de ônibus, tanto para restauração dos existentes como possibilidade de construção de novo, foram as misturas tipo SMA e as misturas com adição de cal hidratada, ambas foram desenvolvidas para oferecer maior resistência ao pavimento.

Quanto ao desempenho em relação as condições climáticas, o SMA apresenta boa estabilidade a elevadas temperaturas e boa flexibilidade a baixas temperaturas. Solucionando o problema de afundamentos nas trilhas de roda e escorregamentos do revestimento da mistura convencional. Possui ainda grande resistência ao desgaste. O uso deste tipo de revestimento é indicado na execução de corredores de ônibus.

A mistura com cal hidratada resulta em boa performance na resistência a deformações permanentes e trincamentos. Ao mesmo tempo reduz a oxidação e o envelhecimento do ligante, tornando o pavimento mais durável.

A concepção de alternativas de soluções para os corredores de ônibus é a utilização de uma camada de revestimento com um tipo de mistura não usual, que atende as solicitações do clima e do tráfego pesado, canalizado e lento. Com os dois tipos de misturas citadas acima, obtêm-se sugestões tanto para restauração de pavimentos danificados, como para futuras construções.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.207**: terminologia e classificação de pavimentação. Rio de Janeiro, 1982
- BABADOPULOS, L. F. A. L.; VALE, A. C.; SOARES, J. B.; LOPES, M. M.; CASAGRANDE, M. D. T. Análise do escoamento em misturas asfálticas do tipo SMA com fibras de polipropileno. In : ENCONTRO DE ASFALTO, 19., 2008, Rio de Janeiro. **Trabalhos Técnicos**. Rio de Janeiro : ABEDA, 2008.
- BALBO, J. T. **Pavimentos asfálticos**: patologias e manutenção. São Paulo: Plêiade, 1997.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: ABEDA, 2007.
- BRASIL. Ministério dos Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **DNIT 095/2006 EM**: cimento asfáltico de petróleo – especificação de material. Rio de Janeiro: 2006. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/ipr_new/normas/especificacaomaterial.htm>. Acesso em: 9 jun. 2009.
- FERNANDES, J. L.; ODA, S.; ZERBINI, L. F. **Defeitos e atividades de manutenção e reabilitação em pavimentos asfálticos**. São Carlos: EESC/USP, 1999.
- NÚÑEZ, W. P.; CERATTI, J. A.; BRITO, L. A. T.; VIVIAN, J. Modelos de estimativa de temperaturas de pavimentos: contribuição ao estudo de afundamentos nas trilhas de roda em corredores de ônibus de Porto Alegre. In: REUNIÃO DE PAVIMENTAÇÃO, 12., 2003, Aracajú. **Resumos...** Rio de Janeiro: ABPV, 2003.
- NÚÑEZ, W. P.; CERATTI, J. A.; PERAÇA, V.; TSUKUDA, R. S. Produzindo misturas asfálticas de elevado desempenho com emprego de cal hidratada. In: Reunião Anual de Pavimentação, 38. 2007, Manaus. **Anais...** Rio de Janeiro: ABPV, 2007.
- MEDINA, J. **Mecânica dos pavimentos**. Rio de Janeiro: Editora da UFRJ, 1997.
- SÃO PAULO. Secretaria dos Transportes. Departamento de Estradas e Rodagem. **ET-DE-P00/031**: concreto asfáltico tipo SMA. São Paulo: 2007. Disponível em: <ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-P00-031_A.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2009.
- SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação**. 1. ed. São Paulo: Pini, 1997. v.1.