

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO DA MANUTENÇÃO
DE UM PAVIMENTO DE CONCRETO**

Autor: Gustavo Garnett Neto

Orientador: Prof. Dr. Cassio Eduardo Lima de Paiva

Tese de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Transportes.

Campinas, SP.

20 de dezembro de 2001.

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação/tese.	
Prof. Dr.	<i>Cassio Eduardo Lima de Paiva</i> 18/02/02
Matrícula:	24568-2

UNICAMP

UNIDADE:	BC
Nº ORÇ.	7/UNICAMP
	G187e
FORMA:	48.073
PROD:	10-B37-02
PREÇO:	R\$ 11,00
DATA:	11-04-02
Vº CPD	

CM00165802-4

B ID 235878

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

G187e Garnett Neto, Gustavo
Estudo técnico e econômico da manutenção de um
pavimento de concreto / Gustavo Garnett Neto.--
Campinas, SP: [sn.], 2001.

Orientador: Cássio Eduardo Lima de Paiva.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

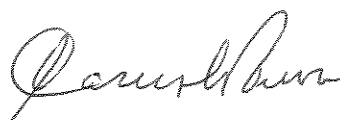
1. Pavimentos de concreto. 2. Pavimentos –
Manutenção e reparos. 3. Materiais – Reparos e
reconstrução. 4. Pavimentos – Aspectos econômicos. I.
Paiva, Cássio Eduardo Lima de. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil.
III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

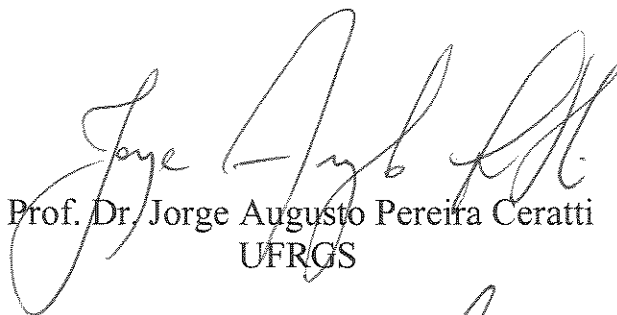
**ESTUDO TÉCNICO E ECONÔMICO DA MANUTENÇÃO DE UM
PAVIMENTO DE CONCRETO**

Autor: Gustavo Garnett Neto

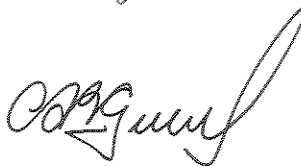
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Cássio Eduardo Lima de Paiva
Presidente e Orientador/Unicamp



Prof. Dr. Jorge Augusto Pereira Ceratti
UFRGS



Prof. Dr. Carlos Alberto Bandeira Guimarães
FEC-Unicamp

Campinas, 20 de dezembro de 2001

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

28641000

Dedicatória

A Chris, minha esposa, de quem tenho tomado de empréstimo o amor pelo conhecimento e pela vida.

Agradecimentos.

- Ao Prof. Cassio Eduardo Lima de Paiva, quem, em determinado instante, mais que um orientador, tornou-se um grande amigo.
- Ao Prof. Carlos Alberto Bandeira Guimarães, pelas críticas construtivas, que muito me ajudaram.
- Ao Prof. Orlando Fontes Lima Júnior, por suas valiosas orientações, que muito me auxiliaram na edição final deste trabalho.
- Ao Prof. Arakem da Silveira, cujo conhecimento generosamente transmitido, fez-me perceber o quanto ainda tenho para aprender.
- A Profa Maria Lucia Galves, por Ter-me mostrado como praticar a engenharia, respeitando o meio ambiente.
- A Profa Maria Teresa Françoso, pela amizade.
- Aos colegas da pós-graduação – em especial, Jacqueline, Rosana, Egberto, Celso, Thayse e Fernando -, que com sua amizade e companheirismo, me fizeram recordar a alegria dos bancos escolares.
- As funcionárias da pós-graduação, Paula e Sandra, por sua dedicação e competência.
- A Anna Christina Garnett (Chris), pela paciente revisão do texto.
- Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos, que permitiu que eu me dedicasse exclusivamente ao programa de mestrado.

SUMÁRIO.

	LISTA DE FIGURAS.....	ix
	LISTA DE QUADROS.....	xi
	LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
	RESUMO.....	xv
1	INTRODUÇÃO.....	01
1.1	BREVE HISTÓRICO SOBRE A PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL.....	01
1.2	PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL – UM PROBLEMA ESTRATÉGICO.....	02
1.3	A OPÇÃO PELA PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA EM CONCRETO.....	03
2	OBJETIVO DA PESQUISA.....	06
3	O PAVIMENTO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	07
3.1	MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	07
3.2	DURABILIDADE DO PAVIMENTO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.....	10
3.3	FATORES QUE INFLUENCIAM NA DURABILIDADE DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO	13
3.3.1	Influência dos Materiais Utilizados no Concreto.....	14
3.3.2	Influência das Condições Ambientais.....	18
3.3.3	Influência do Projeto.....	19
3.3.4	Influência do Controle de Qualidade dos Processos Construtivos.....	20

4	IDENTIFICAÇÃO DOS DEFEITOS E DETERMINAÇÃO DO ESTADO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO.....	22
4.1	IDENTIFICAÇÃO DOS DEFEITOS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO.....	22
4.2	DETERMINAÇÃO DO ESTADO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO.....	25
4.3	DEFEITOS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO E SUAS CAUSAS.....	26
4.4	CLASSIFICAÇÃO DOS DEFEITOS SEGUNDO A SUA ORDEM.....	27
4.4.1	Defeitos de Ordem Estrutural e suas Prováveis Causas.....	28
4.4.2	Defeitos de Ordem Funcional e Suas Prováveis Causas.....	31
5	MATERIAIS EMPREGADOS NA RECUPERAÇÃO DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO.....	34
5.1	INTRODUÇÃO.....	34
5.2	COMPATIBILIDADE DOS MATERIAIS PARA REPARO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO.....	35
5.3	MATERIAIS UTILIZADOS NO REPARO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO	38
5.3.1	Materiais de Reparo de Base Cimentícia.....	39
5.3.2	Materiais de Reparo à Base de Concretos e Argamassas Poliméricas.....	44
6	REPARO DOS DEFEITOS OCORRENTES EM PAVIMENTOS DE CONCRETO	47
6.1	ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DE REPARO.....	47
6.2	PRODUTOS PARA REPARO DISPONÍVEIS NO MERCADO BRASILEIRO	51
6.3	PROCEDIMENTOS PARA O REPARO DOS DEFEITOS OCORRENTES EM PAVIMENTOS DE CONCRETO.....	53
6.3.1	Reparos dos Defeitos de Ordem Estrutural que Não Afetam Toda a Espessura da Placa de Concreto.....	54
6.3.2	Reparos dos Defeitos de Ordem Estrutural que Afetam Toda a Espessura da Placa de Concreto.....	60
7	MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO.....	62
7.1	INTRODUÇÃO.....	62
7.2	A IMPORTÂNCIA DA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS.....	63
7.3	PREVISÃO DE DESEMPENHO FUTURO DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO.....	64

7.4	TIPOS E CARACTERÍSTICAS DA MANUTENÇÃO DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO.....	67
7.5	ESTRATÉGIAS PARA A MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE UM PAVIMENTO.....	69
7.6	MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO - BENEFÍCIOS ECONÔMICOS.....	72
8	ESTUDO DO CASO REAL DE MANUTENÇÃO DE UM PAVIMENTO DE CONCRETO.....	75
8.1	INTRODUÇÃO.....	75
8.2	ESTADO ESTRUTURAL E DETERIORAÇÃO DO PAVIMENTO ESTUDADO	76
8.3	POSSÍVEIS AGENTES QUE PROVOCARAM A DETERIORAÇÃO DO PAVIMENTO ESTUDADO.....	78
8.4	DETERMINAÇÃO DA CURVA DE DETERIORAÇÃO DO PAVIMENTO ESTUDADO.....	80
8.5	EVOLUÇÃO DOS DEFEITOS DO PAVIMENTO DA AV. DAS AMOREIRAS	83
8.6	CÁLCULO DOS CUSTOS PARA O REPARO DOS DEFEITOS DA AV. DAS AMOREIRAS.....	87
8.6.1	Parâmetros Adotados.....	87
8.6.2	Composição de Custos para o Reparo dos Defeitos da Av. das Amoreiras.....	88
8.7	CUSTO PARA A REABILITAÇÃO DO PAVIMENTO DA AV. DAS AMOREIRAS, CONSIDERANDO DIFERENTES INTERVALOS DE TEMPO ENTRE AS MANUTENÇÕES.....	90
8.8	BENEFÍCIOS DA MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO DA AV. DAS AMOREIRAS.....	97
9	ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	99
9.1	INTRODUÇÃO.....	99
9.2	MATERIAIS PARA REPARO DE DEFEITOS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO.....	100
9.3	PRODUTOS DE REPARO E SEUS FABRICANTES.....	103
9.4	PROCEDIMENTOS QUE ENVOLVEM A EXECUÇÃO DOS REPAROS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO.....	105

9.5	MATERIAIS DE REPARO E A MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO DE CONCRETO DA AV. DAS AMOREIRAS.....	107
10	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	110
10.1	CONCLUSÕES.....	110
10.2	SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	113
11	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114

LISTA DE FIGURAS

Nº	Figura	Pg.
3.1a	Distribuição de pressões num pavimento flexível.....	08
3.1b	Distribuição de pressões num pavimento rígido de concreto.....	08
3.2	Curvas de desempenho dos pavimentos (Washington, DC)	11
3.3	Curva de sobrevivência de pavimentos.	12
3.4	Influência do controle de qualidade, adotado na construção, sobre a durabilidade do pavimento de concreto.....	20
5.1	Fatores que afetam a compatibilidade dimensional dos materiais de reparo.....	36
6.1	Influência das fases do reparo e a durabilidade do sistema pavimento-reparo.....	49
6.2	Representação da recomposição de juntas esborcinadas.....	55
6.3	Reparo de fissuras lineares superficiais.....	58
6.4	Seqüência de serviços que envolvem o reparo das fissuras que atingem toda a espessura da placa.....	61
7.1	Etapas da modelagem do desempenho de pavimentos.....	64
7.2	Etapas da modelagem do desempenho de pavimentos.....	65
7.3	Curva o ICP do pavimento de concreto em função de sua idade e do tipo de manutenção realizada.....	68
7.4	Fluxograma com as fases da manutenção do pavimento.....	70
8.1	Curva de desempenho do pavimento da Av. das Amoreiras.....	82

8.2	Representação da demolição e reconstrução de placas divididas e fissuras lineares em alto grau de severidade.....	84
8.3	Relação entre as Curvas de Sobrevivência da Av. das Amoreiras e pavimentos monitorados pelo Public Road.....	85
8.4a	Variação do ICP em função da opção de manutenção – Opção 1 de manutenção.....	94
8.4b	Variação do ICP em função da opção de manutenção – Opção 2 de manutenção.....	95
8.4c	Variação do ICP em função da opção de manutenção – Opção 3 de manutenção.....	95
8.4d	Variação do ICP em função da opção de manutenção – Opção 4 de manutenção.....	96
9.1	Média de preços dos produtos de reparo (R\$/m³).....	102

LISTA DE QUADROS.

Nº	Quadro	Pg
3.1	Influência dos materiais na mistura de concreto.....	19
4.1	Conceitos do pavimento, classificados conforme o Índice de Condição do Pavimento.....	25
4.2	Fatores que podem provocar a ocorrência de defeitos de ordem estrutural, considerados na presente pesquisa.....	26
5.1	categorias dos materiais existentes no mercado.....	35
5.2	Relação entre os materiais de reparo e o concreto do substrato.....	38
5.3	Materiais para recuperação de pavimentos de concreto.....	39
5.4	Resistências características dos cimentos.....	40
5.5	Diferenças entre as características do cimento Portland e dos cimentos aluminosos	41
5.6	Polímeros usados na modificação de argamassas e concretos.....	43
5.7	Características das argamassas e concretos em função do tipo de ligante utilizado....	45
6.1	Tipos de produtos fabricados no Brasil, suas características, empresas fabricantes e nome comerciais.....	51
6.2	Preços médios dos produtos de reparo de pavimento de concreto.....	53
6.3	Materiais que podem ser utilizados no reparo de juntas esborcinadas.....	63
6.4	Agentes provocadores de fissurações.....	57
6.5	Materiais para selagem de fissuras lineares.....	59

7.1	ações que envolvem a reabilitação de um pavimento de concreto.....	71
8.1	Incidência dos defeitos existentes na Av. das Amoreiras.....	77
8.2	ICP do pavimento da Av. das Amoreiras, em função da idade.....	81
8.3	Evolução teórica dos defeitos do pavimento da Av. das Amoreiras.....	86
8.4	Materiais adotados para os reparos do pavimento estudado.....	88
8.5	Custos atuais para o reparo do pavimento.....	89
8.6	Valores futuros dos custos de manutenção.....	92
8.7	Valores Presentes Líquidos dos custos de manutenção ao longo do tempo.....	93
9.1	Materiais de reparo, seus nomes comerciais e principais utilizações.....	104
9.2	Correlação entre alguns produtos dos fabricantes pesquisados.....	105
9.3	Percentual de placas reparadas, ao final dos 30 anos de idade do pavimento, em função das opções de manutenção consideradas.....	108

LISTA DE ABREVIATURAS

A	Defeitos em pavimentos de concreto, com alto grau de severidade
ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ao, a1 e a2	Constantes da Regressão Polinomial
ARI	Alta Resistência Inicial (cimento)
ASSHTO	American Association of State Highway Officials
ASTM	American Standard of Materials
B	Defeitos em pavimentos de concreto, com baixo grau de severidade
BIRD	Banco Mundial
CALTRANS	California Transportation
CBR	California Bearing Ratio
CERL	Construction Engineering Research Laboratory
CNT	Confederação Nacional do Transportes
CPE	Cimento Portland de Alto Forno
CPS	Cimento Portland Simples
CPZ	Cimento Portland Pozolânico
CRF	Consumo de Resistência a Fadiga
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DOT	Department of Transportation
e	Erro admissível
EVA	Acetato de Polivinila
F	Valor Futuro
FHWA	Federal Highway Administration
FS	Fator de Segurança
HBPM	High Build Polymer Modified
i	Intervalo entre Placas Inspeccionadas
ICP	Índice de Condição do Pavimento
j	Taxa de Juros

M	Defeitos em pavimentos de concreto, com médio grau de severidade
N	Número Total de Amostras do Trecho Inspeccionado do Pavimento
n	Número de Amostras a Serem Inspeccionadas
PCA	Portland Cement Association
PVA	Álcool de Polivinila
S	Desvio Padrão
SBR	Borracha de Estireno Butadieno
t	Período de Tempo
VDC	Valor Deduzível Corrigido
VDT	Valor Deduzível Total
VPL	Valor Presente Líquido

RESUMO:

GARNETT NETO, Gustavo. “Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica de Produtos Especiais para Reparos em Pavimentos de Concreto”. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2000, 132 pág. Dissertação de Tese de Mestrado.

Pavimentos Rígidos de Concreto de Cimento Portland são utilizados, em geral, como revestimentos de vias com tráfego muito intenso e para as quais se pretende uma longa vida útil e nenhuma necessidade de manutenção. Estes pavimentos, quando bem projetados e bem construídos, geralmente atendem a essas expectativas. Porém, na construção de pavimentos de grande extensão, podem ocorrer defeitos em algumas de suas placas, que, posteriormente, demandarão reparos corretivos, para a preservação da integridade de sua superfície.

Este trabalho apresenta estudo feito sobre o desempenho de produtos especiais, disponíveis no Brasil, destinados à recuperação de defeitos em placas de pavimentos rígidos de concreto; desenvolve uma análise econômica dos custos de manutenção desses pavimentos; e apresenta o estudo de um caso real de manutenção e reabilitação de um corredor de circulação exclusiva de ônibus urbanos, na cidade de Campinas, SP.

Palavras Chave: pavimentos rígidos, reparo de pavimentos, manutenção e reabilitação de pavimentos.

1. INTRODUÇÃO

1.1. BREVE HISTÓRICO SOBRE A PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL

A primeira estrada macadamizada do Brasil - rodovia União Indústria - conta com 144km de extensão, entre os estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais, e foi concluída em 23 de julho de 1861. SENÇO (1)

Atualmente, a malha rodoviária brasileira possui cerca de 119 mil quilômetros de estradas predominantemente pavimentadas com asfalto.

A opção pelos pavimentos em asfalto no Brasil deu-se a partir do término da Segunda Guerra Mundial, período em que os EUA desenvolveram extensa tecnologia de pavimentos flexíveis, à base de produtos betuminosos, e que foi rapidamente absorvida pelos órgãos brasileiros, ligados ao ramo da pavimentação. É que, com o baixo preço do petróleo e de seus derivados, até meados da década de 70, o emprego do pavimento flexível, nas estradas de rodagem brasileiras, revelou-se a opção mais vantajosa para os Governos federal, estaduais e

municipais, os quais, em razão da ordem política e econômica vigente à época, monopolizavam a iniciativa de construção e manutenção dessas estradas.

Essa situação estimulou o meio técnico da pavimentação a aparelhar-se quase exclusivamente para o emprego do pavimento asfáltico no Brasil, o que foi feito com o direcionamento da formação de pessoal e da montagem do parque de equipamentos. Também nessa época o País encontrava-se num estágio de desenvolvimento, que favorecia a política governamental de fomento à rápida construção de rodovias, visando a levar o transporte ao maior número possível de regiões, mesmo em detrimento da qualidade dos pavimentos.

1.2. PAVIMENTAÇÃO NO BRASIL – UM PROBLEMA ESTRATÉGICO.

A consequência dessa política governamental, de incentivo à rápida construção de estradas, a qualquer preço, resultou na atual degradação do sistema rodoviário brasileiro.

A má qualidade dos pavimentos da malha rodoviária brasileira foi constatada em pesquisa realizada pela Assessoria de Estatística e Pesquisa da Confederação Nacional dos Transportes – CNT (2), órgão do Ministério dos Transportes, que, em 1999, avaliou 38.188 quilômetros de rodovias federais pavimentadas, o que corresponde a 74,3% da malha rodoviária federal. Avaliou, também, 4.627 quilômetros de rodovias estaduais, totalizando 42.815 quilômetros pesquisados. O resultado da pesquisa revelou que o estado de conservação geral das rodovias avaliadas é de péssimo a deficiente em 77,5% da extensão pesquisada.

Ainda segundo o relatório da CNT (2), estudo feito pela Associação Nacional de Transporte de Carga calcula que a precariedade das estradas aumenta em 100% o tempo gasto com o transporte de cargas, e, em 50%, o número de acidentes e o consumo de combustível, além de ser a causa do desperdício anual de 6% a 20% da safra de grãos do País. O mesmo relatório menciona estudo divulgado, em 1997, pelo Banco Mundial (BIRD), apontando o mau estado das

rodovias como o responsável por perdas da ordem de US\$3 bilhões anuais no transporte de cargas no Brasil. São números que afetam diretamente o custo dos produtos adquiridos pelos consumidores internos e, também, daqueles destinados à venda no exterior, minando, consideravelmente, a competitividade brasileira num mercado globalizado.

É de ressaltar, porém, que o péssimo estado dos pavimentos do País, responsável por tantos prejuízos, não decorre, apenas, da má qualidade de sua construção, mas, também, da falta de uma política eficaz para a sua manutenção.

Dentro do contexto ora apresentado, e considerando-se que, no Brasil, a conservação rodoviária tem sido negligenciada há tanto tempo, a opção pela utilização de pavimentos rígidos de concreto, em maior escala, talvez seja a alternativa capaz de minimizar o problema da falta de qualidade das estradas brasileiras, principalmente das rodovias com alta concentração de tráfego de veículos comerciais.

1.3. A OPÇÃO PELA PAVIMENTAÇÃO RÍGIDA EM CONCRETO.

Sabe-se que os pavimentos de concreto, quando bem projetados e construídos, têm vida útil que, muitas vezes, ultrapassa dos 40 anos de idade. Apesar de não existirem dados precisos sobre a extensão da malha rodoviária brasileira pavimentada em concreto, estima-se que existam hoje, em operação, cerca de 3 mil quilômetros de estradas com esse tipo de pavimento, das quais a maioria localiza-se na região nordeste do País. Grande parte desses pavimentos está com idade média entre 25 e 30 anos, e, alguns poucos, já têm idade entre 30 e 50 anos.

Os exemplos mais notáveis são: 1) Rodovia Itaipava - Teresópolis, RJ, em operação a 30 anos; 2) Av. Edson Passos, RJ, em operação há mais de 50 anos; 3) Pátio de manobras do Aeroporto Santos Dumont, RJ, em operação há mais de 50 anos; 4) Rodovia Pedro Taques, SP,

em operação há mais de 13 anos; 5) interligação entre as rodovias Anchieta e Imigrantes (acesso ao litoral Sul do estado de São Paulo) em operação desde 1974; 6) pista ascendente no trecho de serra da Rodovia dos Imigrantes, SP, em operação desde 1977.

Embora apresente inúmeras vantagens e maior vida útil que o pavimento flexível, o pavimento rígido de concreto não é utilizado em larga escala no Brasil, devido, entre outros fatores, às dificuldades inerentes à sua manutenção e recuperação, uma vez que esses serviços costumam demandar intervenções onerosas, para as quais, regra geral, faz-se necessária a interdição do tráfego de veículos, períodos de vários dias, ou, pelo menos, por períodos mais demorados que os exigidos para as interdições feitas em pavimentos de asfalto.

Esses transtornos, no entanto, podem ser contornados por meio da utilização de cimentos especiais, de alta resistência inicial, e, também, pelo emprego de resinas sintéticas orgânicas, que permitem a liberação do pavimento em poucas horas, mas que são comercializados a custo unitário muito elevado, no mercado nacional.

De todo modo, apesar do referido alto custo unitário desses materiais especiais, a sua utilização pode se revelar como uma solução econômica, se as intervenções de manutenção forem feitas em períodos apropriados, ou seja, quando os defeitos ainda apresentam baixo grau de severidade, demandando menor volume de material a ser empregado. Essa condição é obtida em pavimentos nos quais as intervenções de manutenção são feitas periodicamente, isto é, nos pavimentos onde a periodicidade das manutenções é tal, que estas sempre têm caráter preventivo.

O presente trabalho, pois, é fruto de uma pesquisa sobre a manutenção e a recuperação dos pavimentos rígidos de concreto, e nele serão abordados os tipos e as características dos materiais especiais empregados nessa manutenção e recuperação, além dos aspectos econômicos envolvidos em ambos os processos, com enfoque dado para os seguintes tópicos:

- fatores que influenciam a durabilidade de um pavimento de concreto e algumas premissas que devem ser adotadas no seu projeto, construção e manutenção (capítulo 3);
- metodologia utilizada para identificação e qualificação dos defeitos ocorrentes nos pavimentos de concreto (capítulo 4);

- aspectos principais para a correta especificação dos materiais de reparo dos pavimentos de concreto (capítulo 5);
- procedimentos e metodologias utilizados na recuperação e manutenção de pavimentos de concreto (capítulo 6);
- aspectos gerais da manutenção dos pavimentos de concreto e importância do acompanhamento de seu desempenho, como subsídio para o planejamento e o estabelecimento de políticas de manutenção (capítulo 7);
- estudo de caso da reabilitação de um pavimento de concreto localizado na cidade de Campinas, SP (capítulo 8);
- análise dos resultados obtidos (capítulo 9);
- conclusões referentes ao presente estudo (capítulo 10);
- e recomendações (capítulo 10).

2. OBJETIVO DA PESQUISA.

No Brasil, a manutenção de pavimentos, de modo geral, tem caráter predominantemente corretivo. Contudo, em se tratando de pavimentos rígidos, a prática tem mostrado que a opção usual prima pelo “nada fazer”, disso resultando defeitos que, com o passar do tempo, provocam a perda da capacidade estrutural do concreto e, conseqüentemente, da sua atuação como pavimento.

Partindo-se dessa premissa, no desenvolvimento da presente pesquisa, foram feitos levantamentos e estudos em um pavimento de concreto, localizado na Av. das Amoreiras, em Campinas, SP, o qual é utilizado como corredor para circulação exclusiva de ônibus urbanos, e que, com apenas 12 anos de idade, já apresenta sérios defeitos estruturais, denotando a ausência total de manutenções preventivas, que poderiam ter garantido o seu bom índice de servicibilidade.

O presente trabalho, portanto, apresenta os resultados de extensa pesquisa, feita sobre os principais materiais especiais, disponíveis no mercado brasileiro, empregados para a recuperação de pavimentos de concreto, e aponta as vantagens e desvantagens de cada um desses materiais, além dos custos dos serviços de manutenção do pavimento, em função do tipo de defeito e do material utilizado no reparo das placas de concreto.

Suplementarmente, o presente trabalho apresenta estudo econômico referente à uma hipotética recuperação do pavimento da Av. das Amoreiras, relacionando a variação dos custos de manutenção em função da periodicidade das intervenções.

3. O PAVIMENTO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.

3.1. MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.

Pavimentos rígidos são constituídos por placas de concreto de cimento Portland, podendo ou não ter uma ou mais camadas de sub-base entre as placas de concreto e o subleito. Devido à alta rigidez e ao alto módulo de elasticidade dos pavimentos de concreto, as cargas que sobre eles são aplicadas tendem a se distribuir por uma ampla área do solo, de tal maneira que a maior parte das solicitações é suportada pela própria placa de concreto. Assim, é de concluir-se que as cargas que atuam sobre o subleito e a sub-base dos pavimentos rígidos são bem menores que as transmitidas pelos pavimentos flexíveis. Segundo SENÇO (1), para suportar a mesma carga aplicada, os pavimentos rígidos demandam espessuras menores que os flexíveis, em torno de 50%. A distribuição de tensões em pavimentos flexíveis e pavimentos rígidos ocorre como representado na figura 3.1.

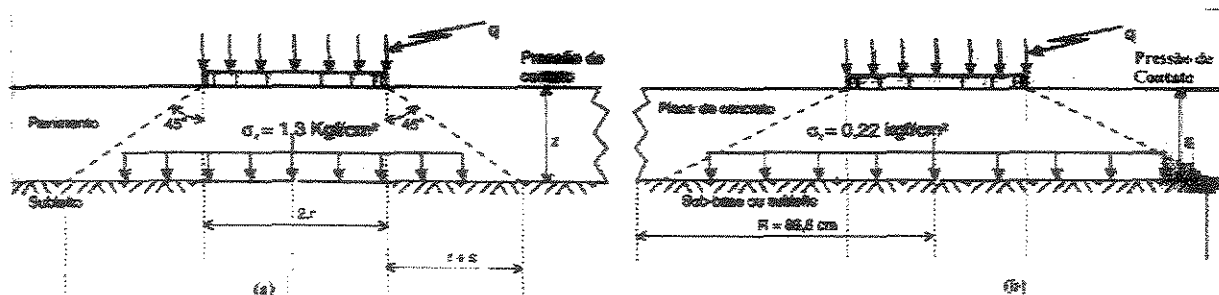


Figura 3.1: (a) distribuição de pressões num pavimento flexível e (b) distribuição de pressões num pavimento rígido de concreto. Fonte: SENÇO (1).

Segundo YODER (3), as tensões às quais o pavimento de concreto é submetido são provenientes das cargas de roda; das variações cíclicas da temperatura; das variações na umidade do subleito; e das variações volumétricas da sub-base e do subleito.

Para o dimensionamento dos pavimentos de concreto, os métodos clássicos baseiam-se na consideração das propriedades mecânicas do concreto (representadas pela resistência à tração na flexão); no suporte da fundação do pavimento (medido pelo coeficiente de recalque); nas características dos carregamentos às quais o pavimento será submetido (dadas pela magnitude das cargas e por sua posição em relação aos eixos das placas de concreto); na utilização ou não de barras de transferência entre as placas do pavimento; e na existência ou não de acostamento de concreto nas laterais do pavimento.

O dimensionamento dos pavimentos de concreto pode ser feito segundo as metodologias: PCA-66; PCA-84 (Portland Cement Association) e AASTHO-86 (American Association of State Highway Officials), sendo que esta última é recomendada pelo Manual do Pavimento Rígido do DNER (11). O que difere uma metodologia da outra são os parâmetros considerados para a determinação da espessura das placas de concreto.

No dimensionamento pelo método PCA-66 são levados em consideração: as propriedades do concreto; o suporte da fundação; fatores de segurança de carga; e as tensões produzidas pelas cargas. Além desses aspectos, o método também considera o consumo de resistência à fadiga (C_{RF}), que é a relação percentual entre o número previsto de repetição de uma dada carga e o número admissível de repetições dessa mesma carga.

O dimensionamento pelo método PCA-84 também considera um consumo de resistência à fadiga, semelhante ao utilizado pelo PCA-66. Entretanto, o método PCA-84 implementou importantes alterações, a saber: a) passou a considerar que as tensões de tração na flexão, pela passagem da carga, atuam tangencialmente à borda longitudinal do pavimento, e não mais na sua junta transversal; b) prolongou a curva de fadiga utilizada pelo PCA-66 até alcançar uma relação de tensões igual a 0,45, abaixo da qual as repetições de carga são ilimitadas; e c) introduziu o fator "danos por erosão", para cujo cálculo é considerada a perda de material na camada imediatamente inferior à placa de concreto, por ação combinada da água e da passagem de cargas pesadas.

Diferentemente dos demais, o dimensionamento pelo método da AASHTO leva em consideração: o tráfego total ao final do período de projeto – calculado pelo número de repetições de um eixo equivalente de 8,2t; as características dos materiais utilizados na sub-base; e as condições climáticas. Além desses parâmetros, o método AASHTO considera um nível de confiabilidade (R) e um índice de servibilidade do pavimento ao final do período de projeto.

Outro tipo de dimensionamento muito utilizado, atualmente, é o dos pavimentos de concreto estruturalmente armados, nos quais a armadura é colocada na parte inferior da placa, com a função de combater as tensões de tração que nela serão produzidas. O seu dimensionamento, feito de maneira análoga ao dos métodos utilizados em lajes de edifícios, é conduzido no Estádio III.

Com relação às principais características dos parâmetros utilizados nos métodos de dimensionamento, MOURA (4), em análise comparativa, chegou às seguintes conclusões:

1. as barras de transferência produzem redução significativa na espessura das placas de concreto do pavimento, além de promoverem maior proteção à sub-base;
2. o coeficiente de recalque subleito / sub-base tem pouca influência na espessura final da placa de concreto;
3. a utilização de acostamento de concreto tem muita influência na redução da espessura da placa, quando o dimensionamento é feito pelo método PCA-84, e, nenhuma influência, quando o dimensionamento é feito pelo método AASHTO;

4. o dano por erosão da sub-base é o fator que mais influencia na espessura da placa, quando o dimensionamento é feito pelo método PCA-84;
5. o dimensionamento do pavimento de concreto pelo método PCA-66 é comandado pelas cargas impostas pelos eixos simples, sendo que os eixos tandem duplo e triplo exercem pouca ou nenhuma influência na espessura final da placa de concreto;

3.2. DURABILIDADE DO PAVIMENTO DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND.

Os pavimentos de concreto de cimento Portland, quando bem projetados e construídos com padrões aceitáveis de qualidade, têm vida útil bem superior à dos pavimentos flexíveis. Levantamentos realizados pelo autor (5), em pavimentos localizados nas cidades de São Paulo e Campinas, e em balança de pesagem de caminhões na Rod. dos Bandeirantes, comprovaram que 4 deles, com mais de 20 anos de idade, apresentam estado estrutural classificado com o conceito "muito bom"; 2, com conceito "bom", aos 10 anos de idade; e 2, com conceito "excelente", aos 4 anos de idade.

Em países cuja malha rodoviária pavimentada em concreto possui extensão significativa, os benefícios desse tipo de pavimentação são bem evidentes. Estudos desenvolvidos por PACKARD (6), em rodovias de alguns estados norte americanos, revelam resultados surpreendentes. Como exemplo, podem ser citados:

1. Oregon: nesse estado, os pavimentos rígidos de concreto apresentaram índices de servicibilidade maior que 3, após 30 anos em operação, o que significa uma rodovia em boas condições;
2. Kentucky: 59% dos pavimentos em concreto existentes no estado encontram-se íntegros após 30 anos em operação, enquanto 94% dos pavimentos em asfalto receberam recapeamento com idade média de 12 anos;

3. Illinois: os pavimentos de concreto do sistema viário desse estado apresentaram desempenho acima das expectativas, pois, durante um período de 20 anos, o tráfego pesado de caminhões aumentou de 2,7 a 4 vezes acima do crescimento previsto em projeto;
4. Louisiana: o estudo de rodovias construídas entre 1963 e 1967 mostrou que, após 18 anos, apenas 14% dos pavimentos de concreto receberam sobrecamada, enquanto os 86% restantes dos pavimentos, depois de 20 anos em operação, não tinham sido recapeados. Ao mesmo tempo, 74% dos pavimentos de asfalto foram recapeados após um tempo médio de 14 anos em operação;
5. Washington: a perda de servicibilidade dos pavimentos de asfalto ocorreu de 150 a 200% mais rápida que nos pavimentos rígidos de concreto.

A figura 3.2 representa as curvas de desempenho de pavimentos de concreto e pavimentos de asfalto, obtidas em levantamentos realizados no estado de Washington, na década de 80, segundo PACKARD (6)

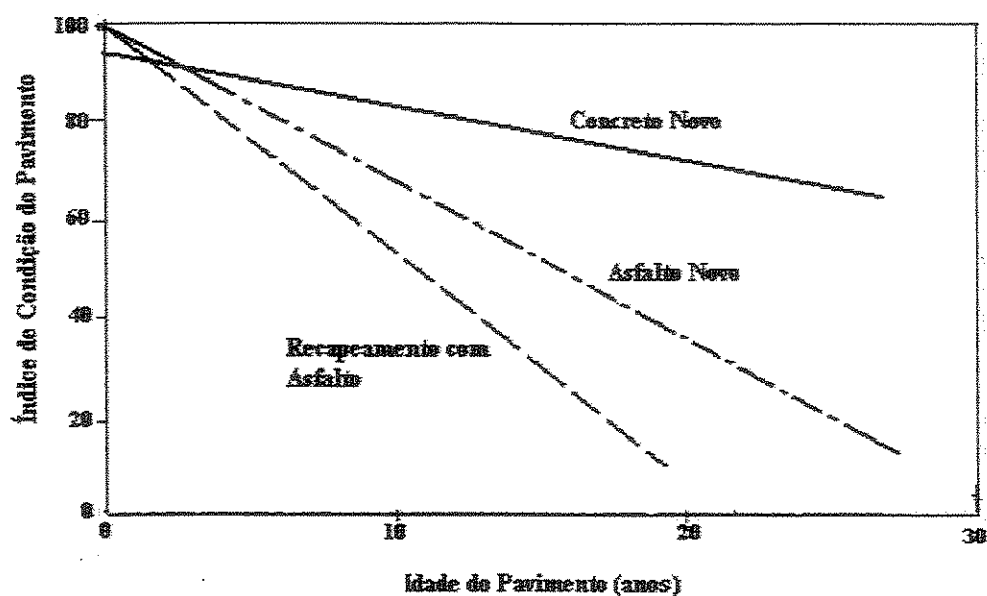


Figura 3.2: curvas de desempenho dos pavimentos (Washington, DC). Fonte: PACKARD (6)

Ainda em relação à longevidade dos pavimentos de concreto, estudo desenvolvido pela PUBLIC ROAD (7), dos EUA, em várias rodovias norte-americanas, entre os anos 1929 e 1967,

permitiu o estabelecimento da relação entre a idade e o tempo de vida remanescente do pavimento, expressa na forma de curvas denominadas “Curvas de Sobrevivência do Pavimento”.

As “Curvas de Sobrevivência” relacionam a idade do pavimento com os reparos, que demandam demolição ou reconstrução de partes do pavimento, executados ao longo do tempo. Assim, com o passar dos anos, o número de metros quadrados reconstruídos do pavimento é aumentado, e, conseqüentemente, as áreas íntegras, remanescentes, são diminuídas. A Curva de Sobrevivência, obtida a partir dos levantamentos realizados em rodovias norte americanas, está representada na figura 3.3 e por ela pode-se observar que, nas rodovias norte-americanas pavimentadas em concreto, o percentual de 50% só foi atingido após 30 anos em operação.

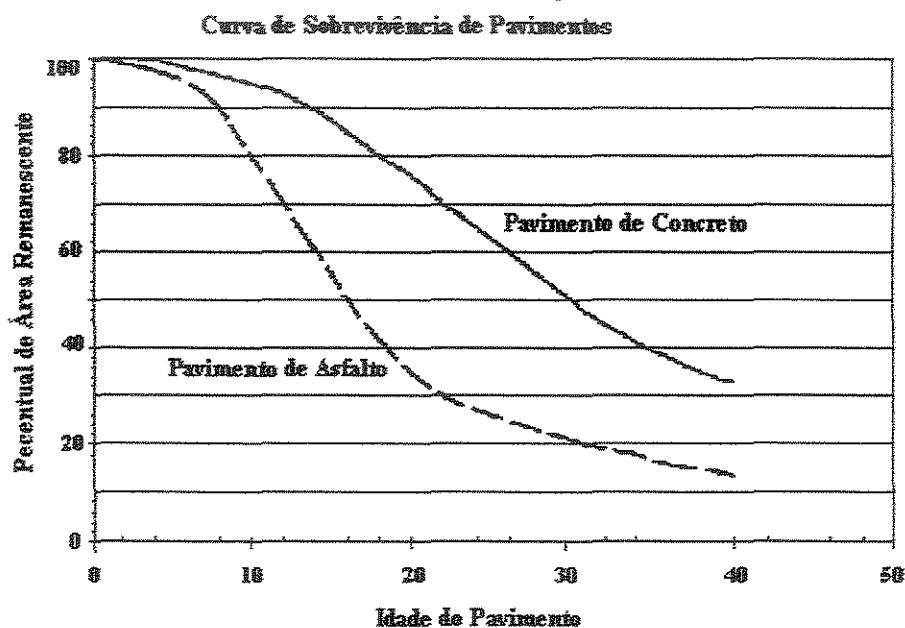


Figura 3.3: curva de sobrevivência de pavimentos. Fonte: PUBLIC ROAD (7)

Os estudos desenvolvidos nos EUA, cujos resultados são apresentados pelas figuras 3.2 e 3.3, revelam apenas uma performance média dos pavimentos de concreto pesquisados, sem mencionar, no entanto, quais os fatores responsáveis por tais desempenhos.

Sabe-se, todavia, que a durabilidade dos pavimentos de concreto varia em função de vários fatores, que vão desde as especificações dos materiais utilizados até o controle de

qualidade adotado durante a sua execução. Portanto, é importante frisar quais são esses fatores e de que forma eles influenciam na longevidade dos pavimentos de concreto.

3.3. FATORES QUE INFLUENCIAM NA DURABILIDADE DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO.

A preocupação com a durabilidade dos pavimentos de concreto não é um assunto recente. De acordo com FORSTER (8), essa questão vem sendo estudada pelos técnicos norte-americanos, desde a década de 40, quando, então, se estabeleceu que, por atuarem como base e camada de rolamento do pavimento, as placas de concreto devem ter resistência suficiente para, no mínimo, suportarem as condições e as cargas do tráfego que atuarão sobre elas.

De fato, os pavimentos de concreto, quando bem projetados e construídos, têm desempenho tal que, em muitos casos, alcançam de 40 a 50 anos de vida útil, antes que seja necessária a execução de uma sobrecamada.

Essa longevidade, no entanto, está intimamente relacionada a quatro fatores referentes ao seu projeto e construção. São eles: 1) as especificações dos materiais utilizados no concreto; 2) o projeto estrutural do pavimento; 3) as condições ambientais; e 4) o controle de qualidade dos processos construtivos empregados.

Nas especificações, devem ser considerados todos os materiais que compõem o concreto e a interação entre eles. No projeto estrutural, devem ser considerados a frequência e a carga do tráfego sobre o pavimento, assim como a resistência do concreto utilizado nas placas. As condições ambientais, por sua vez, têm influência, durante o lançamento do concreto, na construção e no desempenho do pavimento ao longo do tempo. Finalmente, o controle da uniformidade dos materiais e da mistura, o tempo de entrega do concreto (desde a usina até o

local da obra), o controle do lançamento, o adensamento etc., influenciam o desempenho e a durabilidade do pavimento de concreto.

3.3.1. Influência dos Materiais Utilizados no Concreto.

O concreto utilizado nos pavimentos rígidos é composto por: agregados grossos (pedra britada ou seixo rolado); agregados finos (areias naturais e artificiais); cimentos (que podem ser o cimento Portland Simples, ou CPS, o cimento Portland com escória de alto forno, ou CPE, o cimento pozolânico, ou CPZ e o cimento de alta resistência inicial, ou ARI); aditivos de concreto (incorporadores de ar, superplastificantes, retardadores de pega etc.); e, finalmente, água necessária ao amassamento do concreto e à hidratação do cimento. Cada um desses componentes do concreto deve ter características tais que permitam a sua interação com os demais, formando uma mistura estável e com alta resistência química e mecânica. Cada um dos materiais que compõem o concreto deve apresentar as seguintes características:

a) Dos agregados:

Uma vez que cerca de três quartos do volume do concreto são ocupados pelos agregados, a qualidade destes é de suma importância para a obtenção de um concreto também com qualidade. As propriedades dos agregados são de vital importância na geração das características essenciais dos concretos utilizados na pavimentação, tais como: resistência à tração na flexão, impermeabilidade, durabilidade, trabalhabilidade e retratibilidade.

Um dos fatores que influem decisivamente nas resistências mecânicas do concreto, principalmente na resistência à tração na flexão, é a aderência pasta de cimento – agregado. Esse fator é ainda responsável pela maior ou menor susceptibilidade do concreto à fissuração, bem como pela sua permeabilidade, uma vez que a percolação da água dá-se na interface entre a pasta de cimento e o agregado.

PITTA et al. (9) recomendam alguns itens a serem considerados na especificação dos agregados, quais sejam: a) agregado miúdo: deve ser, de preferência, areia natural quartzosa, podendo-se também empregar areia artificial resultante do britamento de rochas estáveis, com dimensão máxima de 4,8mm, recomendando-se granulometria denominada grossa, e b) agregado graúdo: deve ser quimicamente estável e isento de materiais deletérios. Sua dimensão máxima deve-se situar entre 1/4 e 1/5 da espessura do pavimento, evitando-se aqueles agregados cuja maior dimensão ultrapasse dos 50mm. Além disso, os agregados graúdos devem possuir arestas com angularidade bem definida (normalmente, as pedras britadas têm essa característica), e sua textura superficial deve ser rugosa e com ligeira porosidade microscópica superficial, de modo a aumentar a aderência pasta – agregado.

Conclui-se, pois, que a utilização de seixos rolados no concreto deve ser feita com cautela, dado que a sua forma arredondada e a sua superfície com baixa rugosidade não são propícias à aderência da pasta de cimento.

Deve-se evitar a utilização de certos materiais – como os cascalhos, por exemplo –, pois é comum, nesses agregados, a existência de uma película de argila, envolvendo os seus grãos, e que poderá provocar, posteriormente, a perda da aderência da pasta de cimento.

b) Do tipo de cimento:

No Brasil, os tipos de cimentos mais usuais em pavimentos rígidos são: cimento Portland comum (CPS), que recebe adição de 5% de material carbonático; cimento Portland especial (CPE), que recebe 5% de material carbonático e 10% de escória; e cimento Portland pozolânico (CPZ), que recebe 5% de material carbonático e 10% de pozolana.

No mercado brasileiro, estão disponíveis, ainda, os cimentos Portland com resistência aos sulfatos e moderado calor de hidratação (MRS), cujo uso não apresenta inconvenientes; e os cimentos de alta resistência inicial (ARI), que devem ser utilizados com cautela, uma vez que podem gerar retrações acentuadas e, portanto, exigem um bom dimensionamento do espaçamento das juntas transversais do pavimento.

No tocante à construção do pavimento, a especificação do tipo de cimento a ser utilizado deve levar em conta a facilidade de lançamento do concreto; a distância da usina de concreto até o local da obra; a temperatura ambiente no momento do lançamento; a resistência inicial pretendida para o concreto etc. Assim, é imprescindível um estudo prévio dos traços de concreto, que melhor atendam às necessidades da obra e às condições de contorno existentes.

A especificação inadequada dos cimentos pode comprometer a resistência final do concreto, tornando o pavimento susceptível à degradação ao longo do tempo, e, conseqüentemente, diminuindo-lhe a vida útil.

c) Dos aditivos incorporados ao concreto:

Os aditivos são incorporados ao concreto com as mais diversas finalidades, quais sejam: melhorar a trabalhabilidade do concreto, durante o seu lançamento; retardar ou acelerar o tempo de pega do concreto; reduzir a permeabilidade do concreto; acelerar a resistência do concreto nas primeiras horas após o seu lançamento etc. A utilização dos aditivos deve ser feita criteriosamente, pois, se mal utilizados, podem provocar efeito inverso ao pretendido.

Os aditivos mais comumente utilizados no concreto são: a) aditivos redutores de água, ou plastificantes, que permitem a redução do fator água/cimento, sem que haja a diminuição da trabalhabilidade do concreto (*slump*); b) aditivos incorporadores de ar, que induzem a formação de pequenas bolhas de ar no concreto fresco, propiciando-lhe melhor trabalhabilidade e diminuindo a retração inicial, a exsudação e a segregação de agregados, durante o adensamento do concreto; c) aditivos retardadores de pega, que conferem ao concreto um período maior de trabalhabilidade, sendo utilizados quando a distância entre a usina e o local de lançamento é muito grande, ou quando se está executando a concretagem em dias muito quentes; d) aditivos aceleradores de pega, que agem de maneira inversa à dos retardadores, sendo o seu emprego mais indicado em serviços de reparos de pavimentos, uma vez que, em alguns casos, podem provocar a pega do concreto em questão de minutos; e) aditivos aceleradores de endurecimento, que são compostos químicos à base de cloreto de cálcio, os quais provocam o aumento da resistência à compressão aos 28 dias, mas que podem reduzir a resistência à tração na flexão do concreto; f) aditivos impermeabilizantes, que atuam como hidrofugantes (diminuem a permeabilidade do

concreto), podendo o seu emprego propiciar maior proteção às barras de transferência e armaduras, na medida em que diminuem a percolação de águas agressivas pelo interior das placas de concreto.

A utilização de aditivos deve ser precedida de ensaios para determinar-se os percentuais a serem incorporados no traço do concreto, pois, caso contrário, corre-se o risco de haver comprometimento do desempenho do pavimento ao longo do tempo.

d) Da água utilizada no amassamento do concreto:

A água tem atuação fundamental na obtenção de um concreto adequado aos pavimentos, uma vez que ela é o agente que provoca reação química de endurecimento do cimento e maturação do concreto.

É de suma importância que se saiba a origem da água que será utilizada no amassamento do concreto e, principalmente, a sua composição química. Algumas características da água podem influenciar a qualidade final do concreto. A alcalinidade da água (pH acima de 7), por exemplo, é conferida pelos carbonatos e bicarbonatos alcalinos, que, em proporções superiores a 0,2%, podem acelerar a pega do concreto e, ao mesmo tempo, diminuir a sua resistência, em idades mais avançadas. Já a presença de substâncias inorgânicas na água (iodatos, fosfatos etc.) pode, dependendo da sua concentração, causar sérios distúrbios na pega e resistência final do concreto.

3.3.2. Influência das Condições Ambientais.

Segundo FORSTER (8), as condições ambientais, às quais um pavimento de concreto será submetido, influenciam de maneira significativa o seu desempenho. Essa influência ocorre em dois estágios: primeiro, quando o pavimento está sendo construído (lançamento do concreto);

depois, no decorrer da vida útil do pavimento. A não consideração das condições ambientais nesses dois estágios pode, em alguns casos, tornar inócuos os cuidados e parâmetros adotados no dimensionamento do pavimento.

As condições ambientais, que devem ser consideradas, no estágio em que o pavimento está sendo construído, referem-se à temperatura ambiente, à variação da temperatura ao longo do dia, à umidade relativa do ar, à incidência de radiação solar e ao vento. Esses fatores influenciam o grau de hidratação e ganho de resistência do concreto, assim como afetam a perda de umidade da mistura e propiciam o surgimento de fissurações superficiais.

Ainda segundo FORSTER (8), a influência das condições ambientais sobre o concreto, durante a fase de construção, tem sido alvo de estudos do Federal Highway Administration (FHWA), dos Estados Unidos, no qual estão sendo investigados o comportamento do concreto depois das primeiras 72 horas do seu lançamento. Tais estudos visam ao desenvolvimento de metodologias, que tornem possível o controle das tensões, que surgem, no concreto, abaixo dos níveis críticos, nas 72 horas iniciais de maturação, durante as quais podem ocorrer fissurações por retração. Na essência, os estudos, ora em desenvolvimento pelo FHWA, buscam uma forma de controlar as condições do pavimento, de tal modo que o ganho de resistência do concreto seja maior que as tensões que se desenvolvem durante as primeiras horas após a sua aplicação.

A longo prazo, as condições ambientais, principalmente as variações de temperatura e umidade, produzirão tensões de tração e compressão, que induzirão a contração e a expansão do concreto. Contrações assentadas induzirão a abertura excessiva das juntas e o aparecimento de trincas, as quais prejudicarão a manutenção da condição de transferência de cargas entre as placas de concreto adjacentes.

Além disso, as variações excessivas de temperatura e umidade podem atuar através da espessura das placas de concreto, provocando contrações e expansões não uniformes, que induzirão o surgimento de tensões e, conseqüentemente, a deformação das placas na região das juntas. Em decorrência dessa deformação, novas trincas poderão surgir quando o pavimento for submetido ao carregamento.

3.3.3. Influência do Projeto de Mistura do Concreto.

Em vista do que foi apresentado nos tópicos anteriores, é de concluir-se que os fatores que influenciam o desempenho do pavimento, a curto e longo prazos, devem ser considerados ainda na fase de projeto, o qual deve passar, obrigatoriamente, pelo levantamento de todas as condições de contorno, que envolverão a construção e operação do pavimento. O quadro 3.1 indica a forma pela qual os materiais que compõem o concreto podem afetar as propriedades do pavimento rígido, segundo FOSTER (8).

Categoria / Material	Características	Propriedades afetadas no Pavimento
Agregados	Tamanho máximo	Volume da pasta de cimento e o conseqüente surgimento de craquelamento ou fissuração
	Resistência	Durabilidade do pavimento incluindo a resistência à tração na flexão
	Angularidade e Forma	Trabalhabilidade do concreto, fator água cimento e conseqüente fissuração do pavimento
	Textura superficial	Aderência entre pasta e agregado e a conseqüente resistência à tração e flexão do pavimento
	Dureza	Aumento ou diminuição do atrito superficial
Cimentos	Finura	Resistência e permeabilidade do concreto
	Composição química	Ganho de resistência, resistência ao ataque por sulfatos
Aditivos	Incorporadores de ar	Resistência do concreto à variações térmicas (mais evidente em países com ocorrência de neve)
	Redutores de água ou plastificantes	Redução do fator água / cimento, trabalhabilidade do concreto fresco, acabamento da superfície, fissuração
	Pozolanas	Ganho de resistência, permeabilidade
Fator água / cimento	Quantidade de água	Trabalhabilidade, acabamento final da superfície, fissuração e resistência

Quadro 3.1: influência dos materiais na mistura de concreto. Fonte: FORSTER (8)

3.3.4. Influência do Controle de Qualidade dos Processos Construtivos.

Um dos fatores que mais influenciam a vida útil do pavimento de concreto é o controle de qualidade adotado durante a sua construção. A figura 3.4 representa o desempenho de um pavimento de concreto, em função da qualidade adotada na construção, segundo um estudo desenvolvido pelo Federal Highway Administration - FHWA (10), dos EUA.

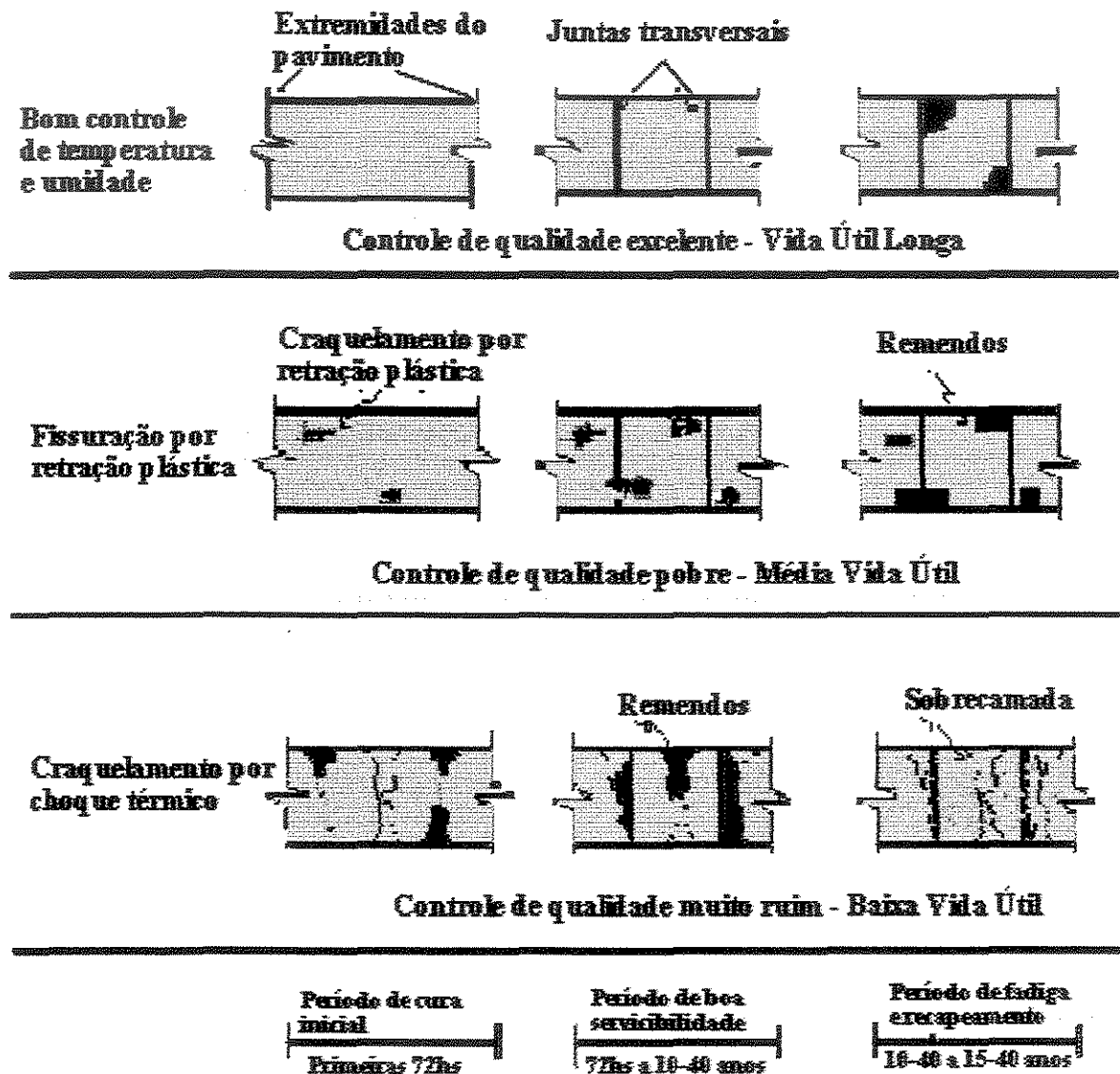


Figura 3.4: influência do controle de qualidade, adotado na construção, sobre a durabilidade do pavimento de concreto. FHWA (10)

De todos os aspectos abordados neste capítulo, referentes aos fatores que influenciam na durabilidade do pavimento de concreto, talvez o que mereça maior destaque refere-se ao controle de qualidade.

Embora o estudo desenvolvido pelo FHWA (10) tenha verificado a influencia que o controle de qualidade tem sobre a durabilidade do pavimento, é importante frisar que tal controle não deve ser adotado apenas durante a sua construção, mas sim, em todas as fases que envolvem a construção do pavimento. O ideal, nesse caso, é que sejam feitos ensaios laboratoriais para verificação da qualidade dos agregados; do cimento; da água e dos aditivos que serão utilizados na mistura do concreto.

4. IDENTIFICAÇÃO DOS DEFEITOS E DETERMINAÇÃO DO ESTADO ESTRUTURAL DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO.

4.1. IDENTIFICAÇÃO DOS DEFEITOS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO.

No Brasil, a identificação dos defeitos em pavimentos de concreto é feita a partir de inspeções visuais, realizadas segundo os procedimentos constantes da norma DNER-48 (11), a qual é originária da metodologia desenvolvida pela CERL - Construction Engineering Research Laboratory -, do corpo de engenheiros do exército dos EUA.

A metodologia traçada pela norma DNER-48 (11) define 18 tipos distintos de defeitos em pavimentos de concreto, os quais podem ocorrer com graus de severidade baixa, média ou alta. São eles: 1) fissuras de canto; 2) placas divididas; 3) fissuras lineares; 4) esborcinamento de juntas; 5) quebras de canto; 6) alçamento de placas; 7) degrau na junta; 8) defeito na selagem das juntas; 9) desnível pavimento / acostamento; 10) grandes reparos; 11) pequenos reparos; 12) desgaste superficial; 13) bombeamento; 14) quebras localizadas ou buracos; 15) passagem de nível; 16) rendilhado e escamação; 17) fissuras de retração plástica; e 18) placa bailarina.

O tipo, a quantidade e o grau de severidade dos defeitos são identificáveis por inspeção visual do pavimento. O método determina dois tipos de inspeção, segundo a extensão do pavimento, quais sejam: 1) inspeção em todo o trecho; e 2) inspeção por amostragem.

A inspeção em todo o trecho é aquela em que todas as amostras de um trecho são inspecionadas. Trata-se de um procedimento dispendioso e demorado, que geralmente é realizado em trechos de pouca extensão, ou em pavimentos nos quais o levantamento total seja extremamente necessário, como, por exemplo, nos casos em que se pretende estabelecer contratos de manutenção da rodovia.

A inspeção amostral, por sua vez, é mais ágil e menos dispendiosa que a total. Para a sua execução, a norma DNER 48 (11) estabelece o número mínimo de placas de concreto a serem inspecionadas (n), em função do número total de placas existentes no trecho (N). A inspeção amostral também considera, como variáveis, um erro admissível (e) e um desvio padrão (S), sendo este calculado sobre a média dos resultados individuais do Índice de Condição do Pavimento (ICP). A determinação do número de placas de concreto a serem inspecionadas pelo critério amostral é obtida pela equação 4.1. De acordo com a norma DNER 48 (11), adotando-se um erro admissível (e) igual a $\pm 5\%$, e um desvio padrão (S) entre 8 e 14, pode-se obter um resultado com 95% de confiabilidade.

$$n = \frac{NS^2}{e^2 \cdot \frac{(N-1)}{4} + S^2} \quad (4.1)$$

Onde:

nnº de amostras (placas) a serem inspecionadas

Nnº de amostras total do trecho

eerro admissível

Sdesvio padrão da média dos resultados individuais do Índice de Condição do Pavimento.

Além do número de placas, a norma define os intervalos (*i*) entre as placas a serem inspecionadas no critério amostral, segundo a relação definida na equação 4.2.

$$i = \frac{N}{n} \quad (4.2)$$

Onde:

i intervalo entre as placas

n n° de amostras (placas) a serem inspecionadas

N n° de amostras total do trecho

A despeito da preocupação da norma DNER 48 (11) em definir critérios para conferir maior precisão e resultados confiáveis na inspeção amostral, essa confiabilidade nem sempre é alcançada. Dependendo das placas de concreto selecionadas para a inspeção, os valores do ICP e o conceito do pavimento podem ser muito diferentes da realidade.

O estudo desenvolvido pelo autor (12), num pavimento localizado na cidade de Campinas, SP, com 378m de extensão e composto por 111 placas de concreto, no qual foram realizados os dois tipos de inspeção, obteve, como resultado, diferentes estados estruturais do pavimento. Pelo critério amostral, o pavimento estudado apresentou estado estrutural enquadrado no conceito "bom", enquanto a inspeção em todo o trecho, do mesmo pavimento, apresentou, como resultado, estado estrutural enquadrado como "razoável". Portanto, dependendo da precisão do resultado, que se pretende obter, a inspeção amostral de um pavimento de concreto deve ser vista com certa reserva.

4.2. DETERMINAÇÃO DO ESTADO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO.

O estado estrutural do pavimento é definido pelo ICP (Índice de Condição do Pavimento), que, a partir da inspeção visual, é calculado em função de 3 parâmetros, quais sejam: 1) tipos de defeito; 2) graus de severidade; e 3) frequência com que esses defeitos ocorrem no pavimento.

Com esses 3 parâmetros, obtém-se, nos ábacos na norma DNER-48 (11), um Valor Deduzível Total (VDT), que varia em função da incidência e dos graus de severidade dos defeitos. Uma vez determinado o VDT, utilizam-se, novamente, os ábacos da norma DNER-48 (11) para obter-se um Valor Deduzível Corrigido (VDC). Finalmente, o estado estrutural do pavimento, ou ICP, é dado pela relação apresentada pela equação 4.3.

$$ICP = 100 - VDC \quad (4.3)$$

A norma DNER-48 (8) estabelece, ainda, a divisão do ICP em faixas que são relacionadas ao conceito do pavimento, conforme apresentado no quadro 4.1.

ICP	100 a 85	85 a 70	70 a 55	55 a 40	40 a 25	25 a 10	10 a 0
Conceito	excelente	muito bom	bom	razoável	ruim	Muito ruim	destruído

Quadro 4.1: conceitos do pavimento, classificados conforme o Índice de Condição do Pavimento

Fonte: norma DNER-48 (11)

4.3. DEFEITOS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO E SUAS CAUSAS.

O surgimento de um defeito, no pavimento de concreto, quase nunca é decorrente de uma única causa. Fenômenos que, isoladamente, não provocariam danos ao pavimento, quando associados a outros, agravam o defeito. Assim, uma fissura linear, isoladamente, não provoca maiores danos ao pavimento; mas, se associada à infiltração de água, perda de suporte da fundação e tráfego de veículos pesados, pode evoluir para o defeito classificado como placa dividida. O quadro 4.2 apresenta os agentes, sugeridos pelo autor, como possíveis causadores de defeitos nos pavimentos de concreto.

Fase	Item da Fase	Característica	Consequência
Projeto	Levantamentos Preliminares	- Sondagens ineficientes ou inexistentes	- Subdimensionamento da sub-base do pavimento
		- Estimativa deficiente das condições ambientais	- Subdimensionamento do sistema de drenagem
	Previsão de Tráfego	- Previsão subestimada do tráfego	- Subdimensionamento das placas de concreto
	Especificações	- Especificação inadequada do concreto	- Baixa resistência à tração na flexão
		- Posicionamento de juntas	- Juntas mal localizadas
Construção	Fundação	- Ausência de controle	- Sub-base mal executada - Baixo grau de compactação - CBR insuficiente
	Concretagem	- Ausência de controle - Lançamento mal executado	- Materiais com baixa qualidade - Concreto inadequado - Adensamento inadequado - Acabamento inadequado - Cura deficiente - Corte inadequado das junta
Operação	Tráfego		- Danos nas placas

Quadro 4.2: fatores que podem provocar a ocorrência de defeitos de ordem estrutural, considerados na presente pesquisa.

4.4. CLASSIFICAÇÃO DOS DEFEITOS SEGUNDO A SUA ORDEM.

Os defeitos ocorrentes nos pavimentos rígidos podem ser superficiais ou, quando mais graves, podem atingir toda a espessura das placas de concreto. Embora a norma DNER 48 (11) não faça a distinção dos defeitos, segundo a sua origem, o meio técnico, ligado à área de pavimentação, considera que tais defeitos podem ter origens de ordem estrutural ou funcional. Segundo DOMINGUES (13), os defeitos de ordem estrutural estão associados à perda da capacidade de o pavimento suportar as cargas para as quais foi dimensionado, cargas essas consideradas em projeto. Por sua vez, os defeitos de ordem funcional estão associados à qualidade do rolamento - no aspecto segurança e conforto - sobre o pavimento. Os defeitos, definidos pela norma DNER 48 (11), que podem ser classificados como de ordem estrutural ou funcional, são:

- Defeitos de Ordem Estrutural: 1) fissuras de canto; 2) placas divididas; 3) fissuras lineares; 4) esborcinamento de juntas; e 5) quebras de canto.
- Defeitos de Ordem Funcional: 1) alçamento de placas; 2) degrau na junta; 3) defeito na selagem das juntas; 4) desnível pavimento / acostamento; 5) grandes reparos; 6) pequenos reparos; 7) desgaste superficial; 8) bombeamento; 9) quebras localizadas ou buracos; 10) passagem de nível; 11) rendilhado e escamação; 12) fissuras de retração plástica; e 13) placa bailarina.

Além da classificação por tipo, a norma DNER-48 atribui graus de severidade aos defeitos. Dependendo da gravidade com que estes afetam a placa de concreto do pavimento, os defeitos podem apresentar graus de severidade baixo, médio ou alto.

Com relação aos graus de severidade, é importante ressaltar que muitas vezes um defeito que apresenta alto grau de severidade causa menor dano que outro que ocorre em baixo grau de severidade. É o caso, por exemplo, do alçamento de placas e placas divididas. Trabalho desenvolvido pelo autor (5), verificou que alçamento de placas em alto grau de severidade são menos prejudiciais, ao pavimento, que as placas divididas em baixo grau de severidade.

4.4.1. Defeitos de Ordem Estrutural e suas Prováveis Causas.

Associados à capacidade estrutural do pavimento, os defeitos de ordem estrutural podem, ou não, atingir toda a espessura da placa; conseqüentemente, a sua recuperação pode implicar a demolição e a reconstrução de partes ou de toda a placa de concreto do pavimento. Esses defeitos, normalmente, têm origem a partir da fissuração das placas de concreto.

O CALTRANS (14) considera que as fissurações ocorrem em 3 estágios distintos. No primeiro estágio, as fissuras não são interligadas, são longitudinais ou transversais, e dividem a placa de concreto em 3 partes, sem, contudo, atingir os cantos. No segundo estágio, as fissuras são paralelas, não se interligam e atingem os bordos da placa de concreto. No terceiro estágio, de maior gravidade, as fissuras interligam-se entre elas, bem como às juntas transversais e longitudinais do pavimento.

A ocorrência das fissurações pode decorrer do subdimensionamento do pavimento, da utilização de materiais de baixa qualidade e de vários outros fatores que influem na durabilidade do pavimento. CARVALHO (15), em boletim técnico da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), caracteriza alguns dos defeitos que mais frequentes em pavimentos de concreto, com suas prováveis causas. São eles:

a) Fissuras Lineares e Fissuras de Canto:

As fissuras lineares são descontinuidades não previstas no projeto, que ocorrem tanto no meio quanto nos cantos da placa de concreto. Em função de sua abertura, profundidade, posição e dos fenômenos que as causam, as fissuras podem ser classificadas como:

a.1 Fissuras causadas pela inadequação da cura do concreto:

Ocorrem logo depois que o concreto é lançado, quando ainda está na fase plástica, ou seja, antes de se dar o início da pega do cimento. Têm como causa a inadequação ou insuficiência

do processo de cura inicial, permitindo que a velocidade de evaporação da água superficial seja superior à de exsudação do concreto.

Geralmente, as fissuras causadas pela inadequação de cura do concreto têm baixo grau de severidade, são superficiais (pouco profundas), de pequena abertura (inferior a 0,5 mm) e comprimento limitado. Sua incidência é aleatória e dá-se em ângulos de 45° a 60°, em relação à maior dimensão da placa de concreto.

a.2 Fissuras transversais:

São geralmente provocadas pela retração volumétrica do concreto nas primeiras idades, quando o projeto geométrico das juntas não é capaz de controlar as tensões de tração - seja por inadequação do próprio projeto, atraso no programa de abertura das juntas, pouca profundidade da ranhura, ou, ainda, por condições climáticas não previstas no projeto. Essas fissuras propagam-se por toda a profundidade da placa de concreto e, quando aparecem próximas à junta transversal (aproximadamente, a 30cm), podem ser um indicador do mau funcionamento das barras de transferência de carga. Em alguns casos, podem ser consequência de falhas estruturais do pavimento, provocadas por insuficiência de suporte da fundação, ou por subdimensionamento da espessura da placa de concreto.

a.3 Fissuras longitudinais:

Podem ser causadas pelo atraso na abertura da junta longitudinal ou pela pouca profundidade da ranhura, e geralmente ocorrem próximas à junta longitudinal do pavimento. Outra causa apontada para o surgimento das fissuras longitudinais é o assentamento do material de sub-base ou subleito.

a.4 Fissuras de canto:

Podem ser causadas pela falta de dispositivos eficientes de transmissão de carga, pelo subdimensionamento da espessura do pavimento ou por recalques diferenciais da fundação.

a.5 Fissuras profundas e generalizadas:

Esse tipo de fissura indica a falha total do pavimento como camada estrutural e tem três causas básicas: a) emprego de concreto de baixa qualidade, incapaz de resistir aos vários esforços solicitantes; b) subdimensionamento da espessura da placa de concreto; e c) fundação com baixa capacidade de suporte. De um modo geral, são fissuras bem abertas, de comprimento variável, de ocorrência aleatória e apresenta bordos esborcinados.

b) Esborcinamento de Juntas:

Dentre os defeitos ocorrentes em pavimentos rígidos de concreto, o esborcinamento de juntas é um dos que aparecem com maior incidência. Esse defeito é notadamente acentuado nas juntas transversais.

O esborcinamento de juntas caracteriza-se pela quebra dos bordos da junta e merece especial atenção, pois, além de ser progressivo, permite a infiltração de água e material incompressível através da ranhura, cujas conseqüências são reconhecidamente prejudiciais ao comportamento da junta. Sua ocorrência pode ser provocada pela ineficácia das barras de transferência, permitindo a formação de degraus entre placas adjacentes, o quê, com a ação do tráfego pesado, provoca o esborcinamento dos cantos vivos da placa de concreto.

c) Placas Divididas e Quebras de Canto:

As placas divididas e as quebras de canto podem surgir em decorrência da evolução ou do agravamento das fissuras lineares e das fissuras de canto, quando nenhuma dessas é reparada quando ainda apresentam baixo grau de severidade.

A não-reparação das fissuras, quando ainda apresentam baixo grau de severidade, permite a percolação de água e a penetração de materiais incompressíveis para o seu interior. Esse fenômeno, associado à deformação da placa pelas sobrecargas de veículos, provoca o aumento da fissura - tanto em termos de espessura como de profundidade -, agravando, assim, o seu grau de severidade.

d) Buracos:

Esses defeitos caracterizam-se pela perda de concreto na superfície da placa, apresentando área e profundidade bem definidas. A ocorrência dos buracos pode ser provocada pela progressão de outros, já existentes; por fissuras profundas e generalizadas; pela escamação e desgaste superficial; e pelo emprego de concretos de má qualidade.

Estranhamente, a norma DNER-48 (11) não define grau de severidade para as quebras localizadas, ou buracos. Essa omissão talvez possa ser justificada pelo fato de a norma brasileira ser originária das metodologias adotadas nos EUA, país onde buracos em pavimentos são tão inadmissíveis, que a sua existência sequer é considerada.

4.4.2. Defeitos de Ordem Funcional e Suas Prováveis Causas.

Embora os defeitos de ordem funcional sejam caracterizados como aqueles que apenas afetam o conforto do rolamento sobre o pavimento, eles podem, se não corrigidos em tempo hábil, evoluir a ponto de adquirirem características de ordem estrutural. CARVALHO (15), em boletim técnico da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), caracteriza alguns dos defeitos de ordem funcional que mais ocorrem em pavimentos de concreto, e suas prováveis causas. São eles:

a) Escamação e Desgaste Superficial:

Geralmente surgem em decorrência do emprego de concretos de baixa qualidade ou de agregados sujos (argila ou pó), além de erro na execução, como, por exemplo, excesso de vibração do concreto. Esses defeitos caracterizam-se pelo deslocamento da argamassa superficial (desgaste superficial) e posterior descolamento do agregado graúdo (escamação), abrangendo áreas nem sempre bem definidas. Além disso, são progressivos e, com o passar do tempo,

tornam-se acentuadamente prejudiciais à sanidade do pavimento, dada a inevitável formação de buracos.

b) Bombeamento:

Bombeamento é o fenômeno de expulsão dos finos plásticos existentes no solo de fundação do pavimento, sob a forma de lama fluida, através das juntas, bordos ou eventuais trincas do pavimento, quando da passagem das cargas solicitantes. A retirada dos finos provoca, inicialmente, o amolecimento da fundação, e a sua progressão conduz à perda de apoio das placas de concreto, que cobrem a área afetada. Sem apoio, as placas de concreto sofrem tensões de tração maiores do que as consideradas no cálculo, o que acelera o processo de fadiga do pavimento e a sua ruptura precoce.

c) Assentamentos:

Os assentamentos caracterizam-se pelo recalque da fundação, acompanhado pelo pavimento, o qual, muitas vezes, permanece íntegro, ainda que superficialmente ondulado. É comum, entretanto, a formação de fissuras transversais ou mesmo longitudinais na região deformada.

d) Desnívelamento Pavimento-Acostamento:

É o degrau formado entre o acostamento e a borda do pavimento. Esse defeito pode ser provocado pelo assentamento do acostamento ou por erosão, e é, geralmente, acompanhado pela separação das bordas do pavimento.

c) Defeito na Selagem das Juntas:

Caracteriza-se pela falha dos mástiques utilizados na selagem, permitindo o acúmulo de material incompressível no interior das juntas. As causas mais comuns desse tipo de defeito são: 1) rompimento do selante, por tração ou compressão; 2) perda de aderência entre selante e superfície do concreto; 3) crescimento de vegetação no interior da juntas, perfurando o selante; e 4)

quantidade insuficiente de material selante. Um outro fator que pode causar o defeito na selagem das juntas é a inadequação de sua execução. Para o melhor desempenho mecânico de um selante, sua aplicação deve obedecer a um fator de forma, que varia em função da largura da junta.

5. MATERIAIS EMPREGADOS NA RECUPERAÇÃO DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO.

5.1. INTRODUÇÃO.

Originalmente, a maioria dos reparos executados em pavimentos rígidos era feita pela demolição, parcial ou total da placa de concreto, e sua posterior reconstrução com a utilização de argamassas, concreto, grautes etc., confeccionadas com cimento Portland comum, cuja eficácia e durabilidade nem sempre correspondiam ao desempenho esperado. Problemas como perda de aderência ao concreto antigo, retrações e fissurações acentuadas, e baixo desempenho mecânico, dentre outros, caracterizavam os reparos executados com o emprego do cimento Portland.

A partir de 1960, no entanto, os avanços tecnológicos possibilitaram o surgimento de materiais e sistemas alternativos para reparo de concreto. Atualmente, os reparos, em sua grande maioria, são executados com argamassas de cimento Portland modificadas com polímeros, ou executados com resinas poliméricas, ou, ainda, com cimentos especiais, conforme apresentado no quadro 5.1.

Resinas	Polímeros (modificação de cimentos)	Cimentos
Epóxi	Polímeros de látex	Cimento Portland comum
Poliéster	Polímeros líquidos	Cimento de Alta Resistência Inicial (ARI)
Acrílico	Polímeros em pó e redispersos	Cimentos Aluminosos

Quadro 5.1: categorias dos materiais existentes no mercado. Fonte: MORGAN (16)

Os materiais apresentados no quadro 5.1 possuem características próprias, que variam em função de sua composição química. Seu desempenho no reparo de um pavimento rígido depende de sua compatibilidade com o concreto do substrato, conforme será apresentado nos itens subseqüentes ao presente capítulo.

5.2. COMPATIBILIDADE DOS MATERIAIS PARA REPARO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO.

A escolha do tipo de material mais apropriado para a execução de um reparo durável no pavimento de concreto deve passar pelo estudo de sua compatibilidade com o substrato existente. Essa compatibilidade é definida por MORGAN (16) como o balanço entre as propriedades físicas, químicas e eletromecânicas do material e o concreto existente, de modo a assegurar que o reparo tenha capacidade para absorver alterações volumétricas, solicitações de cargas, ataques químicos etc., sem se deteriorar ao longo do período de vida para o qual foi projetado.

Segundo MORGAN (16), a especificação dos materiais a serem utilizados nos reparos deve considerar as suas propriedades e o desempenho que se espera deles. No caso de reparos em pavimentos de concreto, os aspectos mais importantes na escolha dos materiais são: a) compatibilidade dimensional do material; b) compatibilidade da aderência e sua durabilidade; e

c) compatibilidade estrutural e mecânica do material. A figura 5.1 ilustra os fatores que afetam a compatibilidade dos materiais de reparo.

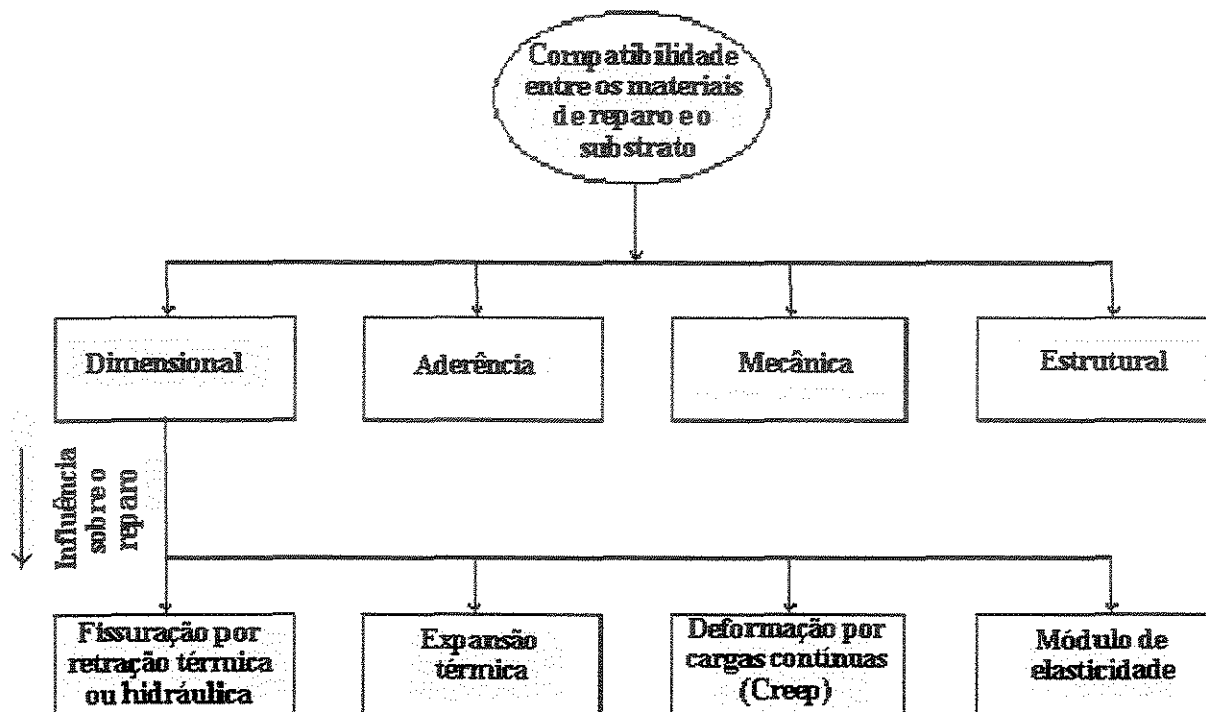


Figura 5.1: fatores que afetam a compatibilidade dimensional dos materiais de reparo. Fonte: MORGAN (16).

a) Compatibilidade Dimensional dos Materiais de Reparo:

Entende-se por Compatibilidade Dimensional de um Material de Reparo a sua capacidade de absorver as variações volumétricas do substrato, sem perder aderência e sem sofrer delaminação, e, sobretudo, a sua capacidade de absorver as cargas às quais será submetido após a liberação do pavimento ao tráfego. Segundo MORGAN (16), a falta de compatibilidade dimensional dos materiais pode resultar em deformações provocadas por retrações térmicas ou hidráulicas excessivas.

A compatibilidade dimensional pode, ainda, ser influenciada pelo módulo de elasticidade do material e pelo formato, espessura e área do reparo. Materiais de reparo com alto

módulo de elasticidade têm maior capacidade para absorver as deformações do substrato, sem sofrerem fissuração. Portanto, os materiais ideais para reparos são aqueles que, depois de aplicados, têm módulo de elasticidade e características de expansão térmica similares aos do concreto do substrato.

b) Compatibilidade da Aderência e sua Influência Sobre a Durabilidade dos Reparos:

A Compatibilidade da Aderência pode ser definida como o desenvolvimento, em nível satisfatório, da aderência entre o material de reparo e a superfície de concreto existente. A Durabilidade pode ser definida como a manutenção dessa aderência ao longo do tempo. O desempenho de qualquer material de reparo é altamente dependente da qualidade de sua aderência ao substrato, e esta deve ser boa o suficiente para manter intacta a área reparada. Segundo DECTER & KEELEY (17), o valor mínimo da aderência deve ser igual a $0,8\text{N/mm}^2$. Esse valor é obtido por meio de ensaio de arrancamento, realizado em campo, com um aparelho conhecido como Pull-Out Test. A aderência do reparo depende do tipo de material empregado; do preparo da superfície; da rugosidade do substrato; das solicitações de cargas; das condições de temperatura e umidade etc.

Em condições reais de utilização do pavimento, a aderência entre o material de reparo e o substrato pode ser afetada pelo surgimento de tensões na interface entre as duas superfícies, tensões essas causadas pelos seguintes fatores: a) deformações provocadas por retração térmica ou hidráulica; b) geração de calor provocada pela reação de hidratação do material; c) alterações volumétricas; d) aplicação de cargas dinâmicas ou estáticas; e) impactos mecânicos; e e) variações bruscas de temperatura (choques térmicos).

c) Compatibilidade Estrutural e Mecânica do Material de Reparo:

Segundo MORGAN (16), existem dois tipos de reparos em concreto: a) reparo “cosmético”, cuja execução tem caráter puramente estético, e as tensões que atuarão sobre ele não constituem o fator preponderante na sua especificação; e b) reparo estrutural, no qual as tensões que atuarão sobre ele são preponderantes, e seu dimensionamento é feito considerando-se todas as cargas e deformações às quais estará submetido.

No caso dos reparos estruturais, os materiais a serem empregados devem ter, como primeiro requisito, resistências à compressão, flexão e tração superiores às do concreto do substrato. O outro requisito, e talvez o mais importante, refere-se à dureza, ou módulo de elasticidade dos materiais de reparo. A utilização de materiais com dureza excessiva pode provocar concentração de tensões, na área reparada, quando o pavimento estiver sob condições reais de carregamento.

A especificação ideal, portanto, é aquela que consegue conciliar as propriedades dos materiais de reparo (módulo de elasticidade e coeficiente de dilatação térmica) às propriedades do concreto do substrato. O quadro 5.2 apresenta as propriedades desejáveis dos materiais de reparo em relação ao concreto.

Propriedades	Material de Reparo (R) X Concreto do Substrato (C)
Resistência a compressão, tração e flexão	$R \geq C$
Módulo de elasticidade	$R > C$
Coeficiente de expansão térmica	$R = C$
Aderência sob tração e cisalhamento	$R \geq C$
Capacidade de deformação	$R \geq C$
Resistência a fadiga	$R \geq C$

Quadro 5.2: relação entre os materiais de reparo e o concreto do substrato. Fonte: MORGAN (16)

5.3. MATERIAIS UTILIZADOS NO REPARO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO.

A utilização de um ou outro tipo de material de reparo varia em função do tipo e das dimensões dos defeitos a serem reparados, bem como das cargas às quais a região a ser reparada será submetida. Além disso, o tipo de material a ser utilizado pode variar em função dos recursos

financeiros disponíveis e do período pelo qual o pavimento deverá ficar interditado durante os serviços de recuperação do concreto.

Os materiais mais utilizados no reparo dos pavimentos de concreto podem ser divididos em dois grandes grupos, segundo o tipo de aglomerante que os compõem, quais sejam: materiais de base cimentícia e materiais à base de resinas sintéticas orgânicas. O quadro 5.3 apresenta os materiais mais usuais, disponíveis para recuperação de pavimentos de concreto.

Tipo de Material	Designação
Base Cimentícia	- Concretos e Argamassas Convencionais - Concretos e Argamassas de Endurecimento Rápido e Alto Ganho de Resistência - Concretos e Argamassas Modificados por Polímeros
Concretos e Argamassas Poliméricas	- Concretos e Argamassas à Base de Resinas Epoxídicas, Uretânicas, Asfaltos Modificados, Metacrilatos, Poliesters, etc.

Quadro 5.3: materiais para recuperação de pavimentos de concreto.

5.3.1. Materiais de Reparo de Base Cimentícia.

a) Concretos e Argamassas Convencionais:

São compostos pela mistura de cimento Portland comum ou de alta resistência inicial (ARI) e agregados graúdos e/ou miúdos. Resultam numa solução de baixo custo para o reparo de defeitos em pavimentos rígidos de concreto, e são utilizados, via de regra, no reparo de defeitos com profundidade acima de 50mm, e onde o tempo para a liberação do tráfego não é um fator limitante, na medida em que demandam pelo menos 3 dias de cura.

O cimento Portland é caracterizado como um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, que, ao serem misturados com água, hidratam-se e produzem uma massa de elevada dureza e resistência mecânica. A obtenção do cimento Portland dá-se pela moagem da mistura de calcário com compostos de argila (clínquer), que resulta num produto constituído por: óxido de cálcio (CaO); óxido de silício (SiO_2); óxido de alumínio (Al_2O_3) e óxido de ferro (Fe_2O_3).

Segundo GIAMMUSSO (18), os componentes resultantes desses óxidos principais são: silicato tricálcico (C_3S); silicato dicálcico (C_2S); aluminato tricálcico (C_3A); e ferro aluminato tricálcico (C_4AF).

Desse modo, o cimento Portland comum é obtido pela moagem de gesso e clínquer. Quando essa moagem não recebe nenhuma adição, o cimento é denominado CP-I. A moagem com adição de 5% de calcário (máximo) produz o cimento denominado CP-S. O cimento de Alta Resistência Inicial (ARI), por seu turno, é rico em silicato tricálcico (C_3S). Os cimentos são, ainda, designados por sua resistência à compressão (25, 32, 40Mpa), como ilustrado no quadro 5.4.

Idade	Classe do Cimento / Resistência a Compressão (Mpa)			
	25	32	40	ARI
1 dia	-	-	-	14
3 dias	8	10	15	24
7 dias	15	20	25	34
28 dias	25	32	40	-

Quadro 5.4: resistências características dos cimentos. Fonte: GIAMMUSSO (18).

Quanto ao desempenho dos concretos e das argamassas convencionais como materiais de reparo, pode-se dizer que apresentam excelente compatibilidade dimensional, pois, sendo o concreto do pavimento igualmente composto por cimento Portland, as variações volumétricas daqueles materiais são similares às do substrato. Com relação à compatibilidade mecânica, dependendo do teor de cimento adotado, os concretos e as argamassas convencionais atingem resistências à compressão e tração superiores às do concreto do substrato.

A compatibilidade de aderência, entretanto, nem sempre é apropriada. Dependendo do tipo de reparo a ser executado, para garantir a aderência do material, concretos e argamassas

convencionais requerem a aplicação de agentes de adesão sobre o substrato. Portanto, concretos e argamassa convencionais nem sempre são a melhor solução para o reparo de defeitos, que estarão sujeitos a esforços de cisalhamento.

b) Concretos e Argamassas de Endurecimento Rápido e Alto Ganho de Resistência Inicial:

São materiais compostos pela mistura de cimentos especiais, ricos em aluminatos, com agregados miúdos e graúdos. Diferentemente do cimento Portland, que é obtido pela moagem de gesso e clínquer, os cimentos aluminosos são obtidos por um processo de fusão a altas temperaturas (em torno de 1600°C) de calcário e bauxita.

As características principais dos cimentos aluminosos são: a) alta reatividade; b) ganho de resistência à compressão em tempo reduzido; e c) resistência ao ataque de sulfatos. Com relação ao ganho de resistência à compressão, os materiais à base de cimentos aluminosos atingem, em 24 horas, valores que, com a utilização de cimento Portland, somente seriam alcançados aos 28 dias. O quadro 5.5 representa as diferenças entre as características do cimento Portland e dos cimentos aluminosos.

Característica	Cimento Portland	Cimento Aluminoso
Teor de Al_2O_3	4,5% a 7,0%	50%
Teor de SiO_2	20% a 23%	33%
Teor de Fe_2O_3	2,0% a 3,5%	10%
Teor de TiO_2	-	3%
Resistência à Compressão	14 MPa (1 dia)*	46 MPa (1 dia)
	24 MPa (3 dias)*	52 MPa (3 dias)
Tempo de Pega	Início: 30 a 60 minutos**	Início: 40 minutos
	Final: 5 a 10 horas**	Final: 10 horas

Quadro 5.5: diferenças entre as características do cimento Portland e dos cimentos aluminosos.

* - valores referem-se ao cimento Portland ARI.

** - valores referem-se aos cimentos Portland de pega normal.

Os cimentos aluminosos liberam grande quantidade de calor durante o seu processo de hidratação, que é tanto maior quanto maior for o volume envolvido na sua aplicação. Devido a essa característica, quando aplicados com espessuras superiores a 50mm, os cimentos aluminosos são susceptíveis a sofrerem fissuração.

A compatibilidade de aderência dos cimentos aluminosos é excelente, e sua utilização dispensa o uso de agentes de adesão sobre o substrato. O mesmo se pode dizer da sua compatibilidade mecânica, uma vez que suas resistências à compressão e à tração são bem superiores às do concreto do substrato. No entanto, a compatibilidade dimensional dos cimentos aluminosos não é muito apropriada, pois, se aplicados em espessuras elevadas, sofrem assentadas fissurações por retração.

c) Concretos e Argamassas Modificados por Polímeros:

Argamassas e concretos modificados são materiais, em que parte do cimento é substituída por um polímero orgânico (cerca de 10 a 15% em peso), cuja polimerização é incorporada pela mistura, o que faz melhorar as propriedades mecânicas e químicas das argamassas e dos concretos, da seguinte forma: a) aumenta a resistência à tração e compressão; b) aumenta a capacidade de deformação dos materiais; c) diminui a permeabilidade; e d) aumenta a aderência ao substrato.

Segundo OHAMA (19), os polímeros utilizados em argamassas e concretos podem ser divididos em 4 tipos principais, quais sejam: a) polímeros de látex (ou polímeros em dispersão); b) polímeros em pó, redispersos; c) polímeros solúveis em água; e d) polímeros líquidos. O quadro 5.6 apresenta os tipos de polímeros mais utilizados na modificação de argamassas e concretos:

Polímeros Látex	Elastoméricos	- Borracha natural	- (SBR)
		- Borracha sintética	- Cloroprene
	Termoplásticos	- Éster Poliacrílico	
		- Acetato de Polietileno Vinil (EVA)	
	Termofixos	- Resina de Epóxi	
Polímeros em Pó Redispersos	Acetato de Polietileno Vinil (EVA) e Acetato de polivinila		
Polímeros Solúveis em Água	Álcool de Polivinila (PVA) e Acrilatos		
Polímeros Líquidos	Resinas de Epóxi e Resina de Poliester não Saturado		

O quadro 5.6: polímeros usados na modificação de argamassas e concretos. Fonte: OHAMA (19).

Cada um desses polímeros atua de maneira diferente, incorporando às argamassas e aos concretos propriedades físicas específicas. Assim, por exemplo, os polímeros látex-acrílicos promovem uma boa resistência do concreto à água; aumentam a aderência do material de reparo ao concreto antigo do substrato; aumentam a resistência do concreto às variações térmicas; e melhoram a aderência entre a pasta de cimento e os agregados. Os polímeros de látex-estireno, por sua vez, aumentam a resistência à compressão das argamassas e dos concretos.

Quanto à sua compatibilidade mecânica e dimensional, os concretos e as argamassas modificados são muito versáteis, pois, dependendo do tipo de polímero utilizado na sua mistura, esses materiais podem sofrer maior ou menor retração, e podem apresentar maior ou menor ganho de resistência. No tocante à sua compatibilidade de aderência, normalmente, os cimentos modificados por polímeros dispensam a utilização de agentes de adesão sobre o substrato.

5.3.2. Materiais de Reparo à Base de Concretos e Argamassas Poliméricas.

Argamassas e concretos poliméricos são misturas nas quais o ligante, em vez de cimento, é totalmente constituído por polímeros orgânicos sintéticos. Portanto, a argamassa polimérica resulta da mistura de agregados minerais finos (areias, quartzo etc.) com uma resina sintética; e o concreto polimérico, da mistura de agregados graúdos (pedra britada, seixos etc.) com resinas sintéticas.

No entanto, a utilização de resina sintética, como ligante, faz com que as argamassas e os concretos poliméricos tenham um custo muito mais elevado que o dos materiais de base cimentícia. Seu emprego é feito, normalmente, em reparos que envolvam pequenos volumes de materiais; em situações em que a necessidade de liberação do pavimento ao tráfego justifica o seu custo elevado; e em reparos nos quais o emprego de misturas cimentícias é totalmente inadequado.

Segundo BLAGA & BEAUDOIN (20), são quatro os tipos mais usuais de resinas (polímeros) empregadas em argamassas e concretos poliméricos: a) resinas à base de metacrilato; b) resinas à base de poliéster; c) resinas à base de álcool furânico; e d) resinas à base de epóxi.

As argamassas e os concretos poliméricos têm excelentes propriedades mecânicas, resistência química e baixa absorção de água, e seu desempenho é bem superior ao dos materiais de base cimentícia. No quadro 5.7 são apresentadas as características das argamassas e dos concretos, em função do tipo de ligante utilizado.

Tipo de Mistura	Densidade (gr/cm ³)	Resistência à Compressão (MPa)	Resistência à Tração (MPa)	Resistência à Flexão (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Coefficiente de Expansão Térmica (10 ⁶ C ⁻¹)
Argamassa e Concreto a base de Metacrilato	2,0 – 2,4	70 – 210	9 – 11	30 35	35 – 40	10 – 19
Argamassa e Concreto a base de Poliester	2,0 – 2,4	50 – 150	8 – 25	15 – 45	20 – 40	10 – 30
Argamassa e Concreto a base de Epóxi	2,0 – 2,4	50 – 150	8 – 25	15 – 50	20 – 40	10 - 35
Concreto de Cimento Portland	1,9 – 2,5	13 - 35	1,5 – 3,5	2 – 8	20 - 30	10 - 12

Quadro 5.7: características das argamassas e concretos em função do tipo de ligante utilizado.

Fonte: BLAGA & BEAUDOIN (20).

No Brasil, o emprego das resinas epoxídicas, como ligantes, ou agentes de adesão, é muito difundido, e seu custo, embora elevado, em relação ao dos produtos cimentícios, viabiliza a sua utilização no reparo de diversos tipos de defeitos, ocorrentes em pavimentos de concreto. Os demais tipos de polímeros, apresentados no quadro 5.7, são utilizados em tratamentos superficiais, coberturas, tratamentos resistentes ao ataque químico etc.

Com relação ao desempenho dos materiais poliméricos, é sempre elevada a sua compatibilidade mecânica, dimensional e de aderência com o substrato, desde que este receba um bom tratamento preliminar. Via de regra, as resinas sintéticas são muito sensíveis à poeira e umidade, cuja presença, sobre a superfície a ser reparada, pode prejudicar o desempenho do produto. A presença de poeira quase sempre diminui a aderência do material, e a presença de umidade tanto pode prejudicar a aderência, como interferir na reação de polimerização do material.

Alguns materiais poliméricos têm utilização bem específica. É o caso dos selantes, ou mástiques elastoméricos, compostos por polisulfetos, poliuretano, acrílico, asfaltos modificados,

silicone etc. Sua utilização como material de reparo em pavimentos de concreto resume-se a algumas aplicações específicas, tais como: selagem de juntas transversais e longitudinais, e selagem de trincas e fissuras.

As propriedades mecânicas dos mástiques variam de acordo com o polímero utilizado na sua composição. Exemplificando: os mástiques à base de polímeros de poliuretano têm maior capacidade de alongamento e durabilidade que os compostos por materiais betuminosos. As características desejáveis nos mástiques, para aplicação em pavimentos de concreto, são: alta capacidade de alongamento; elevada resistência à abrasão; resistência ao ataque dos raios ultravioleta; alta capacidade de aderência ao concreto; elevada resistência ao rasgo; viscosidade suficiente para torná-lo um material auto-nivelante.

6. REPARO DOS DEFEITOS OCORRENTES EM PAVIMENTOS DE CONCRETO.

6.1. ESPECIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DE REPARO.

A correta especificação dos materiais a serem utilizados nos reparos dos pavimentos de concreto não deve considerar apenas as compatibilidades mecânica, de aderência e dimensional desses materiais, mas, também, o tipo de defeito a ser reparado e, principalmente, o desempenho do material de reparo, a curto, médio e longo prazos. No entanto, esse desempenho nem sempre depende, apenas, da qualidade do material utilizado no reparo. Na especificação dos materiais de reparo, há que se vislumbrar, ainda, a interação desses materiais com o restante da placa de concreto, de tal modo que um e outro, somados, formem uma espécie de "sistema", cujo desempenho final implique a maior durabilidade do pavimento reparado.

EMMONS & VAYSBURG (21), ao definirem o conceito de "sistema", tomam de empréstimo as seguintes palavras do filósofo grego Aristóteles (350 a.C.): *“o todo é muito mais que apenas a soma dos componentes”*.

Aplicar esse conceito ao reparo dos pavimentos de concreto é ter em mente que importa mais como a estrutura da placa irá se comportar, como um todo, após o reparo, e, menos, a qualidade de cada um dos materiais de reparo empregados.

O conceito de sistema deve ser considerado nas três fases que envolvem o reparo de um pavimento de concreto, quais sejam: a) fase de projeto; b) fase de construção; e c) fase de operação do pavimento reparado.

- a. Projeto: nessa fase, o levantamento das condições de operação do pavimento é fundamental para o desempenho futuro do sistema pavimento-reparo, devendo ser considerados: as cargas e os demais fatores externos, que podem afetar o desempenho do pavimento e do reparo; a especificação dos materiais de reparo com melhor compatibilidade ao substrato; a especificação dos procedimentos dos serviços de reparo etc.
- b. Construção: nessa fase, os procedimentos utilizados; a qualidade da mão-de-obra e os equipamentos adequados; o preparo correto das superfícies; e as condições de cura dos reparos são os fatores que determinarão o desempenho do sistema pavimento-reparo.
- c. Operação: finalmente, nessa fase é que ocorrem as condições reais de uso do sistema pavimento-reparo. Sobrecargas não previstas na fase de projeto; condições de exposição diferentes daquelas consideradas no projeto etc., são fatores que influenciam diretamente o bom desempenho do sistema pavimento-reparo.

EMMONS & VAYSBURG (21) estabeleceram uma curva, que representa a influência de cada uma dessas fases sobre a durabilidade e o desempenho do reparo em estruturas de concreto convencionais. O mesmo conceito, no entanto, pode ser aplicado a um pavimento de concreto, uma vez que este comporta-se de maneira similar à uma estrutura convencional. A figura 6.1 ilustra a influência das fases do reparo e a sua durabilidade.

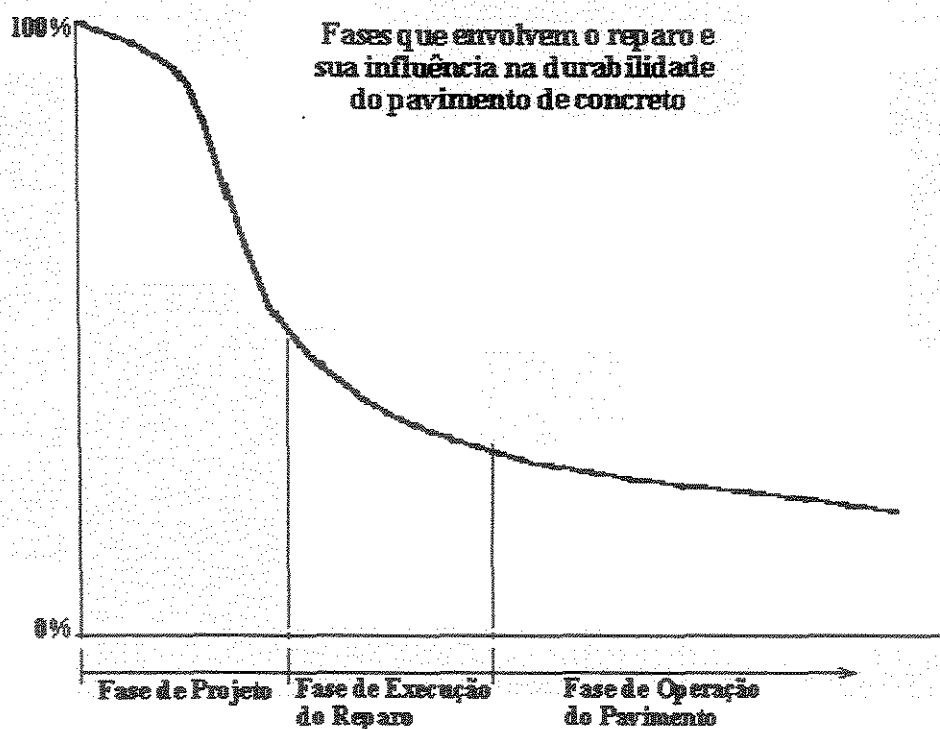


Figura 6.1: influência das fases do reparo e a durabilidade do sistema pavimento-reparo.

Fonte: EMMONS & VAYSBURG (21)

A figura 6.1, proposta por EMMONS & VAYSBURG (21), permite concluir que a durabilidade do reparo resulta da correta especificação dos materiais na fase de projeto. Nas demais fases, de construção e de operação, o desempenho do sistema pavimento-reparo decorre das premissas adotadas no projeto.

Com relação ao projeto, cabe destacar que é prática comum, no meio técnico, dar-se maior importância à especificação de materiais, que têm ganho de resistência à compressão a curtíssimo prazo. Entretanto - e apesar de todas as características de compatibilidade dos materiais importarem na durabilidade do reparo e, conseqüentemente, na durabilidade do sistema pavimento-reparo -, a especificação desses materiais, considerando-se, apenas, altos valores de resistência à compressão, em detrimento das demais propriedades, pode ser um erro grave.

A esse respeito, autores como MORGAN (16); DECTER & KEELEY (17); e EMMOS & VAYSBURG (21) atribuem à capacidade de retração, sem sofrer fissuração, a característica mais desejável de um material de reparo.

Essa afirmativa foi comprovada em pesquisa desenvolvida por DECTER & KEELEY (17), na qual realizaram-se ensaios de desempenho, com amostras de argamassas confeccionadas com cimento modificado com polímeros. A primeira amostra, denominada HBPM 25 (High Build Polymer Modified), apresentou, aos 28 dias, uma resistência à compressão equivalente a 25Mpa; a segunda amostra, denominada HBPM 40 (High Build Polymer Modified), apresentou, também aos 28 dias, uma resistência à compressão equivalente a 40MPa. Verificou-se, ao final dos ensaios, que o desempenho da HBPM 25, por ter sofrido menor retração, foi melhor que o da HBPM 40. Além da menor retração, a HBPM 25 apresentou permeabilidade satisfatória, e, assim como a HBPM 40, sua aderência ao substrato (concreto antigo) foi maior que 0,80N/mm², valor este estabelecido pela norma ASTM C157.

De fato, os artigos técnicos internacionais, pesquisados no desenvolvimento do presente trabalho, ressaltam que o fator que mais afeta o desempenho de um material de reparo, e do próprio pavimento de concreto, é a ocorrência de fissurações plásticas dos materiais. Esse fato leva à conclusão de que os materiais mais indicados são sempre aqueles que apresentam menor retração, pois a maioria dos defeitos ocorrentes em pavimentos de concreto tem a sua origem no agravamento de fissuras superficiais.

Os manuais de aplicação e informativos técnicos dos produtos de reparo disponíveis no Brasil nem sempre referem-se ao comportamento dos materiais quanto à sua retração, enfatizando, contudo, a sua resistência à compressão. Mesmo em outros países, algumas vezes, as informações fornecidas pelos fabricantes devem ser vistas com certa reserva. Um exemplo claro é o dos ensaios realizados por MORGAN (16) com 46 tipos de produtos fabricados no Canadá, dentro de um programa de avaliação de materiais de reparo, promovido pelo Ministério dos Transportes daquele país. Ao final dos ensaios, verificou-se que apenas 15% dos produtos testados apresentaram retração térmica abaixo de 0,05% em relação ao substrato, valor este estabelecido pela Norma ASTM C157. Alguns dos produtos, inclusive, sofreram retração térmica duas vezes maior que o máximo estabelecido pela mencionada norma.

6.2. PRODUTOS PARA REPARO DISPONÍVEIS NO MERCADO BRASILEIRO.

Com exceção do cimento Portland, o mercado dos materiais específicos para reparo de pavimentos de concreto é dominado por duas empresas multinacionais, com unidades no Brasil, quais sejam: a FOSROC (22), de origem inglesa, e a MASTER BUILDERS (23), de origem alemã.

Com pequenas variações, os produtos fabricados por essas empresas apresentam características bastante similares. O quadro 6.1 relaciona os tipos de produtos fabricados por cada empresa, suas características principais e seus nomes comerciais. Os dados referentes ao comportamento dos materiais, quanto à retração, foram omitidos do quadro em referência, uma vez que essas informações nem sempre constam dos catálogos técnicos das empresas citadas.

Fabricante	Nome Comercial	Propriedades	Índices (Mpa)
Argamassas com cimentos modificados com Polímeros			
Fosroc Reax	Renderoc S2	- Compressão (3 dias) - Resistência a tração na flexão	- 16Mpa - 13Mpa
	Renderoc LA	- Resistência a compressão (1 dia) - Resistência a tração na flexão - Módulo de deformação	- 20Mpa - 10Mpa - 33Gpa
Master Builder	Emaco T430	- Compressão (3hs) - Compressão (1 dia) - Tração (1 dia) - Aderência cisalhamento normal - Aderência cisalhamento oblíquo - Aderência na tração - Módulo de elasticidade (28 dias)	- 6,8MPa - 31MPa - 4MPa - 3,1MPa - 23,2MPa - 2MPa - 35GPa

Fabricante	Nome Comercial	Propriedades	Índices (Mpa)
Argamassas Poliméricas (Resinas Sintéticas Orgânicas) a Base de Epóxi			
Fosroc Reax	Nitomortar PE	- Resistência a compressão (24hs)	- 50MPa
Master Builder	Masterflow 928	- Resistência a compressão (1 dia)	- 28,3Mpa
Argamassas com Cimentos Especiais de Alto Desempenho			
Fosroc Reax	Patchroc	- Resistência a compressão (2hs)	- 20MPa
		- Resistência a tração na flexão	- 20MPa
		- Resistência a tração	- 10MPa
Master Builder	Masterpatch 30	- Resistência a compressão (1 dia)	- 21MPa

Quadro .6.1: tipos de produtos fabricados no Brasil, suas características, empresas fabricantes e nome comerciais. Fontes: FOSROC (22) e MASTER BUILDER.(23)

Se tomadas como verdadeiras as informações fornecidas pelos fabricantes, da análise do quadro 6.1 é possível concluir-se que, com algumas exceções, os desempenhos dos produtos lá especificados são bem próximos entre si. No entanto, para serem confiáveis, tais informações deveriam ser aferidas pela equipe técnica da área de pavimentação de órgão competente e independente - como, por exemplo, o DNER. Só dessa forma a especificação dos materiais de reparo poderia ser feita a partir de fontes insuspeitas, e não, apenas, com base nas informações fornecidas pelos fabricantes. As literaturas consultadas para o desenvolvimento do presente trabalho revelam que o CERL (24), dos EUA, realizou ensaios de desempenho com vários materiais fabricados naquele país, e emitiu uma série de notas técnicas sobre os resultados obtidos. A experiência americana demonstra que, além da comprovação do desempenho dos materiais, os ensaios realizados por órgão independente também podem trazer benefícios do ponto de vista econômico. Apesar de os materiais serem similares, seu preço varia de um fabricante para outro. Portanto, a partir de ensaios independentes, seria possível comprovar-se que nem sempre o material mais caro é o que apresenta melhor qualidade. No presente trabalho, assumiu-se que todos os produtos pesquisados no mercado nacional têm boa qualidade e, devido à diferença de preços entre os fabricantes, optou-se pela utilização de preços médios, cujos valores estão apresentados no quadro 6.2.

Tipo de Material	Preço Médio (R\$/m³)*
Concreto de cimento Portland Comum	296,00
Argamassas modificadas com polímeros	2.180,00
Argamassas especiais a base de cimento aluminoso e cargas minerais	5.600,00
Resinas epoxídicas reparo ou agente de adesão	38.600,00
Mástiques elastomérico de poliuretano	44.200,00

* *Condição econômica: agosto/2001.*

Quadro 6.2: preços médios dos produtos de reparo de pavimento de concreto

6.3. PROCEDIMENTOS PARA O REPARO DOS DEFEITOS OCORRENTES EM PAVIMENTOS DE CONCRETO.

Embora todos os defeitos ocorrentes em pavimentos de concreto mereçam os devidos cuidados, no que toca ao acompanhamento de sua evolução e reparo, optou-se, na presente pesquisa, por conferir-se destaque àqueles que maiores danos causam aos pavimentos, ou seja, os defeitos de ordem estrutural.

Os reparos desses defeitos tanto podem ser executados com os materiais usuais, confeccionados à base de cimento Portland, como com o emprego dos materiais especiais, de alto desempenho, descritos no capítulo 5 deste trabalho.

O presente capítulo, portanto, apresenta os procedimentos para a recuperação e manutenção de pavimentos de concreto adotados no Brasil, definidos pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER).

As metodologias de reparo, estabelecidas pelo DNER, constam de um conjunto de especificações, denominado DNER-ES 328/97 (25), e que classifica os reparos dos pavimentos

de concreto segundo as dimensões dos defeitos. Assim, os reparos podem, ou não, atingir toda a espessura da placa de concreto do pavimento, como também, podem, ou não, atingir toda a largura da placa.

As metodologias, os procedimentos e os materiais empregados nos reparos de pavimento de concreto variam de acordo com os tipos de defeitos; com o tempo necessário para a liberação do pavimento ao tráfego; com as verbas disponíveis para a execução dos serviços; e com a durabilidade desejada para os reparos.

A presente pesquisa não considerou reparos de caráter paliativo, como, por exemplo, tapa-buracos com massa asfáltica, ou remendos executados com concreto de cimento Portland, sem qualquer critério específico, que garanta a durabilidade do reparo.

6.3.1. Reparos dos Defeitos de Ordem Estrutural que Não Afetam Toda a Espessura da Placa de Concreto.

O reparo dos defeitos de ordem estrutural que não afetam toda a espessura da placa implica demolições parciais das placas de concreto, e envolve, via de regra, volumes reduzidos de serviço e material de recomposição. Os defeitos mais comuns, enquadrados nessa categoria, são os esborcinamentos de juntas e as fissuras lineares, que podem, ou não, atingir toda a largura da placa de concreto. Os procedimentos usuais para o reparo desse defeitos são:

a) Esborcinamento de Juntas:

Para o caso de esborcinamento de juntas, as especificações DNER-ES 328/97 (25) recomendam os seguintes procedimentos de reparo: a) demolição e remoção das partes soltas do concreto; b) limpeza enérgica das superfícies remanescentes das regiões demolidas; c) aplicação de pintura de ligação à base de epóxi; e d) aplicação de concreto com consumo mínimo de

cimento igual a 350Kg/m^3 , e posterior processo de cura química, nas primeiras horas, e cura com pano úmido até o 7º dia. Opcionalmente, as especificações DNER-ES 328/97 (25) sugerem que se possam utilizar argamassas estruturais autonivelantes, as quais devem ser aplicadas segundo as orientações fornecidas por seus fabricantes. A figura 6.2 ilustra a seqüência da execução do reparo.

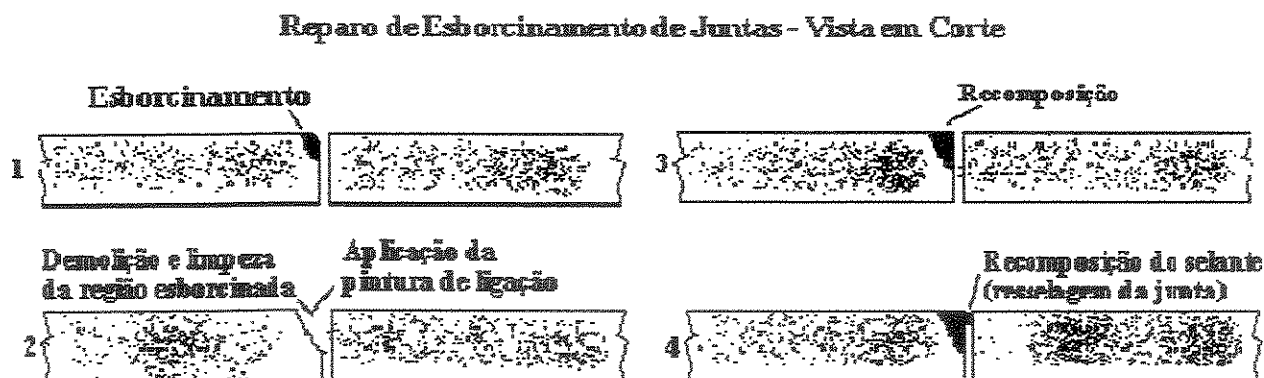


Figura 6.2: representação da recomposição de juntas esborcinadas

As argamassas autonivelantes, sugeridas pelas especificações DNER-ES 328/97 (25), constituem-se, na verdade, de materiais compostos a partir de resinas sintéticas orgânicas, mais especificamente, das resinas epoxídicas bi-componentes, que podem ser encontradas no mercado, prontas para utilização, e que, apesar de sua excelente qualidade e desempenho, devem ser adotadas com reservas, devido ao seu alto custo.

As especificações DNER-ES 328/97 (25) não mencionam a necessidade de se executar a resselagem das juntas após a recomposição das bordas esborcinadas. Essa providência, no entanto, é muito importante, uma vez que os esborcinamentos podem ser ocasionados, justamente, pela ausência de selantes nas juntas.

Além dos concretos, das argamassas convencionais, e das argamassas autonivelantes, sugeridos pelas especificações DNER-ES 328/97 (25), podem-se utilizar os materiais compostos por cimentos aluminosos para o reparo dos esborcinamentos das juntas. O quadro 6.3 apresenta os materiais que podem ser utilizados no reparo de juntas esborcinadas, suas vantagens e desvantagens.

Tipo de Material	Composição Básica	Vantagens	Desvantagens
Base Cimentícia	Concreto convencional	- Baixo custo - Fácil aplicação - Boa compatibilidade dimensional e mecânica	- Requer interdição do tráfego por 3 dias - Requer utilização de agente de adesão - Baixa compatibilidade de aderência
	Concreto modificado com Polímero	- Custo razoável - Fácil aplicação - Boa compatibilidade de aderência, dimensional e mecânica	- Liberação do tráfego em 24hs - Dependendo do polímero, pode requerer uso de agente de adesão
	Concreto a base de cimentos aluminosos	- Permite a liberação do tráfego em poucas horas - Excelente compatibilidade mecânica e de aderência	- Custo elevado - Baixa compatibilidade dimensional (susceptível a fissurações) - Aplicável em defeitos de baixa espessura
Resinas Sintéticas	Argamassa a base de epóxi	- Permite a liberação do tráfego em poucas horas - Excelente compatibilidade dimensional, mecânica e de aderência	- Custo elevado

Quadro 6.3: materiais que podem ser utilizados no reparo de juntas esborcinadas.

Quanto aos procedimentos propostos pelo CERL (24), dos EUA, não se referem aos esborcinamentos de juntas propriamente ditos, mas, sim, aos reparos que, de modo geral, envolvem demolição e recomposição de partes do concreto da placa. As etapas executivas -

demolição, limpeza, recomposição etc. - são as mesmas. No entanto, a nota técnica CERL (24) apresenta todos os tipos de materiais que podem ser utilizados, e discrimina os dados técnicos, as vantagens e as desvantagens de cada tipo de material, cabendo, portanto, ao especificador optar por aquele que melhor atenda às necessidades e limitações do reparo.

b) Fissuras Lineares:

No caso dos reparos das fissuras lineares que não atingem toda a espessura da placa de concreto, as especificações DNER-ES 328/97 (25) recomendam procedimentos que variam de acordo com a configuração das fissuras. Para o reparo de fissuras com abertura até 1,0mm, as especificações DNER-ES 328/97 (25) recomendam a limpeza e a injeção de resina à base de epóxi para a selagem de fissuras passivas, e a utilização de selantes elastoméricos para a selagem de fissuras ativas. Cabe, aqui, ressaltar que fissuras passivas são, geralmente, causadas por retrações plásticas do concreto, devido à deficiência do processo de cura, enquanto as fissuras ativas são causadas por movimentações estruturais resultantes da deficiência do suporte da fundação, ou por sobrecargas excessivas não previstas em projeto. As fissuras passivas têm abertura constante, enquanto a abertura das fissuras ativas varia em função da temperatura, das cargas incidentes etc. O quadro 6.4 apresenta os agentes provocadores de fissurações, segundo o CERL (24) (REMR Technical Note CS-MR-3.1).

Agente Provocador da Fissuração	Tipo de Fissura Provocada	
Carga acidentais não previstas em projeto		Passiva
Erro de Projeto (subdimensionamento)	Ativa	
Tensões provocadas por variações térmica acentuadas	Ativa	
Corrosão das armaduras	Ativa	
Recalque da fundação	Ativa	Passiva
Reação álcali - agregado	Ativa	
Procedimentos inadequados na construção (cura inadequada, etc.)		Passiva

Quadro 6.4: agentes provocadores de fissurações. Fonte: CERL (24).

Quando a abertura das fissuras é maior que 1,0mm, as especificações DNER-ES 328/97 (25) recomendam os seguintes procedimentos: a) execução de corte mecanizado, em cada lado e ao longo das fissuras, com 25mm de profundidade e 30mm de espaçamento; b) retirada do concreto entre os cortes; e c) limpeza e recomposição com selante moldado *in loco*, a frio ou a quente, ou com selante pré-moldado.

Cabe ressaltar que, a despeito de as especificações DNER-ES 328/97 (25) considerarem a utilização de selantes pré-moldados para a vedação das fissuras, tal opção pode não ser muito apropriada, dada a dificuldade de execução e o alto custo inerentes a esse tipo de material. Selantes pré-moldados são, geralmente, compostos por perfis de neoprene, cuja aplicação requer a perfeita regularização dos bordos, por meio de resinas epoxídicas (lábios poliméricos), e sua posterior colagem com adesivo epóxi. A figura 6.3 apresenta a sequência de serviços que envolvem o reparo de fissuras lineares.

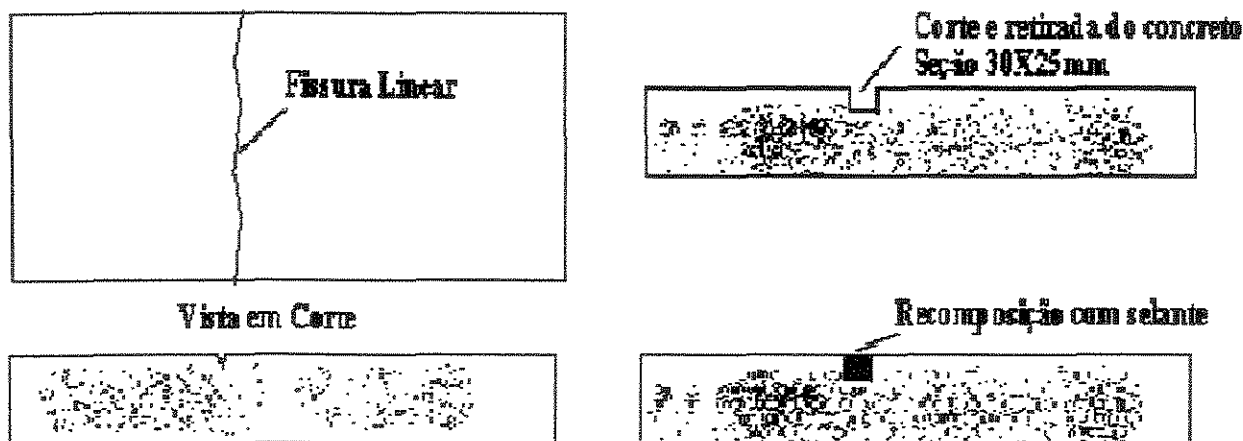


Figura 6.3: reparo de fissuras lineares superficiais

O quadro 6.5 apresenta os materiais disponíveis para o reparo de fissuras lineares.

Tipo de Material	Composição	Vantagens	Desvantagens
Injeção com Epóxi	Polímeros sintéticos orgânicos a base de epóxi	- Aplicação simples - Elevada aderência ao concreto do substrato - Baixo custo, pois envolve pouca quantidade de material - Alta resistência a abrasão	- Material rígido - Não absorve movimentações estruturais. Indicado apenas para fissuras passivas
Mástiques Elastoméricos	Polímeros a base de poliuretano	- Aplicação simples - Elevada aderência ao concreto do substrato - Baixo custo, pois envolve pouca quantidade de material - Pode ser aplicado tanto em fissura ativas quanto passivas	- Resistência a abrasão menor que as resina epoxídicas
Mástiques Elastoméricos	Materiais a base de asfalto oxidado	- Baixo custo	- Sofre oxidação quando exposto aos raios ultravioleta. Perde flexibilidade rapidamente. - Baixa resistência a abrasão. - Deve ser aplicado a quente. Necessita ser fundido no local

Quadro 6.5: materiais para selagem de fissuras lineares

6.3.2. Reparos dos Defeitos de Ordem Estrutural que Afetam Toda a Espessura da Placa de Concreto.

Os defeitos de ordem estrutural que afetam toda a espessura da placa são os que mais danos causam ao pavimento, e seu reparo implica a demolição e reconstrução de áreas maiores das placas de concreto; conseqüentemente, envolve custos mais elevados. Dependendo do tipo de defeito, muitas vezes é mais razoável que a placa seja totalmente demolida e reconstruída. Dentro dessa categoria de defeitos, encontram-se as fissuras lineares em alto grau de severidade, as placas divididas e as quebras de canto, cujos procedimentos de reparo serão descritos a seguir.

a) Reparo de Fissuras Lineares em Alto Grau de Severidade:

Fissuras lineares em alto grau de severidade caracterizam-se por terem abertura superior a 10mm, medida na superfície da placa, e seus bordos podem apresentar esborcinamento. Em casos mais extremos, ocorre a formação de degraus entre os dois bordos da fissura.

As especificações DNER-ES 328/97 (25) sugerem duas metodologias de reparo. A primeira envolve os seguintes procedimentos: a) corte do concreto em duas linhas paralelas à fissura, utilizando disco de corte, numa faixa de 1m de largura (0,5 m para cada lado, em relação ao eixo longitudinal da fissura); b) demolição do concreto na faixa de 1m; c) retirada das partes demolidas e recomposição da sub-base; d) limpeza dos bordos da região demolida; e) instalação de dispositivo de transferência de cargas entre as partes remanescentes do concreto; f) aplicação de agente de adesão nos bordos limpos; e g) recomposição da parte demolida com concreto. O concreto de recomposição deverá ter baixo fator água / cimento, e resistência, no mínimo, igual à do concreto existente. Além disso, as especificações DNER-ES 328/97 (25) recomendam a abertura de uma junta transversal de retração na área reparada. Os procedimentos da segunda metodologia proposta pelas especificações DNER-ES 328/97 (25) são similares aos da primeira. A diferença é que, em vez de barras de transferência, utiliza-se uma malha de aço como armadura de retração. A figura 6.4 apresenta a seqüência de serviços que envolvem o reparo das fissuras que atingem toda a espessura da placa.

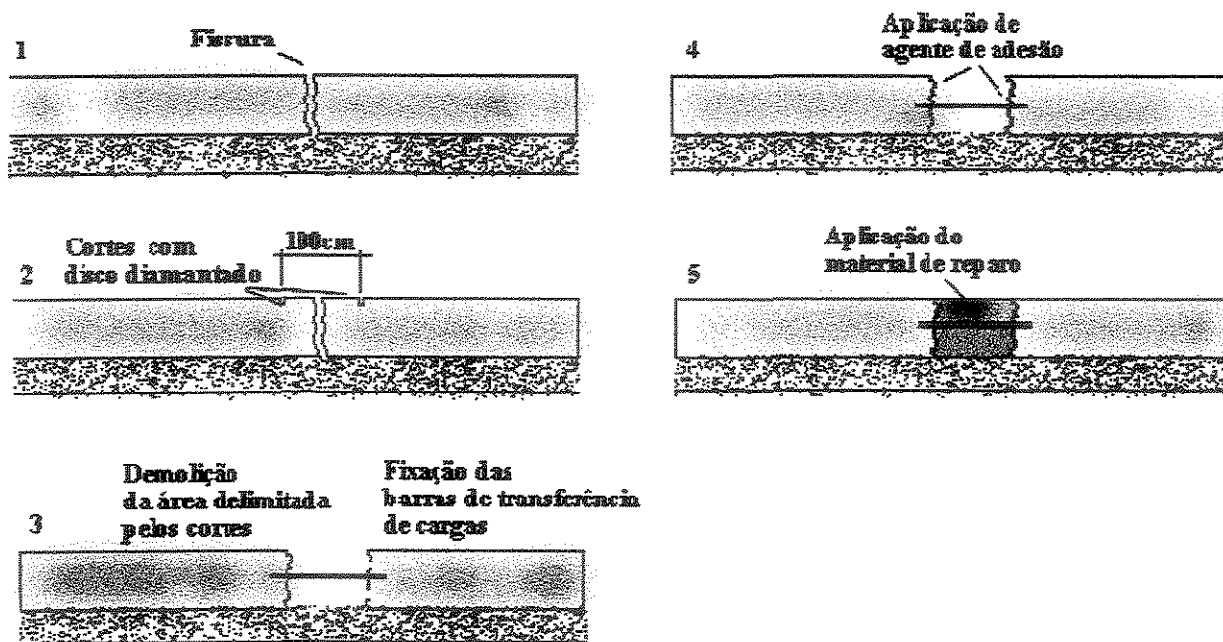


Figura 6.4: sequência de serviços que envolvem o reparo das fissuras que atingem toda a espessura da placa.

b) Placas Divididas e Quebras de Canto:

Placas divididas e quebras de canto são reparadas de maneira análoga às fissuras que atingem toda a espessura da placa. No entanto, não se faz necessária a delimitação da área de demolição, por meio de corte com disco diamantado, uma vez que esses defeitos são caracterizados pelas partes soltas do concreto. Portanto, a demolição resume-se na retirada de partes que já não mais estão solidárias ao restante do concreto da placa. Dependendo, contudo, do número de partes nas quais a placa está dividida, por uma questão de custos, torna-se mais vantajosa a demolição total da placa e a sua posterior reconstrução com concreto convencional, confeccionado com cimento Portland de alta resistência inicial. Segundo o autor (26), em reparos cujos volumes são superiores a $0,25\text{m}^3$, é sempre mais econômica a reconstrução de toda a placa de concreto de cimento ARI. Essa questão será abordada com maior detalhe no capítulo 7 do presente trabalho.

7. MANUTENÇÃO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO.

7.1. INTRODUÇÃO.

O principal objetivo da manutenção de um pavimento, seja ele flexível ou de concreto, é mantê-lo, o tanto quanto possível, com o seu índice de servicibilidade original. Segundo BENT (27), a manutenção refere-se à conservação das condições originais de projeto do pavimento, bem como do sistema de sinalização e de drenagem; dos acostamentos etc., tudo com vistas a minimizar, para a sociedade, os custos com a operação de veículos; os custos provocados por acidentes; e os próprios custos de conservação do pavimento.

Preferencialmente, a conservação dos pavimentos deveria ser feita por meio de manutenções periódicas, de caráter preventivo.

O presente capítulo, portanto, aborda aspectos da manutenção de pavimentos e apresenta a importância da implantação de sistemas de gerência de pavimentos, a partir dos quais seja possível estabelecer modelos de desempenho e estratégias para a conservação dos pavimentos.

7.2. A IMPORTÂNCIA DA GERÊNCIA DE PAVIMENTOS.

A falta de recursos financeiros, comum em quase todos os setores da administração pública, influi também sobre as atividades de pavimentação no Brasil. Uma ferramenta eficaz para a redução da dimensão desse problema é a adoção de um sistema de gerência de pavimentos, com a finalidade de otimizar as atividades de manutenção e alcançar a eficiência dos órgãos gestores dos sistemas viários.

Todavia, um sistema de gerência de pavimentos só pode ser implantado com base na existência de um banco de dados que contenha o acompanhamento sistemático do desempenho do pavimento, ou seja, que contenha o acompanhamento sistemático do seu índice de servibilidade ao longo do tempo. A partir das informações contidas no banco de dados, é possível prever o desempenho futuro do pavimento e, conseqüentemente, planejar as intervenções de manutenção, com antecedência, sejam elas preventivas ou corretivas.

A escassez de dados sobre o desempenho dos pavimentos em operação; a utilização de procedimentos inadequados e ultrapassados de manutenção; a falta de conhecimento técnico; e a falta de controle de qualidade são fatores que agravam o problema da conservação de pavimentos no Brasil. Além desse fatores, as decisões sobre a conservação de pavimentos são, em geral, tomadas de maneira isolada, e, normalmente, são fruto de necessidades emergenciais e de pressões políticas, ou somente se dão quando da completa deterioração do pavimento.

Segundo FERNANDES & ZERBINI (28), o sistema de gerência procura estabelecer um modelo de desempenho do pavimento, baseado nas informações contidas em seu banco de dados, a partir do qual se torna possível prever o desempenho futuro do pavimento e, em conseqüência, planejar com antecedência os serviços e recursos financeiros necessários para a sua manutenção ou reabilitação ao longo do tempo. De maneira geral, a gerência de pavimento começa com a coleta e análise dos dados, e termina com a seleção das estratégias de manutenção e reabilitação, bem como com a previsão orçamentária para o período de análise. Entre essas etapas, tem-se a análise e modelagem do desempenho dos pavimentos, conforme apresentado na figura 7.1.

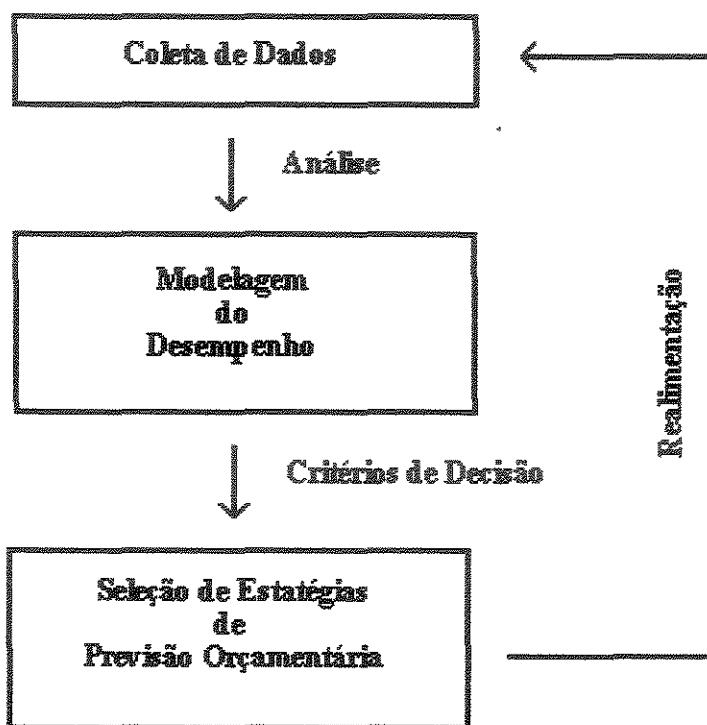


Figura 7.1: etapas da modelagem do desempenho de pavimentos. Fonte: FERNANDES & ZERBINI (28).

7.3. PREVISÃO DE DESEMPENHO FUTURO DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO.

Conforme ressaltado no capítulo 4 do presente trabalho, o estado estrutural (ou servibilidade) de um pavimento de concreto é dado pelo valor do ICP (Índice de Condição do Pavimento), cuja escala varia de 0 a 100, e ao qual são associados conceitos que variam de excelente a destruído.

Um pavimento de concreto, se projetado e construído adequadamente, apresenta ICP elevado e conceito excelente, quando da conclusão de sua construção. Uma vez em operação, no entanto, as solicitações de carga impostas ao pavimento provocam perdas na sua condição estrutural, de modo que seu ICP, ou conceito, vai diminuindo ao longo dos anos. Ocorre, de fato, a deterioração do pavimento de concreto, que pode ser provocada por vários fatores, dentre os quais: projeto estrutural inadequado; subdimensionamento do tráfego; processos construtivos ruins; ausência de controle de qualidade eficaz, na sua construção; sobrecargas superiores às consideradas no seu dimensionamento, etc. Normalmente, os primeiros defeitos aparecem e, quando não tratados em tempo hábil, combinam-se com novos defeitos, provocando o surgimento de outros, e assim por diante. A figura 7.2 apresenta a curva característica de deterioração de um pavimento de concreto, cujo conceito inicial é excelente, e decresce com o tempo. No ponto onde o seu conceito é razoável, a curva apresenta uma intervenção de reabilitação, que eleva o conceito do pavimento novamente a excelente.

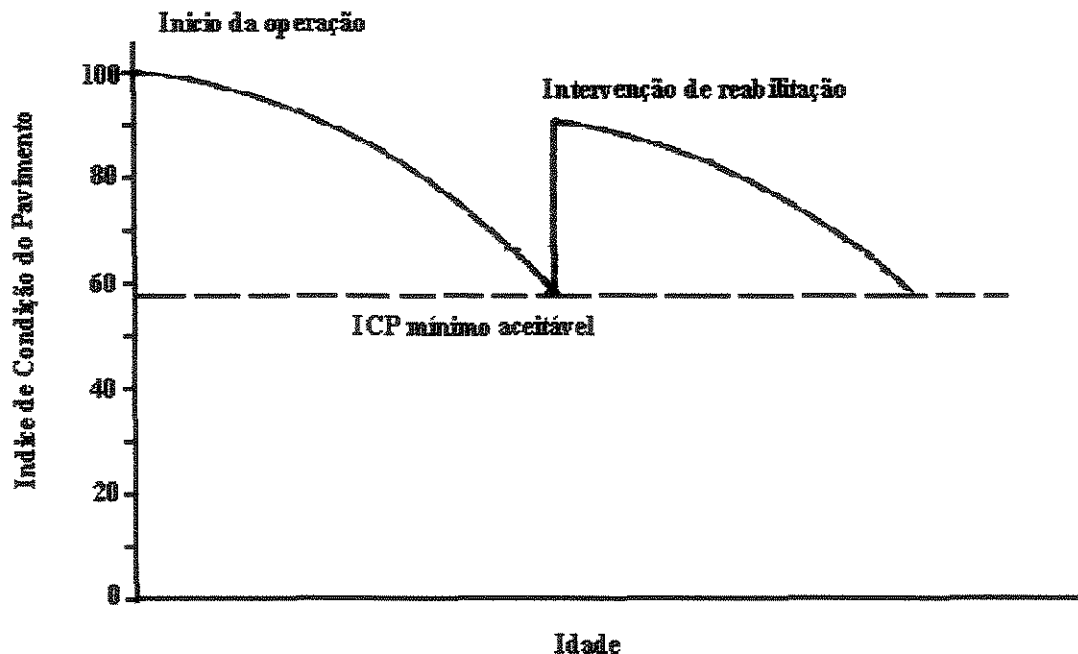


Figura 7.2: curva do decréscimo do ICP em função da idade do pavimento.

Geralmente, todo pavimento, seja ele flexível ou de concreto, apresenta deterioração similar à curva representada na figura 7.2. Para se determinar, então, o desempenho futuro ou a

deterioração futura do pavimento, é necessário conhecer o seu desempenho passado. Ou seja, a curva de deterioração futura deve, preferencialmente, ser estabelecida a partir dos valores do ICP levantados ao longo do tempo, os quais, por sua vez, devem constar do banco de dados do pavimento. Portanto, as inspeções feitas no pavimento é que fornecem as ferramentas necessárias para o estabelecimento de modelos matemáticos de deterioração. GARBER & HOEL (29) sugerem dois modelos matemáticos, quais sejam: os modelos empíricos, ou de regressão direta, e os modelos subjetivos.

Modelos Empíricos ou de Regressão Direta:

Os modelos empíricos, ou de regressão direta, relacionam variáveis dependentes com variáveis independentes. No caso dos pavimentos de concreto, as variáveis dependentes são dadas pelo valor do ICP, e, as independentes, pela idade do pavimento, no momento das inspeções. Então, a partir dos pontos coletados, pode-se determinar, por regressão, a equação da curva de desempenho do pavimento. Obviamente, o grau de precisão dos modelos empíricos depende da quantidade de pontos coletados ao longo da vida do pavimento.

Modelos Subjetivos:

Os modelos subjetivos, segundo FERNANDES & ZERBINI (28), são aqueles que formalizam a experiência de especialistas e engenheiros locais, através de entrevistas, e a utilização de processos de transição.

Para o desenvolvimento dos modelos subjetivos, utiliza-se o processo de Markov, que se baseia na determinação de vetores-estado e na composição de matrizes de probabilidade de transição para cada seção do pavimento, satisfazendo a seguinte propriedade: *"o futuro do processo só depende de sua condição presente"*. Em outras palavras, nos modelos subjetivos, a previsão do desempenho futuro do pavimento é feita a partir do ICP presente, ou, de apenas uma inspeção. No presente trabalho, optou-se por adotar, apenas, os modelos empíricos, ou por regressão direta.

É importante frisar que os sistemas de gerência de pavimentos devem sempre de ser baseados em modelos de desempenho, que forneçam, com a maior precisão possível, o estado futuro do pavimento, pois é a previsão do desempenho que irá definir os tipos de intervenção de manutenção, seus custos e os melhores momentos para a sua execução.

7.4. TIPOS E CARACTERÍSTICAS DA MANUTENÇÃO DOS PAVIMENTOS DE CONCRETO.

As atividades de manutenção dos pavimentos de concreto podem ter caráter corretivo ou preventivo, em função dos tipos de defeito que ocorrem, da periodicidade com que é realizada a manutenção e dos fatores que provocam os danos no pavimento. Segundo BENT (27), as manutenções em pavimentos podem ser classificadas como de rotina, periódicas ou emergenciais, com as seguintes características:

- a) manutenções de rotina: são aquelas que envolvem pequenos serviços de reparo do pavimento, em pontos dispersos, demandando poucos recursos financeiros para a sua execução. Por suas características, as manutenções de rotina são, geralmente, realizadas ao longo do ano, e requerem pouca quantidade de material, mão-de-obra reduzida e utilização de equipamentos leves, implicando, portanto, intervenções de baixo custo.

Em pavimentos de concreto, as manutenções de rotina costumam ser feitas para a selagem de juntas, selagem de fissuras e pequenos reparos superficiais.

- b) manutenções periódicas: são aquelas realizadas em períodos pré determinados - por exemplo, a cada 2 anos -, e envolvem tanto intervenções preventivas quanto corretivas dos defeitos existentes no pavimento. Diferente das de rotina, as manutenções periódicas demandam a utilização de alguns materiais especiais, maior engajamento de mão-de-obra e equipamentos mais pesados.

- c) manutenções emergenciais: são aquelas realizadas em decorrência de agentes deletérios ao pavimento, tais como: desabamentos, danos nos sistemas de drenagem etc. Por serem emergenciais, sempre têm caráter corretivo.

Excetuando-se as manutenções emergenciais, cuja necessidade de realização decorre de fatores não previstos, as demais podem ser associadas ao índice de servicibilidade do pavimento. No caso dos pavimentos de concreto, as manutenções de rotina visam a manter o ICP (Índice de Condição do Pavimento) em valores que representem o conceito do seu estado estrutural entre bom e excelente; e as manutenções periódicas visam a elevar o ICP para conceitos que correspondam ao estado estrutural muito bom ou excelente, quando este chega a descer a razoável, por exemplo. A curva 7.3 apresenta a relação entre o ICP e a periodicidade de manutenção realizada no pavimento.

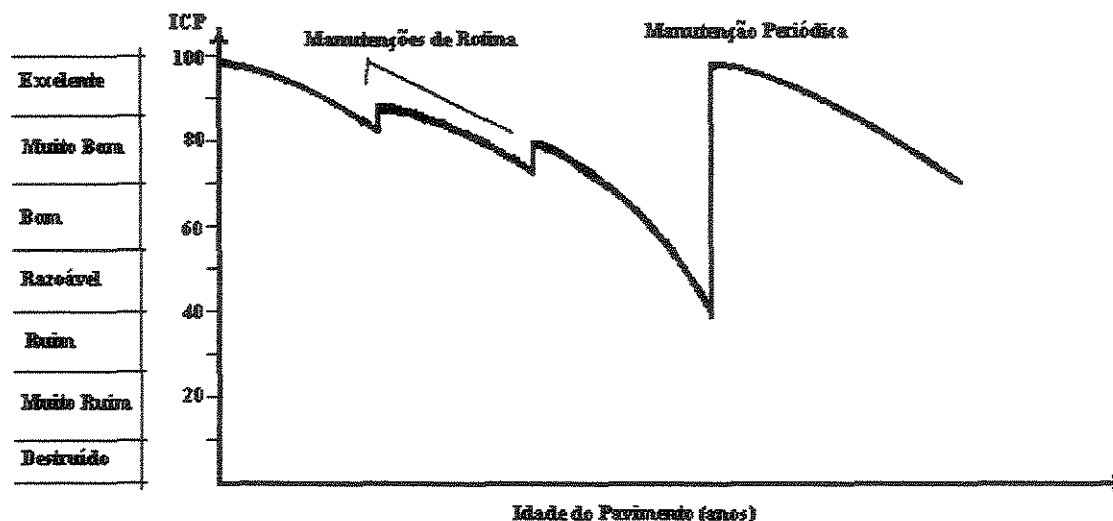


Figura 7.3: curva o ICP do pavimento de concreto em função de sua idade e do tipo de manutenção realizada

Independentemente do tipo de manutenção a ser realizada, a sua execução requer um planejamento preciso. O estabelecimento de uma estratégia, que vise a racionalizar todas as atividades envolvidas no processo, é de suma importância. Essa estratégia envolve a pesquisa das

melhores soluções técnicas para a manutenção do pavimento, além de envolver o levantamento de todos os custos e benefícios referentes aos serviços necessários.

7.5. ESTRATÉGIAS PARA A MANUTENÇÃO E REABILITAÇÃO DE UM PAVIMENTO.

Segundo HUDSON et al (30), o ciclo de vida de um pavimento envolve vários tipos de comportamento em diferentes níveis. O estágio inicial de operação caracteriza-se pelo bom desempenho do pavimento, e as manutenções têm caráter preventivo, podendo, portanto, ser executadas com custos reduzidos. Num segundo estágio, na medida em que o pavimento envelhece, ocorrem perdas na sua condição superficial, tornando-se, pois, necessárias manutenções corretivas de defeitos de ordem funcional, e intervenções para a reabilitação de alguns defeitos de ordem estrutural. Por último, no terceiro estágio, o pavimento atinge um grau de deterioração tal, que se tornam necessárias intervenções pesadas para a correção de defeitos de ordem funcional e estrutural, inclusive com a execução de uma sobrecamada, dependendo do estado de deterioração do pavimento. A estratégia para a manutenção e reabilitação deve considerar fatores de ordem técnica e econômica, que só podem ser determinados a partir das informações contidas no banco de dados do pavimento, quando existente tal banco. A figura 7.4 apresenta um fluxograma, proposto por HUDSON et. al (30), com as fases que envolvem a manutenção e reabilitação de um pavimento.

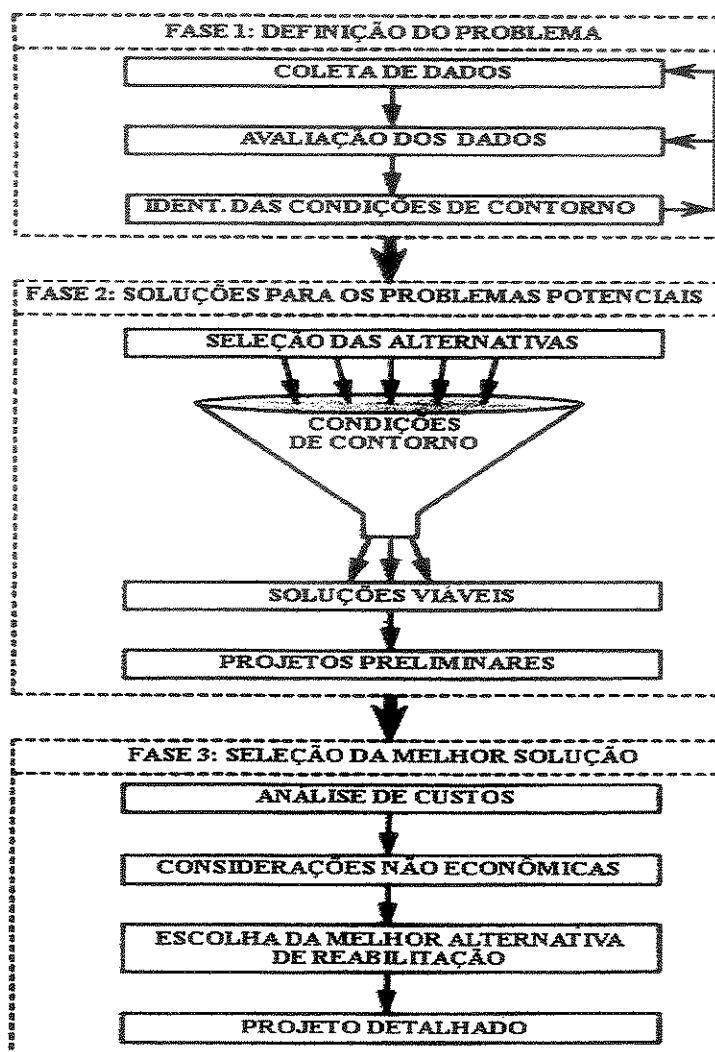


Figura 7.4: fluxograma com as fases da manutenção do pavimento. Fonte: HUDSON et al (30).

Para um pavimento de concreto, as etapas constantes do fluxograma, apresentado na figura 7.4, resultam nas ações apresentadas no quadro 7.1.

Fase	Atividades	Ações
Identificação do Problema	Coleta de Dados	- Inspeções visuais - Identificação dos defeitos
	Avaliação dos Dados	- Cálculo do ICP - Identificação das causas dos defeitos
	Identificação das Condições de Contorno	- Determinação do tráfego atual sobre o pavimento - Condições do sistema de drenagem - Condições do suporte do pavimento
Soluções para os problemas potenciais	Seleção das alternativas	- Estudos preliminares para a recuperação dos defeitos, levando-se em conta os aspectos técnicos
	Soluções viáveis	- Relação de todas as alternativa possíveis, independentemente dos custos
	Projetos preliminares	- Projetos preliminares de recuperação do pavimento, para cada alternativa possível
Seleção da Melhor Solução	Análise dos custos	- Levantamento dos custos para cada alternativa considerada
	Considerações não econômicas	- Tempo de interdição do tráfego - Facilidade de contratação dos serviços
	Escolha da melhor alternativa de reabilitação	- Determinação da opção que ofereça melhor custo - benefício
	Projeto Detalhado	- Considerando a melhor opção

Quadro 7.1: ações que envolvem a reabilitação de um pavimento de concreto.

Conforme se pode observar no fluxograma, apresentado na figura 7.4, e nas atividades discriminadas no quadro 7.1, com efeito, a manutenção de pavimentos envolve aspectos de

ordem técnica e de ordem econômica, sendo que esta última considera os levantamentos dos custos de manutenção e os seus benefícios.

A seleção das melhores alternativas técnicas, embora trabalhosa, é uma tarefa relativamente simples, pois lida com dados objetivos. O mesmo se aplica ao levantamento dos custos, que são, na verdade, uma consequência das opções de ordem técnica selecionadas. Todavia, a apuração dos benefícios advindos da manutenção do pavimento é uma tarefa extremamente difícil, quando não impossível, pois ela lida com dados, até certo ponto, subjetivos, que merecem uma atenção especial.

7.6. MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO - BENEFÍCIOS ECONÔMICOS.

A aferição dos benefícios econômicos advindos da manutenção ou reabilitação de um pavimento é geralmente mais difícil que o cálculo dos custos econômicos desses dois processos. ADLER (31) aponta três razões que dificultam a aferição dos benefícios, quais sejam: a) alguns benefícios, embora claramente diretos - como, por exemplo, o conforto dos usuários, a redução do tempo de viagem e o menor desgaste dos veículos -, são destituídos de expressão financeira, pois não há preço de mercado para eles; b) a maioria dos benefícios - como a redução do custo do transporte, por exemplo - favorece a um grande número de indivíduos, por um período muito dilatado, o que dificulta as previsões de longo prazo; e, por fim, c) muitos benefícios são indiretos - como o estímulo da atividade econômica pela melhoria do transporte, por exemplo -, mas, para que tais benefícios se produzam, são necessários investimentos em outras áreas.

Além das três razões apontadas por ADLER (31), existe, ainda, uma dificuldade maior para a aferição dos benefícios econômicos trazidos pela manutenção ou reabilitação de um pavimento. Trata-se da necessidade de se compararem as várias opções de manutenção ou

reabilitação. Assim, por exemplo, a manutenção de um pavimento de concreto, feita somente com materiais especiais, de alto custo unitário, mas que permite a liberação rápida do tráfego de veículos, deve ser comparada à outra, que emprega materiais comuns, mas que exige a interdição do tráfego por períodos mais longos.

Entre os mais importante benefícios, segundo ADLER (31), incluem-se: a) redução dos custos de operação; b) estímulo ao desenvolvimento econômico; c) economia de tempo, tanto para passageiros quanto para cargas; d) menor número de acidentes e redução de avarias; e) maior conforto e conveniência. Um projeto de manutenção ou reabilitação de um pavimento deveria, a princípio, levar em consideração tais benefícios, mas é justamente aí que surgem as dificuldades. Como fazer para distribuir os benefícios entre os vários setores ou usuários do pavimento?

A realidade mostra que um pavimento, mesmo mal conservado, continua sendo utilizado por veículos de passeio e veículos de transporte de cargas ou passageiros. Nesse caso, a curto prazo, os primeiros beneficiários da manutenção ou reabilitação do pavimento seriam as empresas de transporte, que teriam seus custos operacionais reduzidos. Em segundo lugar, viriam os usuários de veículos de passageiros, que ganhariam maior conforto e redução no tempo de viagem. Em terceiro, haveria a redução dos acidentes provocados pela má conservação do pavimento. Por último, poderia haver o aquecimento da atividade industrial ou comercial, nas regiões atendidas pelo pavimento. A longo prazo, esses benefícios seriam mais abrangentes.

Redução dos Custos Operacionais:

A redução dos custos operacionais das empresas de transporte possibilitaria fretes mais baratos e, conseqüentemente, reduziria os custos finais dos produtos transportados. Para que tal benefício, no entanto, fosse, de fato, mais abrangente, seira necessária a redução dos preços finais dos produtos transportados, pois, do contrário, os únicos beneficiários seriam as empresas de transporte.

Redução no Tempo de Viagem:

A redução no tempo de viagem possibilitaria melhor desempenho profissional aos usuários de automóveis, quando em atividades relacionadas ao seu trabalho. Além disso, pavimentos em melhor estado de conservação implicam economia de combustível.

Redução de Acidentes:

A redução de acidentes poderia se reverter em menores gastos da previdência social, com o pagamento de aposentadorias por invalidez, hospitais etc. Para que tais benefícios fossem mais abrangentes, seria necessária a diminuição da carga previdenciária paga pelos contribuintes.

Enfim, os benefícios advindos da conservação do pavimento são muitos, mas a sua quantificação, na maioria dos casos, é muito difícil. Essa dificuldade é mais evidente quando da elaboração de estudos de viabilidade econômica da manutenção do pavimento, pois tais estudos devem, preferencialmente, considerar a relação custo-benefício. A princípio, um investimento em manutenção é atrativo, quando o somatório dos benefícios ultrapassa o somatório dos custos, ou, pelo menos, quando os somatórios são iguais.

Embora a apuração dos benefícios seja de extrema importância, no presente trabalho, optou-se pelo estudo econômico da manutenção de um pavimento real, que será apresentado no capítulo 8, e no qual foram levados em consideração apenas os benefícios advindos da redução dos custos operacionais dos ônibus urbanos que circulam sobre o pavimento estudado. Essa opção foi provocada pela impossibilidade de se levantarem os demais benefícios, que poderiam advir da manutenção do citado pavimento.

8. ESTUDO DO CASO REAL DE MANUTENÇÃO DE UM PAVIMENTO DE CONCRETO.

8.1. INTRODUÇÃO.

Neste capítulo, apresenta-se um estudo para a manutenção de um pavimento de concreto, localizado na Av. das Amoreiras, na cidade de Campinas, SP, utilizado como corredor para a circulação de ônibus urbanos, ligando o centro da cidade a bairros com alta densidade demográfica. A partir desse caso real, foram desenvolvidas algumas hipóteses que permitiram uma análise econômica da manutenção do pavimento, considerando a sua realização em diferentes períodos; bem como, considerando a utilização dos vários produtos de reparo de pavimentos de concreto pesquisados no presente trabalho

O pavimento, ora estudado, foi projetado pela empresa Protran Engenharia Ltda., em 1986, e construído nos anos 1987/1988, estando, portanto, em operação há pouco mais de 12 anos.

Localizado numa região onde o solo apresenta baixos índices de suporte, a empresa projetista especificou a execução de reforço do subleito, utilizando solo com CBR maior ou igual a 10%, compactado em camadas de 20 cm, até que atingisse Grau de Compactação mínimo de 95% na energia normal. Sobre o subleito, foi executada uma sub-base granular com 10 cm de espessura.

O pavimento possui duas faixas de rolamento, compostas por um total de 111 placas de 3,6X6,0m e 18cm de espessura. A resistência à tração, na flexão do concreto, adotada em projeto, é igual a 4,50MPa. Lateralmente, o pavimento está confinado por guias pré-moldadas e por sarjetas moldadas *in loco*, e sobre ele circulam, em média, 900 ônibus por dia, em cada faixa de rolamento.

Segundo dados contidos no projeto, ao longo do pavimento foram executadas juntas transversais de retração, nas quais foram instaladas barras de transferência com aço CA-25, de diâmetro 25mm, pintadas com graxa em metade de sua extensão. Também foram executadas juntas longitudinais de articulação e juntas transversais de construção.

Apesar de já estar em operação há mais de 12 anos, exceto por alguns remendos feitos com massa asfáltica, o pavimento estudado jamais sofreu qualquer intervenção mais eficaz para a sua reabilitação ou manutenção.

8.2. ESTADO ESTRUTURAL E DETERIORAÇÃO DO PAVIMENTO ESTUDADO.

O estado estrutural do pavimento estudado foi avaliado em duas inspeções realizadas aos 10 e 12 anos de idade. Na primeira, realizada em julho/1999 pelo autor (32), o pavimento apresentou ICP (Índice de Condição do Pavimento) igual a 65, o que equivale a um estado estrutural qualificado como "bom". A segunda inspeção, também realizada pelo autor (12), porém

já em maio/2001, apresentou um ICP igual a 53, equivalente a um estado estrutural qualificado como "razoável". Ou seja, em apenas 2 anos, a deterioração do pavimento foi tal, que seu conceito caiu de bom para razoável.

Considerando-se que os defeitos que mais contribuem para a degradação do pavimento são de ordem estrutural, pode-se concluir que houve um agravamento desse tipo de defeito, no intervalo entre as duas inspeções. De fato, comparando-se as duas inspeções realizadas, pode-se observar que alguns defeitos, já existentes quando da primeira inspeção, agravaram-se e tiveram a sua incidência aumentada. Ao mesmo tempo, defeitos que não foram detectados na primeira inspeção passaram a existir nos anos seguintes. O quadro 8.1 apresenta o resultado das duas inspeções realizadas no pavimento estudado.

Tipo de Defeito de Ordem Estrutural	Grau de Severidade (*)	Incidências Observadas	
		Julho/1999	Maio/2001
Placas Divididas	A	Não verificado	10%
Fissuras Lineares	B	97,9%	47%
	M	19,6%	-
	A	6,5%	20%
Esborcinamento de Juntas	M	Não verificado	7%
Quebra de Canto	A	Não verificado	5%

(*) A, M e B – graus de severidade alto, médio e baixo, respectivamente.

Quadro 8.1: incidência dos defeitos existentes na Av. das Amoreiras. Fonte: PAIVA & GARNETT (32) e (12).

Da análise dos defeitos discriminados no quadro 8.1, portanto, infere-se que o pavimento estudado sofreu um acelerado processo de deterioração. Desenvolve-se, a seguir, a análise dos fatores que podem ter contribuído para o atual estado de deterioração estrutural do pavimento.

8.3. POSSÍVEIS AGENTES QUE PROVOCARAM A DETERIORAÇÃO DO PAVIMENTO ESTUDADO.

Naturalmente, para a determinação dos agentes que podem ter causado a ruptura precoce de algumas placas do pavimento estudado, seria necessária a realização de alguns ensaios destrutivos no concreto, o que foge dos objetivos do presente trabalho.

Os defeitos de ordem estrutural mais evidentes, observados na inspeção realizada em maio/2001, referem-se a placas divididas; quebras de canto; e fissuras lineares em alto grau de severidade, defeitos esses que não foram observados na primeira inspeção. Há, pois, fortes indícios de que o surgimento desses defeitos pode ter sido provocado por um, ou mais, dos seguintes fatores:

1. CBR do solo menor que o previsto em projeto, causando o recalque da fundação e, conseqüentemente, a fissuração e a quebra das placas de concreto;
2. altura subdimensionada das placas;
3. especificação inadequada do concreto utilizado no pavimento;
4. projeto inadequado das juntas e das barras de transferência de cargas;
5. procedimentos inadequados na construção; e
6. previsão subdimensionada do tráfego.

Com relação ao CBR do subleito, é de ressaltar que, nas inspeções, não foram verificadas movimentações verticais das placas de concreto, nem mesmo daquelas que se encontram divididas. Tampouco foram observados degraus nas juntas e nas fissuras, ou entre as partes das placas divididas. Essa condição denota que não deve ter ocorrido o recalque da fundação; portanto, o grau de compactação e o CBR do subleito devem estar compatíveis com os considerados no projeto. Ao mesmo tempo, a não-existência de degraus nas juntas indica que as barras de transferência, se não coincidem com o projeto, estão, pelo menos, suportando as cargas às quais estão submetidas.

Superficialmente, o pavimento apresenta vários pontos com rendilhados e escamações, o que acusa alguma falta de cuidado durante a sua construção. Provavelmente, os processos de cura utilizados não foram tão eficazes. Quanto à espessura das placas, verificou-se que elas têm, de fato, os 18cm especificados em projeto.

Portanto, são fortes os indícios de que a degradação do pavimento pode ter sido causada pela especificação inadequada do concreto e pela previsão subdimensionada do tráfego sobre o pavimento, ou, considerando-se que o tipo de concreto e o tráfego foram especificados corretamente, a degradação do pavimento pode ter sido provocada pela utilização de concreto com resistência à tração na flexão menor que os 4,5MPa. adotados no projeto.

Para comprovar tais afirmações, verificou-se o dimensionamento estrutural do pavimento. Optou-se, para tanto, pela utilização da metodologia PCA-1966 (Portland Cement Association), por ser esta a que, resultando em menores espessuras da placa de concreto - se comparada à metodologia PCA-1984 -, privilegia o fator segurança. Na verificação do dimensionamento, foram adotados os seguintes parâmetros:

- Tráfego considerado: 1.800 ônibus / dia, nos dois sentidos do pavimento.
- Número de repetições das cargas: considerada uma taxa de crescimento em torno de 5% ao ano, tem-se, ao longo dos 12 anos nos quais o pavimento está em operação, o equivalente a 6.114.314 repetições.
- Demais parâmetros: CBR do subleito, espessura da placa de concreto e tipo e espessura da sub-base, conforme as especificações originais de projeto. Foram ainda consideradas a presença de barras de transferência entre as placas e a existência de acostamento em concreto (na verdade, sarjeta de concreto).
- Fator de segurança (Fs): 1,2.

Efetuada os cálculos, concluiu-se que, se o pavimento tivesse sido construído segundo todos os parâmetros estipulados em projeto, ele teria sido capaz de suportar a solicitação de número ilimitado de repetição das cargas; ou seja, de certo modo, o pavimento teria sido superdimensionado e, a princípio, não apresentaria falhas estruturais.

Porém, em sendo mantidos todos os parâmetros, mas, considerado o emprego de um concreto com resistência à tração na flexão igual a 4,40 MPa, tem-se que o pavimento teria capacidade para suportar apenas 400mil repetições de carga - valor bem aquém das 6.114.314 repetições presumidas.

É de ressaltar, no entanto, que a identificação dos motivos que levaram à deterioração prematura do pavimento não é o ponto principal do presente trabalho, cujo intuito é apontar as melhores alternativas técnicas e a melhor política para a manutenção do pavimento em questão. Para tanto, é importante que se estabeleça um modelo capaz de prever o desempenho futuro do pavimento, possibilitando a estimativa dos serviços e dos custos necessários à sua manutenção.

8.4. DETERMINAÇÃO DA CURVA DE DETERIORAÇÃO DO PAVIMENTO ESTUDADO.

Conforme ressaltado no capítulo 7 do presente trabalho, em pavimentos cujos defeitos são monitorados por meio de inspeções freqüentes, a obtenção de uma curva de desempenho correspondente, desde a entrada em operação desses pavimentos até o seu momento atual, é um procedimento relativamente simples. Tal curva pode ser obtida, graficamente, a partir da plotagem dos pontos medidos num sistema cartesiano. No caso da Av. das Amoreiras, a curva de desempenho resultou de pontos determinados em apenas duas inspeções realizadas pelo autor (32) e (12), adotando-se as seguintes premissas:

- Considerou-se o ICP do pavimento, em função da idade, conforme indicado no quadro 8.2.
- Consideraram-se as idades do pavimento (eixo das abcissas) como as variáveis independentes, e os valores do ICP (eixo das ordenadas), como as variáveis dependentes.

Idade (anos)	0	10	12
ICP	100	65	53

Quadro 8.2: ICP do pavimento da Av. das Amoreiras, em função da idade.

Os demais valores do ICP, entre os anos 0 e 10, e a partir do ano 12, foram obtidos pela regressão polinomial dos pontos conhecidos, cuja forma genérica é apresentada pela equação 8.1.

$$\text{ICP}(\text{Idade}) = a_0 + a_1(\text{Idade}) + a_2 (\text{Idade})^2 \quad (8.1)$$

Onde:

ICP(I)..... (variável dependente) índice de condição do pavimento no ano I.

Idade..... (variável independente) idade do pavimento.

a_0 , a_1 e a_2 constantes.

Substituindo-se os valores, tem-se:

- $\text{ICP}(0) \Rightarrow a_0 = 100$
- $\text{ICP}(10) \Rightarrow a_0 + 10a_1 + 100a_2 = 65$
- $\text{ICP}(12) \Rightarrow a_0 + 12a_1 + 144a_2 = 53$

Resolvendo o sistema de equações, obtêm-se os valores das constantes a_0 , a_1 e a_2 :

$$a_0 = 100 \qquad a_1 = 3,028 \qquad a_2 = 0,0471$$

Substituindo-se, na equação 8.1, os valores obtidos, tem-se a equação 8.2, que representa o desempenho do pavimento estudado:

$$\text{ICP} = 100 - 3,028 (\text{Idade}) - 0,0471 (\text{Idade})^2 \quad (8.2)$$

A partir da equação 8.2 foi possível traçar a curva de desempenho do pavimento da Av. das Amoreiras, conforme apresentado na figura 8.1.

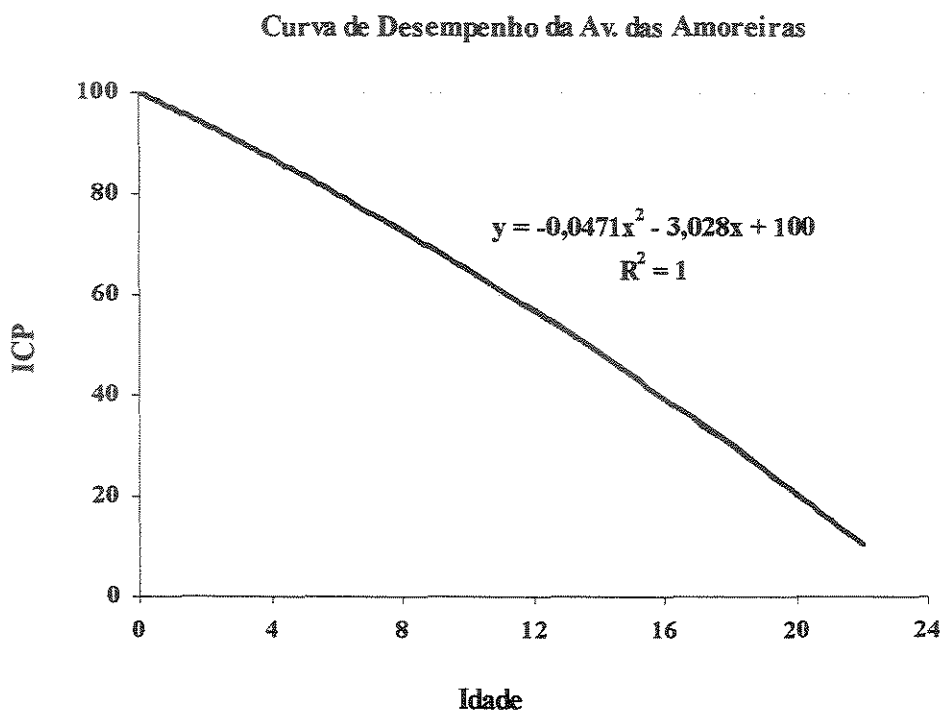


Figura 8.1: curva de desempenho do pavimento da Av. das Amoreiras.

Analisando-se a curva da figura 8.1, conclui-se que, em persistindo a deterioração verificada, aos 24 anos de idade, o pavimento estará destruído. Na prática, é bem provável que, mesmo que o pavimento alcance um ICP de valores iguais a ou menores que 10, ainda será possível o tráfego de veículos sobre ele. Na verdade, a classificação de um pavimento com o conceito "destruído" significa que quase 100% de suas placas de concreto precisam ser recuperadas, ou seja, que a deterioração do pavimento terá atingido tal gravidade, que a sua reabilitação, com vistas a elevar o seu conceito para "muito bom" ou "excelente", vai requerer a sua demolição e reconstrução total.

É de notar que, ao se obter a curva de desempenho do pavimento da Av. das Amoreiras, não se tinha por objetivo apenas a verificação do momento em que tal pavimento estará

destruído, mas, principalmente, o estabelecimento de parâmetros, que forneçam os subsídios necessários para definir-se a estratégia de manutenção daquele mesmo pavimento.

Todavia, a curva de desempenho reflete a deterioração do pavimento como um todo; não fornece dados da evolução ou do agravamento dos defeitos, isoladamente. Assim, considerando-se que uma das etapas da estratégia de manutenção é o levantamento dos custos para o reparo dos defeitos, e que estes variam em função do seu próprio tipo e grau de severidade, para a definição da referida estratégia de manutenção, foi necessário criar-se um modelo, que pudesse prever a evolução de cada defeito existente no pavimento da Av. das Amoreiras.

8.5. EVOLUÇÃO DOS DEFEITOS DO PAVIMENTO DA AV. DAS AMOREIRAS.

A estimativa da evolução dos defeitos da Av. das Amoreiras foi feita com base na denominada “Curva de Sobrevivência”, estabelecida pelo PUBLIC ROAD (7), e apresentada no capítulo 3 deste trabalho. Tal “Curva” relaciona a idade do pavimento com os reparos (reconstrução de partes do pavimento) executados ao longo do tempo. Assim, com o passar dos anos, o número de metros quadrados reconstruídos do pavimento aumenta; conseqüentemente, as áreas íntegras, remanescentes, diminuem.

No caso da Av. das Amoreiras, para a determinação da área remanescente, considerou-se que todos os defeitos, cujos reparos requerem a demolição total ou parcial da placa, representam verdadeira substituição de área de pavimento. Dentro dessa categoria de defeitos, encontram-se as placas divididas e todas as placas com fissuras lineares em alto grau de severidade, existentes no pavimento. Os demais defeitos (esborcinamento de juntas e fissuras lineares em médio e baixo graus de severidade) contribuem para a diminuição do conceito do pavimento, mas, não, para a sua perda de área, sendo que as placas com quebras de canto representam áreas desprezíveis, conforme verificado nas inspeções realizadas.

Neste trabalho, assumiu-se que a recuperação de uma placa dividida implica a sua demolição e reconstrução totais. Assumiu-se, também, que a recuperação das fissuras lineares, em alto grau de severidade, implica a demolição e reconstrução de $2,50\text{m}^2$ ($0,70 \times 3,60$) da placa de concreto, conforme ilustrado na figura 8.2.

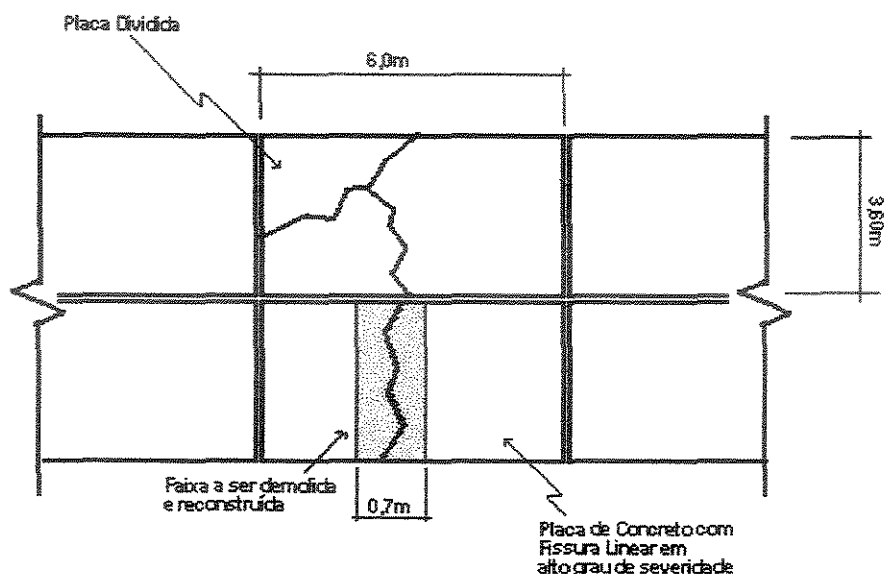


Figura 2

Figura 8.2: representação da demolição e reconstrução de placas divididas e fissuras lineares em alto grau de severidade.

A incidência de placas divididas e fissuras lineares com alto grau de severidade, no pavimento da Av. das Amoreiras, aos 12 anos de idade, resulta numa área equivalente a 11% da área total do pavimento, a ser demolida e reconstruída. Comparando-se esse percentual com aquele, apresentado na "Curva de Sobrevivência", verifica-se que, para o mesmo período de tempo - 12 anos -, os pavimentos observados pelo PUBLIC ROAD (7) apresentam uma área demolida e reconstruída equivalente a 6% da área total do pavimento.

Obedecida a premissa adotada no trabalho, tem-se que, em 12 anos de operação, a degradação do pavimento da Av. das Amoreiras foi 5% maior que a dos pavimentos monitorados pelo PUBLIC ROAD (7).

Logo, a partir dos pontos obtidos pelas inspeções realizadas aos 10 e 12 anos de idade, admitiu-se que, do ano 0 ao ano 12, o desempenho do pavimento da Av. das Amoreiras foi 5% pior; e, do ano 12 ao 30, será 5% pior. A adoção dessa premissa permitiu a definição da curva de degradação do pavimento da Av. das Amoreiras, conforme se apresenta, na figura 8.3.

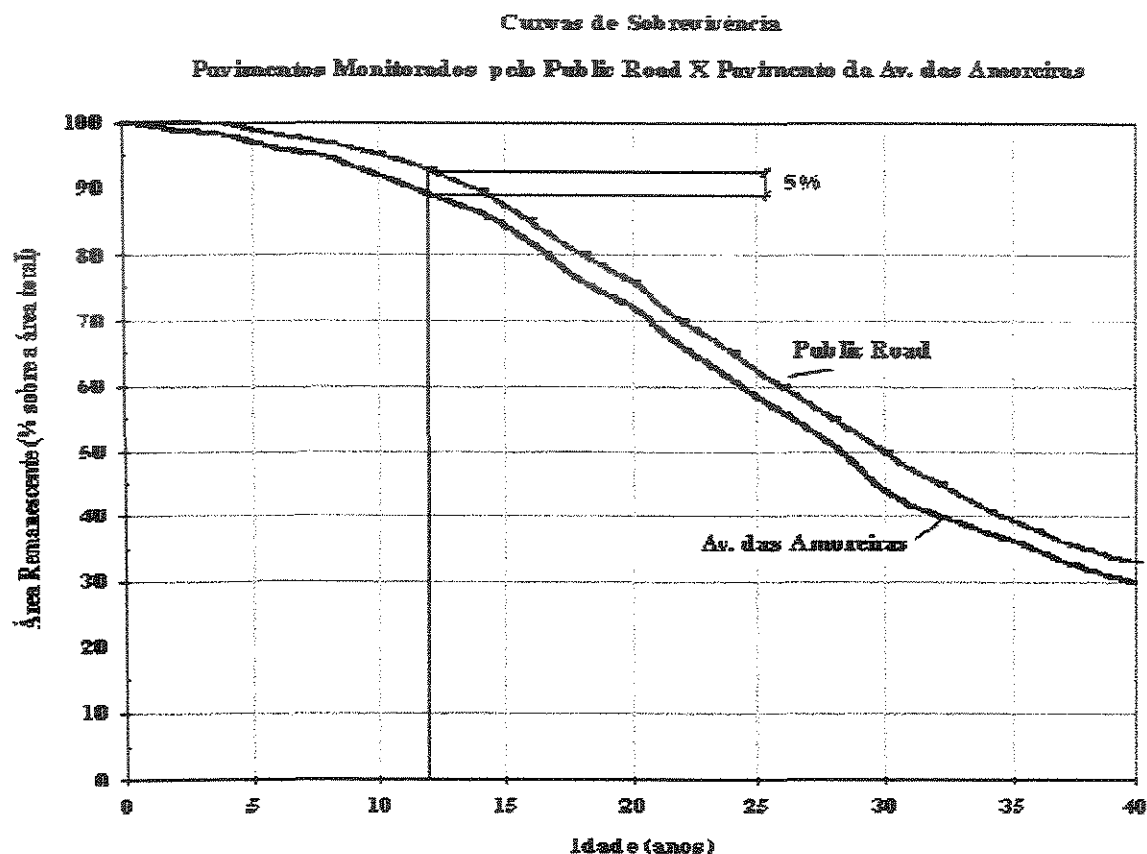


Figura 8.3: relação entre as Curvas de Sobrevivência da Av. das Amoreiras e pavimentos monitorados pelo Public Road.

Considerando-se que, no ano zero, o pavimento da Av. das Amoreiras estava totalmente íntegro, e que sua degradação ocorreu segundo a "Curva de Sobrevivência" representada pela figura 8.3, admitiu-se, no presente trabalho, que a evolução da incidência de cada um dos defeitos, verificados aos 12 anos de idade, obedeceu ao mesmo comportamento da referida "Curva". Partindo-se dos defeitos existentes atualmente (aos 12 anos de idade), e considerando-se o percentual de degradação ao longo do tempo, indicado na Curva de Sobrevivência, foi possível determinar-se, teoricamente, a evolução do número de placas danificadas até o trigésimo ano de

operação. A estimativa de placas afetadas por tipo de defeito para os próximos 18 anos está discriminada no quadro 8.3.

Tipo de Defeito	Grau de Severidade	Placas Afetadas / Idade do Pavimento (anos)									
		12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
Placas Divididas	A	5,0	5,5	6,2	6,8	7,6	8,5	9,4	10,4	11,5	12,8
Placas Divididas	B	5,0	5,5	6,6	7,5	8,5	9,7	10,9	12,3	13,8	13,9
Juntas Esborcinadas	A	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,1	7,1	7,1	6,5
Quebras de Canto	A	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2
Fissuras Lineares	A	22,0	22,1	22,5	22,9	23,4	23,9	24,4	25,1	25,7	25,5
Fissuras Lineares	M e B	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0	49,0

A, M e B – graus de severidade dos defeitos

Quadro 8.3: evolução teórica dos defeitos do pavimento da Av. das Amoreiras.

NOTA: É importante ressaltar que, embora parecidos, os comportamentos das Curvas de Sobrevivência (% de área X Idade) e de Desempenho (ICP X Idade) do pavimento não têm o mesmo significado. A primeira curva - de Sobrevivência - refere-se, apenas, a áreas íntegras remanescentes, enquanto a segunda - de Desempenho - refere-se ao ICP do pavimento.

8.6. CÁLCULO DOS CUSTOS PARA O REPARO DOS DEFEITOS DA AV. DAS AMOREIRAS.

8.6.1. Parâmetros Adotados.

Considerando-se o número de placas afetadas ao longo do tempo, tem-se que os custos de reparo dos defeitos do pavimento irão variar em função da sua idade. Portanto, admitindo-se que a degradação do pavimento ocorrerá de acordo com a Curva de Sobrevivência estabelecida, pode-se concluir que, uma vez que o número de placas defeituosas aumenta ao longo do tempo de operação do pavimento, a incidência dos defeitos também irá aumentar.

Para a escolha dos materiais de reparo, adotados neste trabalho, levou-se em consideração a associação do menor custo com o menor tempo de interdição do tráfego. Para os reparos que demandam demolição e reconstrução de parte da ou de toda a placa de concreto, adotou-se a utilização de argamassa ou concreto confeccionados com cimento Portland de alta resistência inicial, e cimentos modificados por polímeros. Já para o reparo dos defeitos que não demandam demolição parcial ou total da placa, adotaram-se produtos especiais, tais como resinas epóxi, mástiques elastoméricos e cimentos especiais aluminosos. O quadro 8.4 discrimina os materiais de reparo adotados para cada tipo de defeito.

Defeito	Serviços Envolvidos	Materiais Adotados
Placas Divididas em alto grau de severidade	Demolição e reconstrução de toda a placa de concreto	Concreto confeccionado com cimento ARI e adesivos a base de epóxi.
Placas Divididas em baixo grau de severidade	Demolição e reconstrução parcial da placa	Concreto confeccionado com cimento modificado por polímero e adesivos a base de epóxi.
Fissuras Lineares em alto grau de severidade	Demolição e reconstrução parcial da placa.	Concreto confeccionado com cimento ARI e adesivos a base de epóxi
Fissuras Lineares em médio e baixo graus de severidade	Selagem das fissuras	Mástique elastomérico de poliuretano
Esborcinamento de Juntas	Escarificação das superfícies, recomposição e reselagem	Resina sintética orgânica a base de epóxi
Quebras de Canto	Demolição e reconstrução parcial da placa	Micro concreto fluido à base de cimento aluminoso

Quadro 8.4: materiais adotados para os reparos do pavimento estudado. Fonte: PAIVA & GARNETT (34)

8.6.2. Composição de Custos para o Reparo dos Defeitos da Av. das Amoreiras.

Considerando-se os materiais adotados, discriminados no quadro 8.4, e os volumes médios de cada tipo de reparo, calcularam-se os custos de reparo "por placa" e "por tipo de defeito". O custos calculados referem-se a valores presentes, e, na sua composição, foram

consideradas as seguintes condições: a) os custos de mão-de-obra e materiais correspondem à uma composição baseada nos preços praticados no mercado brasileiro; b) os preços dos materiais foram obtidos junto aos fabricantes que comercializam produtos no Brasil; c) percentual de 135% a título de remuneração dos encargos sociais incidentes sobre o valor da mão-de-obra; e d) percentual de 40% a título de pagamento de BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) da empresa executante dos reparos. No quadro 8.5 estão discriminados os custos de reparo em valores atuais.

1	2	3	4
Defeitos	Custo Unitário (R\$/placa)	Placas Afetadas	Custo Total (R\$)
Placas Divididas – Severidade Alta	1.152,00	5	5.760,00
Placas Divididas – Severidade Baixa	4.813,00	5	24.065,00
Esborcinamento de Juntas	812,00	7	5.684,00
Fissuras Lineares – Severidade Alta	108,00	22	2.376,00
Fissuras Lineares – Severidade Média e Baixa	135,00	50	6.750,00
Quebras de Canto	55,00	3	165,00
Custo Total para Reparo do Pavimento			44.800,00

Quadro 8.5: custos atuais para o reparo do pavimento. Condição econômica: julho/2001.

Para o estabelecimento de uma ordem de grandeza, calculou-se que o custo atual para a construção de um pavimento similar ao da Av. das Amoreiras gira em torno de R\$135.000,00 (Cento e Trinta e Cinco Mil Reais). Na composição do custo de construção, consideraram-se a mesma espessura e armadura e o mesmo tipo de concreto adotados em projeto, e não se consideraram a execução do reforço do subleito e a construção da sub-base granular. Os custos adotados, discriminados na coluna 2 do quadro 8.5, foram obtidos junto ao departamento técnico da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland), que forneceu a planilha dos preços médios praticados no mercado interno.

8.7. CUSTO PARA A REABILITAÇÃO DO PAVIMENTO DA AV. DAS AMOREIRAS, CONSIDERANDO DIFERENTES INTERVALOS DE TEMPO ENTRE AS MANUTENÇÕES.

Visando a estabelecer qual a melhor política a ser adotada para a conservação da Av. das Amoreiras, fez-se, no presente estudo, uma análise econômica da reabilitação do pavimento, considerando-se a realização de intervenções de manutenção, segundo as seguintes periodicidades:

Opção 1 - primeira manutenção aos 12 anos; as demais, a cada 2 anos, até o trigésimo ano;

Opção 2 - primeira manutenção aos 12 anos; as demais, a cada 6 anos, até o trigésimo ano;

Opção 3 - primeira manutenção aos 18 anos; as demais, a cada 6 anos, até o trigésimo ano; e,

Opção 4 - primeira manutenção aos 24 anos, e mais uma, aos 30 anos de idade.

Os custos de cada uma das opções de manutenção consideradas foram obtidos a partir da multiplicação do número de placas afetadas (apresentadas no quadro 8.3) pelos custos unitários de reparo por placa (apresentados no quadro 8.5). Os resultados referem-se aos valores futuros (F) dos reparos, ou seja, aos valores atuais, que deverão ser desembolsados no futuro.

Entretanto, numa análise econômica, em que se trabalha com diversas alternativas de investimento - como no caso das quatro opções de manutenção consideradas -, há que se compará-las entre si, a fim de que se possa selecionar a opção mais conveniente. Segundo HIRSCHFELD (33), os principais métodos de análise econômica são: a) Método do Valor Presente Líquido; b) Método do Valor Futuro Líquido; c) Método do Valor Uniforme Líquido; d) Método do Benefício; e) Método da Taxa de Retorno e, f) Método do Prazo de Retorno.

Optou-se, no presente trabalho, pela utilização do Método do Valor Presente Líquido, uma vez que os custos de reparo foram calculados a preços atuais, e que estes deverão ser desembolsados no futuro.

O Método do Valor Presente Líquido tem como finalidade a determinação de um valor de investimento, no instante considerado inicial, a partir de um fluxo de caixa, formado por uma série de receitas e despesas. No caso do presente trabalho, o fluxo de caixa é composto apenas pelas despesas relativas aos custos de manutenção do pavimento.

No presente trabalho, adotou-se como instante inicial do fluxo de caixa os 12 anos de idade do pavimento. Assim, os custos de manutenção, expressos em valores futuros (F), discriminados no quadro 8.6, foram convertidos para Valores Presentes Líquidos (V_{PL}), segundo a equação 8.3, considerando uma taxa de juros de 6% ao ano.

$$V_{PL} = F \cdot \frac{1}{(1+j)^t} \quad (8.3)$$

Onde:

V_{PL} Valor Presente Líquido (R\$)

F Valor Futuro (R\$)

j Taxa de Juros (6%)

t Período Considerado (anos)

Os Valores Presentes Líquidos (V_{PL}) calculados pela equação 8.3 estão discriminados no quadro 8.7.

VALORES FUTUROS E VALORES PRESENTES LÍQUIDOS

Opção 1: 1ª manutenção aos 12 anos de idade e as demais a cada 2 anos

Opção 2: 1ª manutenção aos 12 anos de idade e as demais a cada 6 anos

Opção 3: 1ª manutenção aos 18 anos de idade e as demais a cada 6 anos

Opção 4: 1ª manutenção aos 24 anos de idade e uma aos 30 anos

VALORES FUTUROS (F)

OPÇÕES DE MANUTENÇÃO CONSIDERADAS	VALORES FUTUROS (F) DOS SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO (R\$)									
	IDADE DO PAVIMENTO (ANOS)									
	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
OPÇÃO 1:	44.800,00	4.270,00	4.746,00	5.321,00	5.832,00	6.525,00	7.211,00	8.058,00	8.875,00	1.305,00
OPÇÃO 2:	44.800,00			14.338,00			19.570,00			18.199,00
OPÇÃO 3:				59.138,00			19.570,00			18.159,00
OPÇÃO 4:							78.709,00			18.199,00

Quadro 8.6: valores futuros dos custos de manutenção.

VALORES PRESENTES LÍQUIDOS (V_{PL})

OPÇÕES DE MANUTENÇÃO	VALORES PRESENTES LÍQUIDOS (V _{PL}) DOS SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO (R\$)										TOTAL V _{PL} (R\$)
	IDADE DO PAVIMENTO O (ANOS)										
	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	
OPÇÃO 1	44.800,0	3.800,00	3.759,0	3.751,00	3.659,00	3.644,0	3.583,00	3.564,00	3.493,00	513,00	74.566,00
OPÇÃO 2	44.800,0			11.357,00			13.016,0			10.171,0	79.344,00
OPÇÃO 3				41.690			9.726			6.381	57.797,00
OPÇÃO 4							39.118			6.422	45.540,00

Quadro 8.7: valores presentes líquidos dos custos de manutenção, ao longo do tempo, calculados pela equação 8.3.

Opção 1: primeira manutenção realizada aos 12 anos de idade, sucedida de novas manutenções a cada 2 anos

Opção 2: primeira manutenção realizada aos 12 anos de idade, sucedida de novas manutenções a cada 6 anos

Opção 3: primeira manutenção realizada aos 18 anos de idade, sucedida de novas manutenções a cada 6 anos

Opção 4: primeira manutenção realizada aos 24 anos de idade, sucedida de mais uma aos 30 anos de idade

Pelo Método do Valor Presente Líquido, a melhor opção de investimento é sempre aquela que apresenta menor somatório de V_{PL} ao final do período considerado. Pelo quadro 8.7, verifica-se que a opção de manutenção, que confere menor somatório de V_{PL} , é aquela, cuja primeira intervenção só é realizada aos 24 anos de idade, sucedida por mais uma, aos 30 anos. Entretanto, do ponto de vista técnico, quando o objeto da análise econômica é a manutenção de um pavimento, nem sempre a opção que apresenta o menor somatório de V_{PL} é a melhor alternativa. Faz-se necessário, portanto, verificar qual será o comportamento do ICP em função das opções de manutenção consideradas no presente estudo.

Com base no crescimento do número estimado de placas danificadas, discriminadas no quadro 8.3, e utilizando-se a metodologia DNER-48 (11), foi possível calcular o ICP do pavimento da Av. das Amoreiras no período compreendido entre os 12 e 30 anos de idade, em função das opções de manutenção consideradas. As figuras 8.4 (a); 8.4 (b); 8.4 (c) e 8.4 (d) apresentam a variação do ICP do pavimento em função das manutenções.

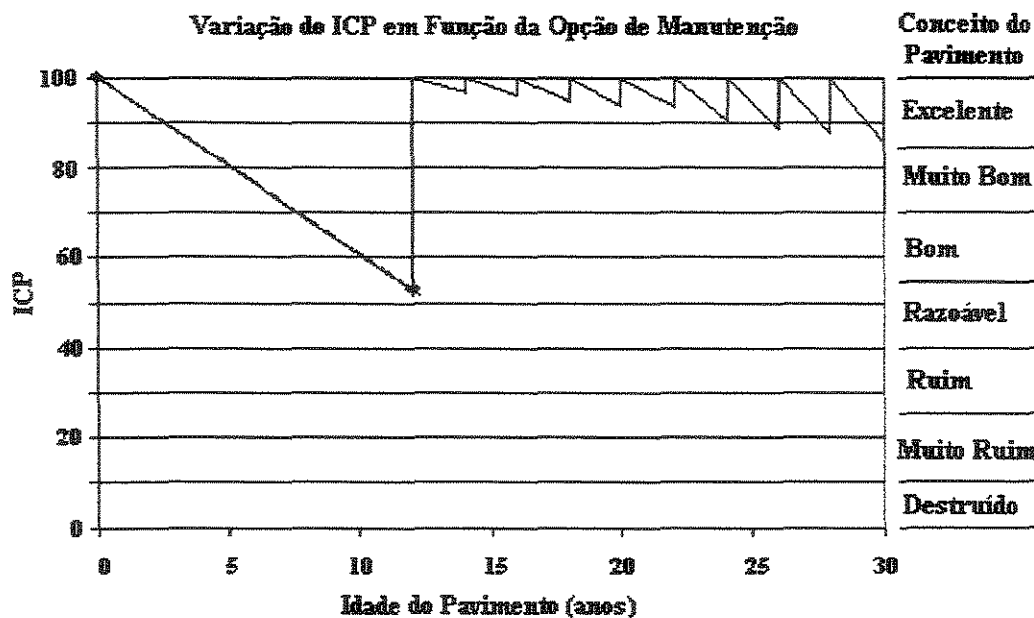


Figura 8.4(a): Opção 1 - primeira manutenção aos 12 anos de idade e as demais a cada 2 anos

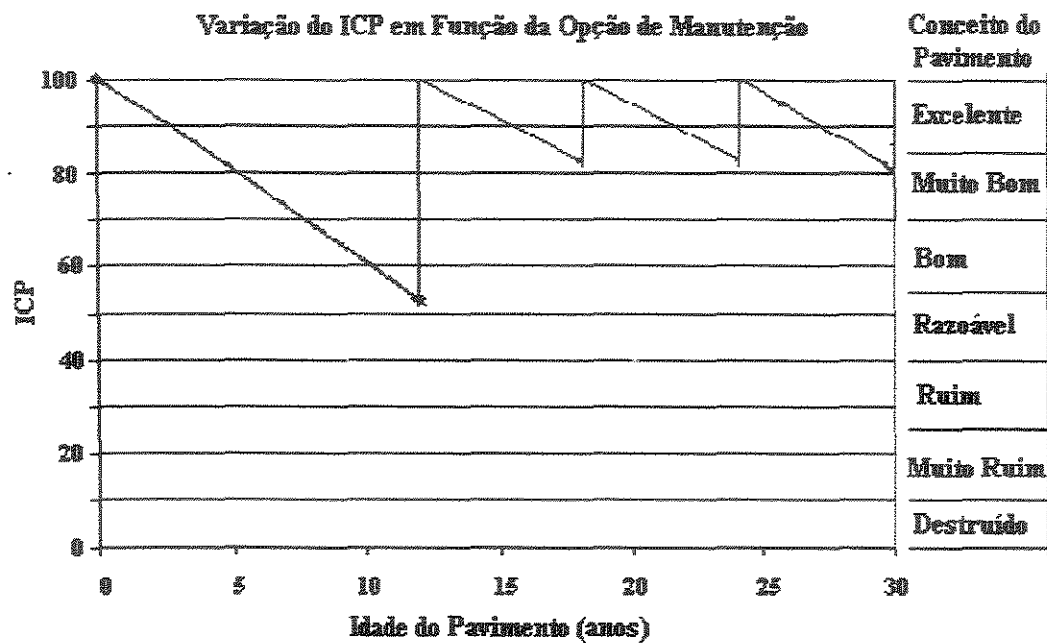


Figura 8.4(b): Opção 2 - primeira manutenção aos 12 anos de idade e as demais a cada 6 anos

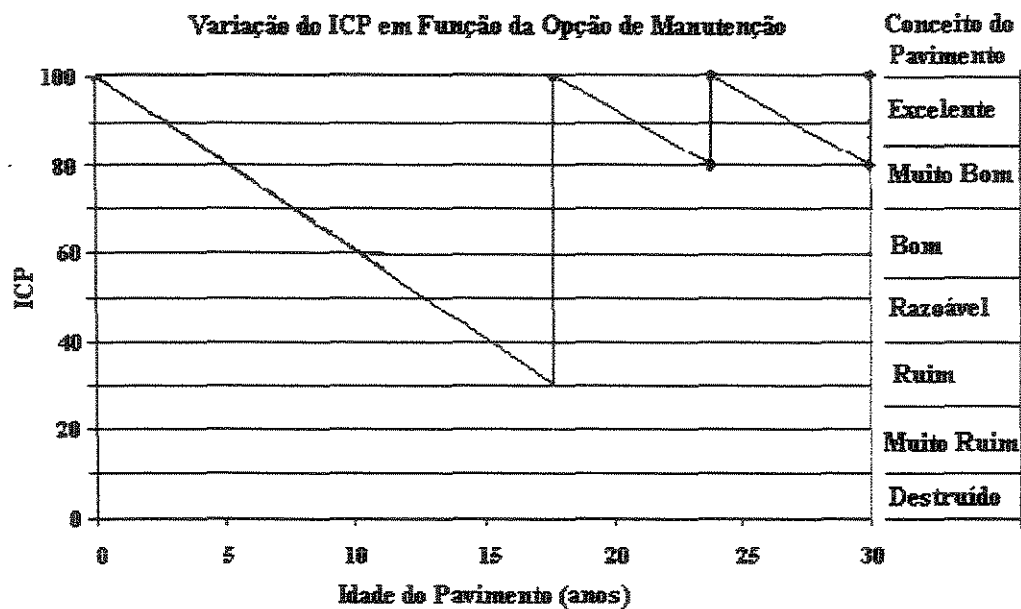


Figura 8.4(c): Opção 3 - primeira manutenção aos 18 anos de idade e as demais a cada 6 anos

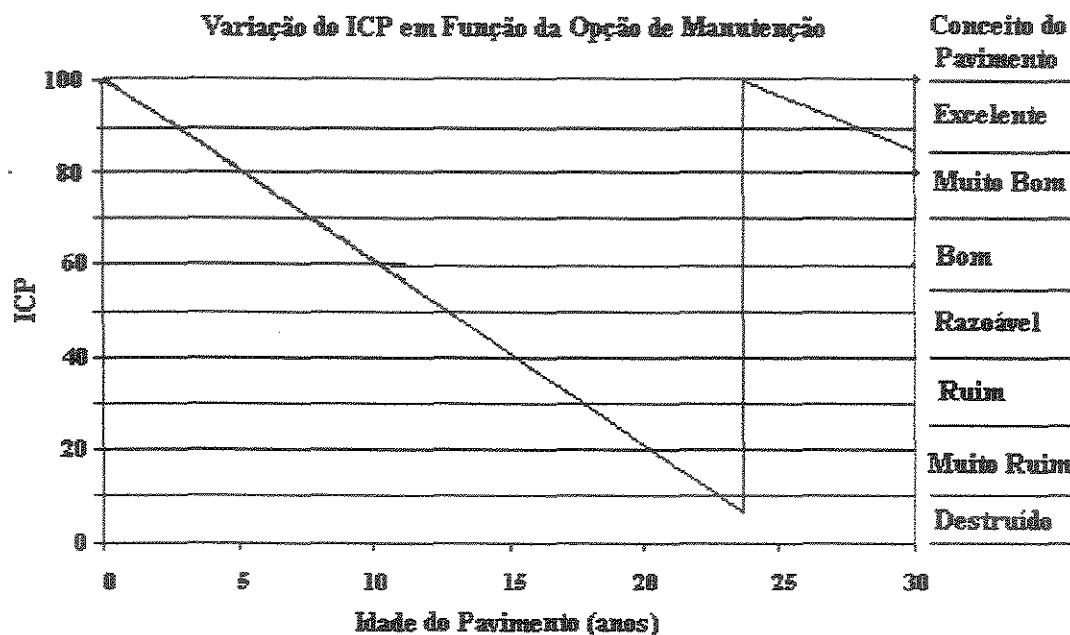


Figura 8.4(d): Opção 4 - primeira manutenção aos 24 anos de idade e mais uma aos 30 anos

Analisando-se os comportamentos do ICP para as várias opções de manutenção, apresentados nas figura 8.4 (a); (b); (c) e (d), conclui-se que:

1. do ponto de vista técnico, a melhor alternativa para o caso estudado é a opção 1 de manutenção, cuja primeira intervenção é realizada aos 12 anos de idade, sucedida por novas intervenções, a cada 2 anos. Essa alternativa demanda somatório do V_{PL} igual a R\$74.556,00, e mantém o estado estrutural do pavimento com conceito entre "excelente" e "muito bom", dos 12 aos 30 anos de idade;
2. do ponto de vista econômico, a melhor alternativa é opção 4 de manutenção, cuja primeira intervenção só é realizada aos 24 anos, sucedida por mais uma, aos 30 anos de idade. Essa alternativa demanda somatório do V_{PL} igual a R\$45.540,00, mas, aos 24 anos de idade, o estado estrutural do pavimento estará classificado como "destruído";
3. a alternativa que prevê a primeira manutenção aos 12 anos de idade, e as demais, a cada 6 anos - opção 2 - não é interessante, porque apresenta o maior somatório de V_{PL} (R\$79.044,00), além de manter o estado estrutural do pavimento com conceito menor que o da opção 1.

4. Por fim, a opção 3, que prevê a primeira manutenção aos 18 anos de idade, e as demais, a cada 6, também não é interessante, porque não é a que apresenta o menor somatório de V_{PL} - se comparada com a opção 4, de menor custo -, além do quê, permite que o pavimento atinja estado estrutural classificado como ruim.

Portanto, a análise comparativa irá considerar apenas as opções 1 e 4 de manutenção. A opção 1, por ser a que mantém o pavimento em melhor estado estrutural, e a opção 4, por ser a que resulta em menor somatório de V_{PL} .

Embora com a opção 4 de manutenção o pavimento atinja estado estrutural classificado como "destruído", ela deve ser considerada, pois, como ressaltado no item 8.4 deste capítulo, tal conceito não implica, necessariamente, na impossibilidade total do tráfego sobre o pavimento, mas indica que a reabilitação deste, com vistas a elevar o seu conceito para "muito bom" ou "excelente", requer a demolição e reconstrução de todas as placas de concreto.

Assim, uma vez definidas as opções de manutenção, que serão consideradas na análise econômica da reabilitação do pavimento, para a seleção da melhor alternativa, é necessário que se determine qual das opções apresenta a melhor relação custo-benefício.

8.8. BENEFÍCIOS DA MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO DA AV. DAS AMOREIRAS.

Os benefícios que poderiam ser auferidos com a reabilitação do pavimento da Av. das Amoreiras são muitos.

De imediato, se considerada a opção 1 de manutenção, tem-se que a melhoria do pavimento proporcionaria maior conforto aos seus usuários. Permitiria, também, a redução do tempo de viagem, em razão do aumento da velocidade média dos ônibus urbanos, que trafegam

sobre o pavimento. De resto, proporcionaria, ainda, a redução dos custos operacionais, em vista da economia que seria feita com manutenção e combustível.

À exceção da redução dos custos operacionais dos ônibus, a apuração dos demais benefícios, em termos financeiros, não é tarefa fácil: além de amplos, esses benefícios envolvem fatores subjetivos, difíceis de serem mensurados. Por sua vez, embora a redução dos custos operacionais dos ônibus pudesse ser quantificada, com maior facilidade, para tanto, necessário seria que as empresas de transporte, que operam as linhas que utilizam a Av. das Amoreiras, fizessem, no mínimo, o controle dos gastos com o combustível e a manutenção dos ônibus que efetivamente utilizam o pavimento, comparando-os com os dos veículos que operam sobre outros pavimentos, em melhor estado estrutural, na cidade de Campinas. No entanto, as empresas de ônibus consultadas (URCA, Rápido Luxo Campinas e VBTU) não dispõem desses controles.

Ainda no tocante à redução dos custos operacionais dos ônibus urbanos, que pode ser auferida pela melhoria do pavimento, é oportuno citar um estudo de ADLER (31), no qual são apresentadas composições de custos operacionais referentes ao tráfego de ônibus sobre vias não-pavimentadas e vias com pavimentos recém construídos. Em tais composições de custos, foram computadas despesas com: combustível; óleo lubrificante; manutenção; e depreciação dos veículos e salários. Essas despesas, uma vez somadas e convertidas de US\$/milha para R\$/Km, resultaram em R\$1,60/Km, para a operação de ônibus urbanos sobre vias com pavimentos recém construídos, e em R\$2,50/Km, para a operação de ônibus urbanos sobre vias não pavimentadas.

É de notar que a diferença de R\$0,90/Km, equivalente a uma redução de 56% nos custos operacionais, é bem relevante. Se tais composições pudessem ser aplicadas no presente trabalho, levando-se em conta que, aos 24 anos de idade, a Av. das Amoreiras, com 0,38Km de extensão, receberá, em média, 3232 ônibus por dia (1,18 milhão de ônibus por ano, considerado o crescimento anual do tráfego, a uma taxa de 5% a.a), tal diferença nos custos operacionais resultaria numa economia anual de R\$1,062 milhão, em valores futuros, ou de R\$528 mil, em valores presentes líquidos.

Obviamente, os valores citados não podem ser aplicados aos custos operacionais dos ônibus que trafegam sobre a Av. das Amoreiras, pois referem-se a situações totalmente distintas.

9. ANÁLISE DOS RESULTADOS.

9.1. INTRODUÇÃO.

O presente trabalho abordou vários aspectos dos pavimentos de concreto, tendo como principal objetivo apontar os produtos apropriados para o reparo dos defeitos ocorrentes nesses pavimentos, e explicitar os procedimentos que envolvem a execução desses reparos. Além disso, abordou aspectos gerais da manutenção de pavimentos de concreto, apresentando, ao final, o caso de um pavimento real, situado na cidade de Campinas, SP, sobre o qual foi realizado um estudo para a sua manutenção e reabilitação.

Neste capítulo, portanto, serão analisados, isoladamente, os aspectos de maior relevância, tratados no presente trabalho.

9.2. MATERIAIS PARA REPARO DE DEFEITOS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO.

O capítulo 5 deste trabalho apresentou os materiais que podem ser utilizados no reparo dos defeitos que ocorrem em pavimentos de concreto. Tais materiais podem ser divididos em dois grupos principais - materiais à base de cimento e materiais à base de resinas sintéticas -, cujas características permitem as seguintes ponderações:

a) Materiais à base de cimentos aluminosos:

Dos materiais de base cimentícia, os que apresentam maior ganho de resistência à compressão, em menor tempo, são as misturas compostas por cimentos aluminosos e cargas minerais. Tais misturas são comercializadas em sacos com 20 ou 30Kg, ao custo médio de R\$80,00/saco, e já vêm prontas para uso, bastando, apenas, a adição de água para a sua aplicação.

Apesar de suas excelentes características mecânicas, esses materiais são altamente reativos e liberam grande quantidade de calor durante a sua hidratação, o que os torna susceptíveis de sofrerem fissuração por retração, quando aplicados no reparo de defeitos, cuja espessura ultrapasse de 50mm. Além disso, o tempo de manuseio dessas misturas é extremamente reduzido (dependendo da temperatura ambiente, o início da pega pode-se dar em, apenas, 15 minutos). Portanto, a utilização de materiais à base de cimentos aluminosos fica restrita ao reparo de juntas esborcinadas; ao preenchimento de pequenos buracos; e reparo de pequenas quebras de canto. Assim mesmo, devido ao seu custo levado, a utilização desses materiais só se justifica quando necessária a liberação rápida do tráfego.

b) Materiais à base de cimentos modificados com polímeros:

Os materiais à base de cimento Portland modificado com polímeros, por seu turno, constituem uma solução extremamente versátil. As misturas resultantes de cimentos modificados são muito menos susceptíveis de sofrerem fissuração por retração, uma vez que os polímeros

conferem às misturas maior módulo de deformação. Além disso, esses materiais apresentam ganho de resistência à compressão, que varia de 14MPa, em 1h, a 44Mpa, em 24hs.

Tais materiais também são comercializados em sacos de 20 a 35Kg, com custos que variam de R\$18,00 a R\$40,00/saco, e já vêm prontos para serem utilizados, bastando acrescentar água e, em reparos de maior espessura, brita 0. Sua aplicação é indicada para os reparos que envolvem a demolição parcial ou total da placa de concreto, tais como: a) placas divididas; b) fissuras lineares com alto grau de severidade; c) quebras de canto; d) esborcinamento de juntas; e e) reconstrução de toda a placa de concreto.

Alguns desses materiais são bi-componentes, sendo que o componente A - o pó - é composto por cimentos enriquecidos com cargas minerais; e o componente B - o líquido -, é composto por polímeros de acrílico, poliéster ou metacrilato. Sua aderência ao substrato é, via de regra, muito boa.

c) *Materiais à base de cimento Portland de alta resistência inicial:*

São os mais usuais em qualquer tipo de reparo, embora a sua utilização nem sempre apresente um bom desempenho, devido à ocorrência de fissurações por retração, nas misturas com teor de cimento muito alto. Além disso, a aderência desses materiais ao substrato existente depende da utilização de agentes de aderência (adesivos à base de epóxi), aplicados na superfície antiga do concreto.

A utilização de misturas à base de cimento Portland de alta resistência inicial é mais usual nos reparos que envolvem elevado volume de material, pois, de todos os materiais, é este o que apresenta menor custo unitário (em torno de R\$170,00/m³). Em contrapartida, a utilização desses materiais requer, pelo menos, 3 dias de interdição do tráfego sobre a área reparada.

d) *Resinas Sintéticas Orgânicas:*

Resinas sintéticas orgânicas são mais utilizadas, na verdade, em reparos de estruturas de concreto convencionais. Sua utilização nos pavimentos de concreto restringe-se ao reparo de alguns defeitos pontuais, devido ao seu elevado custo. As resinas mais comumente utilizadas são aquelas à base de epóxi, para a recomposição de pequenos esborcinamentos de juntas e injeção em fissuras superficiais passivas. As resinas à base de elastômeros de poliuretano são indicadas para a selagem de juntas transversais e longitudinais, bem como para a selagem de fissuras lineares ativas.

É importante ressaltar que os preços praticados no mercado brasileiro variam de um fabricante para outro, mesmo quando se referem ao mesmo tipo de produto. Não pretende este trabalho elaborar uma planilha, discriminando o preço de cada produto, de sorte que, nos estudos econômicos aqui desenvolvidos, utilizou-se a média de preços praticados no mercado, cujos valores estão representados na figura 9.1.

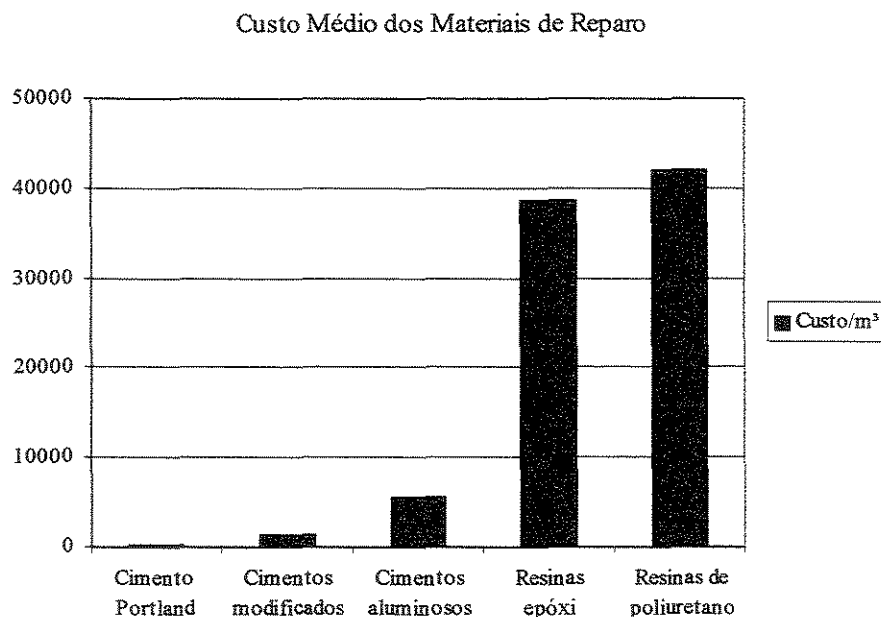


Figura 9.1: média de preços dos produtos de reparo (R\$/m³). Condição econômica: junho/2001

9.3. PRODUTOS DE REPARO E SEUS FABRICANTES.

Conforme destacado no capítulo 5 deste trabalho, no Brasil, com exceção do cimento Portland, a fabricação dos demais materiais de reparo é dominada por duas empresas multinacionais, com unidades no País (Fosroc Reax e Master Builders).

As duas empresas fabricam uma ampla gama de produtos específicos para reparo. Curiosamente, consultando seus catálogos técnicos, percebe-se a existência de vários produtos que podem ser utilizados com a mesma finalidade. É o caso, por exemplo, do Renderoc S2 e do Renderoc LA, fabricados pela Fosroc Reax.. Ambos são compostos por cimentos modificados por polímeros e indicados para reparos de pisos e pavimentos de concreto, sendo que o primeiro é monocomponente e o segundo, bicomponente. A única diferença evidente entre eles está nos preços e embalagens: enquanto o Renderoc S2 é vendido em sacos de 35Kg, ao custo de R\$38,70/saco, o Renderoc LA é vendido em sacos de 30Kg, ao custo de R\$18,60/saco. No entanto, os catálogos publicados pela empresa não esclarecem em que situações o uso de um é mais apropriado do que o do outro, o que dificulta, sobremaneira, o trabalho do especificador. O mesmo caso - produtos com nomes diferentes para a mesma finalidade - é observado nos catálogos da Master Builders.

O quadro 9.1 apresenta os produtos de reparo, seus fabricantes, seus nomes comerciais e sua utilização, e o quadro 9.2 apresenta a correlação entre alguns produtos dos dois fabricantes pesquisados.

Quadro 9.1: materiais de reparo, seus nomes comerciais e principais utilizações. Fonte: Compilados dos catálogos da FOSROC (22) e MASTER BUILDER (23)

Materiais Especiais para Reparo			UTILIZAÇÃO INDICADA									
Tipo de Material	Fabricante	Nome Comercial	Fissura de canto	Placa dividida	Defeito na selagem	Fissuras lineares (severidade M e B)	Fissuras lineares (severidade A)	Desgaste superficial	Quebras localizadas	Rendilhado e escamação	Quebra de canto	Esborcinamento de juntas
Materiais à Base de cimentos modificados por polímeros	Master Builder	EMACO T-430	-	X	-	X	X	-	X	X	X	X
		EMACO R-320	-	X	-	X	X	-	X	-	X	X
		EMACO S168	-	X	-	X	X	-	X	-	X	X
	Fosroc Reax	RENDEROC S2	-	X	-	X	X	-	-	-	X	X
		RENDEROC S25	-	X	-	X	X	-	-	-	X	X
		RENDEROC FC2	-	X	-	X	X	-	-	-	X	X
Materiais à Base de cimentos aluminosos e cargas minerais	Master Builder	MASTERPATCH 30	-	-	-	X	X	X	X	-	X	X
		CONBEXTRA GP	-	-	-	X	X	X	X	-	X	X
		MASTERFLOW 55	-	-	-	X	X	X	X	-	X	X
	Fosroc Reax	PATCHROC	-	-	-	X	X	X	X	-	X	X
		RENDEROC LA	-	-	-	X	X	X	X	-	X	X
Resinas sintéticas orgânicas à base de epóxi	Master Builder	EPOGEL *	X	-	-	X	-	-	-	-	-	X
		RAPID GEL *	X	-	-	X	-	-	-	-	-	X
		CONCRETSIVE 1380 *	X	-	-	X	-	-	-	-	-	X
		EPOLIGHT	-	-	X	X	-	-	-	-	-	X
	Fosroc Reax	NITOBOND INJEÇÃO *	X	-	-	X	-	-	-	-	-	X
Resinas sintéticas orgânicas à base poliéster	Fosroc Reax	NITOMORTAR PE	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Resinas sintéticas orgânicas à base poliuretano	Master Builder	NP 1	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-
		SL 1	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-
	Fosroc Reax	NITOSEAL 280	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-
		THIOFLEX 600	-	-	X	X	-	-	-	-	-	-

* também utilizados como agente de adesão entre reparo e concreto do substrato

FOSROC REAX		MASTER BUILDERS
RENDEROC S2	↔	EMACO S168
RENDEROC FC2	↔	EMACO 320
PATCHROC	↔	MASTERFLOW 55
NITOBOND INJEÇÃO	↔	CONCRESLIVE 1380

Quadro 9.2: correlação entre alguns produtos dos fabricantes pesquisados.

9.4. PROCEDIMENTOS QUE ENVOLVEM A EXECUÇÃO DOS REPAROS EM PAVIMENTOS DE CONCRETO.

Como visto no item 9.3, no Brasil, a fabricação dos materiais especiais para reparo de pavimentos de concreto é dominado por duas empresas. Cada uma delas possui, em sua linha de produção, materiais com nomes comerciais diferentes, que, no entanto, são indicados para o mesmo fim. Quaisquer que sejam os motivos para tal procedimento, fato é que a existência dessa grande variedade de produtos, no mercado, com a mesma finalidade, dificulta o trabalho dos projetistas, quando da especificação dos materiais a serem utilizados nos reparos de um pavimento de concreto.

A melhor maneira de se contornar o problema em questão é submeter os materiais de reparo a ensaios de caracterização, em laboratórios independentes e idôneos, para averiguar a veracidade das informações fornecidas pelos fabricantes e, sobretudo, verificar se tais produtos são, de fato, adequados ao uso indicado.

Com efeito, a realização dos ensaios é a única forma de comprovar-se o real desempenho do produto. O exemplo dado no capítulo 4 deste trabalho - relatando ensaios realizados por MORGAN (16), com 46 tipos de produtos fabricados no Canadá, a partir dos quais

verificou-se que apenas 15% dos produtos testados apresentaram retração térmica condizente com as normas utilizadas e com as informações fornecidas pelos fabricantes - só vem a confirmar a necessidade de submeterem-se os materiais de reparo aos ensaios sugeridos.

A qualidade dos materiais e a necessidade de submetê-los a ensaios estão sendo abordadas por uma razão muito simples: no Brasil, a metodologia para reparo de pavimentos de concreto está especificada na norma DNER-ES 328/97 (29), que descreve os procedimentos executivos para a execução dos serviços de reparo e indica que tipos de materiais podem ser utilizados.

Pela literatura pesquisada - CALTRANS (14) e CERL (24) -, constatou-se que, nos EUA, cada departamento de transporte ("DOT - Department of Transportation") indica, praticamente, os mesmos procedimentos utilizados no Brasil, os quais constam das normas DNER-ES 328/97 (29). A diferença, no entanto, é que, nos EUA, os departamentos de transporte realizam os ensaios de caracterização dos materiais e publicam os seus resultados, na forma de notas técnicas. Ou seja, os especificadores têm os subsídios necessários para desenvolverem os projetos de reparo, baseados em informações isentas, e não, apenas, naquelas fornecidas pelos fabricantes dos materiais.

Segundo EMMONS & VAYSBURG (21), das fases que envolvem o reparo de um pavimento de concreto - projeto, construção e operação -, cabe ao projeto a maior parcela de responsabilidade sobre a durabilidade do reparo. Daí, a importância de os projetos de reparo serem desenvolvidos a partir de informações confiáveis e isentas.

9.5. MATERIAIS DE REPARO E A MANUTENÇÃO DO PAVIMENTO DE CONCRETO DA AV. DAS AMOREIRAS.

No estudo realizado sobre a Av. das Amoreiras, apresentado no capítulo 8, verificou-se que a utilização de materiais especiais para reparo dos defeitos, em pavimentos de concreto, só seriam interessantes nos casos em que as manutenções tivessem caráter preventivo.

De fato, nas manutenções preventivas, a grande maioria dos reparos é feita em pontos localizados e, normalmente, não demanda demolição e reconstrução de grandes áreas do pavimento. Assim, menores áreas reconstruídas implicam menores volumes de materiais, o que justifica o emprego dos materiais especiais, mesmo que estes tenham maior custo unitário. O caso da Av. das Amoreiras vem a confirmar tal afirmativa.

Na opção 1 de manutenção considerada (primeira manutenção aos 12 anos e as demais, a cada 2 anos), os custos para o reparo do pavimento somam R\$74.566,00. Nesta opção, considerou-se que os reparos dos defeitos que implicariam perda de área íntegra do pavimento seriam feitos pela demolição parcial ou total das placas, sucedida de sua reconstrução com concreto de cimento Portland. Considerou-se que os demais defeitos seriam reparados com cimentos especiais e resinas sintéticas.

Na opção 2 de manutenção (primeira manutenção aos 12 anos e as demais, a cada 6 anos), consideraram-se os mesmo tipos de material; no entanto, os custos de reparo somam R\$79.344,00. Essa elevação dos custos deve-se ao aumento dos defeitos, cujos reparos seriam feitos com materiais especiais.

Todavia, nas opções 3 e 4 (primeira manutenção aos 18 e 24 anos, respectivamente, e as demais, a cada 6 anos), embora os materiais de reparo considerados sejam os mesmos, os custos para os reparos somam R\$57.797,00 e R\$45.540,00. Essa diferença nos custos, em relação às

opções 1 e 2, deve-se ao fato de que ocorreria uma maior deterioração do pavimento, de modo que as áreas íntegras, remanescentes, diminuiriam. Nesse caso, a maioria dos defeitos seria reparada com concreto de cimento Portland, cujos custos são bem inferiores aos dos cimentos especiais e das resinas sintéticas. O quadro 9.3 apresenta percentual de placas, que seriam reparadas ao final dos 30 anos de idade do pavimento, em função das opções de manutenção consideradas.

Tipo de Defeito	% de placas reparadas ao final dos 30 anos de idade			
	Opção 1	Opção 2	Opção 3	Opção 4
Reparos com concreto de cimento Portland (placas divididas e fissuras com alto grau de severidade)	16%	25%	30%	50%
Reparos com cimentos especiais (quebras de canto)	3%	6%	2%	1%
Reparos com resinas a base de epóxi (juntas esborcinadas)	3%	6%	4%	3%
Reparos com resinas a base de poliuretano (fissuras com baixo grau de severidade)	78%	73%	64%	46%

Quadro 9.3 percentual de placas reparadas, ao final dos 30 anos de idade do pavimento, em função das opções de manutenção consideradas.

Comparando-se as opções 1 e 2 de manutenção, verifica-se que, nesta última, ocorre um aumento de placas com juntas esborcinadas e placas com quebras de canto, o que explica o preço mais elevado de uma para outra manutenção.

Todavia, pelo quadro 9.3, pode-se observar que, enquanto aumenta o percentual de placas reparadas com concreto de cimento Portland, de menor custo unitário, decresce o de placas reparadas com cimentos e resinas especiais, de maior custo unitário. Tanto é assim que, na opção 1 de manutenção, as placas reparadas com concreto de cimento Portland correspondem a 25% do total, contra 50%, verificado na opção 4. Esse comportamento, portanto, explica o motivo pelo qual o custo de manutenção, na opção 4, apesar da maior deterioração do pavimento, é tão menor que o da opção 1.

A despeito da diferença verificada nos custos, a opção 1 de manutenção é a mais vantajosa, pois, além de preservar o estado estrutural do pavimento (conforme apresentado na figura 8.4), sua execução requer menor tempo de interdição do pavimento, acarretando menores transtornos ao tráfego.

10. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.

10.1. CONCLUSÕES.

O estudo dos fatores que influenciam a durabilidade de um pavimento de concreto, o estudo dos materiais e dos procedimentos para o reparo de seus defeitos, e a avaliação econômica da manutenção de um pavimento real, apresentados no presente trabalho, permitem as seguintes conclusões:

Com relação ao desempenho dos pavimentos de concreto:

- (1) A longevidade de um pavimento só é alcançada se o seu projeto for calcado em parâmetros corretos, relativos à previsão do tráfego; condições do subleito; condições climáticas etc., e se, em sua construção, forem adotados adequados padrões de qualidade;

- (2) Com relação ao padrão de qualidade, este deve ser seguido em todas as fases que envolvem a implantação de um pavimento de concreto, desde a concepção do projeto até a execução da obra.
- (3) Apesar de os pavimentos de concreto serem bem projetados e bem construídos, eles estão sujeitos a sofrerem danos causados por agentes deletérios, que, muitas vezes, são impossíveis de serem previstos, dentre os quais: aumento do tráfego, por mudanças sócio-econômicas das regiões abrangidas pelo pavimento, e fenômenos climáticos excepcionais. Portanto, a previsão, ou não, de manutenção, é um fator que deve ser considerado ainda na fase de projeto.

Com relação à inspeção e avaliação do pavimento de concreto:

- (1) Embora os critérios para a inspeção por amostragem estejam especificados na norma DNER-48 (11), verificou-se, no desenvolvimento do presente trabalho, que, dependendo da extensão do pavimento, dos defeitos existentes e das placas selecionadas na inspeção, o resultado da avaliação pode ser bem diferente da realidade. Portanto, a inspeção por amostragem deve ser vista com muita cautela.
- (2) A norma DNER-48 (11) não atribui graus de severidade aos defeitos classificados como buracos, provavelmente porque, nos EUA, país de onde a referida norma é originária, a existência de buracos é tão inadmissível, que a sua ocorrência sequer é considerada. Urge, portanto, que a norma de inspeção de pavimentos de concreto seja adequada à realidade do Brasil, onde os buracos ocorrem e sua correção, quando feita, só se dá, muitas vezes, vários dias após o seu aparecimento.

Com relação aos materiais para reparo dos defeitos em pavimentos de concreto:

- (1) Os materiais à base de cimentos aluminosos são os que apresentam maior ganho de resistência à compressão, em menor tempo. No entanto, por serem altamente reativos, são extremamente susceptíveis a fissurações por retração térmica e hidráulica, quando aplicados em espessuras maiores que 50mm. Portanto, sua utilização na manutenção de pavimentos de concreto só é aconselhável em defeitos, cujo reparo tenha espessura inferior a 50mm.
- (2) Os cimentos modificados por polímeros são extremamente versáteis e não têm limitação de espessura. Desse modo, a sua utilização é apropriada para o reparo de vários tipos de defeitos.
- (3) De todas as características que os materiais de reparo devem possuir, a mais importante refere-se ao seu comportamento quanto à fissuração. O sucesso do reparo de um defeito depende, principalmente, da não fissuração do material utilizado. Portanto, materiais menos susceptíveis à retração devem ser privilegiados.

Com relação à manutenção de um pavimento de concreto:

- (1) As manutenções que conferem melhor estado estrutural ao pavimento e apresentam menor custo são aquelas realizadas em intervalos menores de tempo. Nessas condições, têm, via de regra, caráter preventivo, pois os defeitos podem ser reparados antes que atinjam dimensões, que tornem necessárias a demolição e a reconstrução das placas de concreto. Portanto, intervalos menores de manutenção devem ser privilegiados.
- (2) Manutenções em intervalos maiores de tempo podem apresentar menores custos, desde que os defeitos atinjam severidade que justifique a demolição e a reconstrução das placas danificadas. Porém, a deterioração do pavimento pode chegar ao ponto de torná-lo totalmente inadequado ao tráfego. Desse modo, quando se trata de manutenção de um

pavimento, o fator custo não deve ser colocado em primeiro plano, em detrimento da qualidade.

- (3) Para o caso do pavimento real estudado, a melhor opção de manutenção, do ponto de vista técnico, é aquela cuja primeira intervenção seria realizada aos 12 anos de idade, sucedida de novas intervenções a cada 2 anos. Nesse caso, o somatório de V_{PL} dos custos de manutenção resultaria em R\$74.566,00, mas o pavimento manteria seu estado estrutural com conceito entre muito bom e excelente, até os 30 anos de idade.

10.2. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.

Durante o desenvolvimento do presente trabalho, identificou-se a ausência de alguns dados técnicos, cuja obtenção fica como sugestão para futuras pesquisas, a saber:

- (1) Realização de ensaios com os produtos de reparo existentes no Brasil, com vistas a se verificar a confiabilidade das informações fornecidas por seus fabricantes.
- (2) Avaliação do desempenho dos pavimentos de concreto brasileiros em geral, e, especialmente, daqueles utilizados como corredores para circulação exclusiva de ônibus urbanos.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) **SENÇO, W.** 1997. Manual de Técnicas de Pavimentação. 1ª(ed.) Editora Pini. São Paulo. 746.
- (2) **CNT - Confederação Nacional dos Transportes.** Assessoria de Estatística e Pesquisa da. 1999. Pesquisa Rodoviária. in: Confederação Nacional dos Transportes. Brasília, DF. 17. (<http://www.cnt.org.br>).
- (3) **YODER, E.J. & WITCZAK, M.W.** 1975. Principles of Pavement Design. 2ª(ed.) John Wiley. New York
- (4) **MOURA, J.C.** 1999. Análise Comparativa do Desempenho dos Métodos de Dimensionamento de Pavimentos Rígidos. UNICAMP. Campinas, São Paulo. 177.
- (5) **PAIVA, C. E. L. & GARNETT NETO, G.** O Pavimento de Concreto e seus Defeitos Observáveis. in: 3º Simpósio de Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço. Novembro Belém, PA: ABPV., 1999, 10p.
- (6) **PACKARD, R. G.** 1994. Pavement Costs and Quality. in: Concrete International Journal - American Concrete Institute. august 36 - 38.
- (7) **PUBLIC ROAD**, vol.36, nº 9, Ago/1971, p.198-199

- (8) **FORSTER, S. W.** "Concrete Materials and Mix Design for Durable Pavements", in Proceedings, Sixth International Purdue Conference on Concrete Pavement, November 1997.
- (9) **PITTA, M. R. & CARVALHO, M. D. & RODRIGUES, P. P.F.** 1992. Materiais para Pavimentos de Concreto Simples. 4ª(ed.) ABCP. São Paulo. 181
- (10) **FHWA.** <http://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgmt>
- (11) **DNER-48.** 1992. Manual de Pavimentos Rígidos. 1ª(ed.) DNER. Rio de Janeiro. 320
- (12) **PAIVA, C E. L. & GARNETT NETO, G..** 2000. Estudo Comparativo de Avaliação de Pavimentos Rígidos de Concreto de Cimento Portland, Considerando Diferentes Condições Amostrais. in: 32ª Reunião Anual de Pavimentação. Brasília, DF. 16 a 19/10. Associação Brasileira de Pavimentação. Anais 11
- (13) **DOMINGUES, F. A. A.** 1993. Manual de Identificação de Defeitos de Revestimentos Asfálticos de Pavimentos. 1ª(ed.) Felipe Augusto Aranha Domingues. São Paulo. 96.
- (14) **CALTRANS.** Highway Design Manual. Chapter 600. Design of the Pavement Structural Section. Pavement Structural Rehabilitation
- (15) **CARVALHO, M. D.** 1984. Recuperação e Manutenção de Pavimentos de Concreto; Prática Recomendada. ABCP. Boletim Técnico 104. 29p
- (16) **MORGAN, D.R.** "Compatibility of Concrete Repair Materials and System". Construction and Building Materials. USA, 10, 57 - 67., 1996
- (17) **DECTER, M.H. & KEELEY, C.** 1997. Durable Concrete Repair - Importance of Compatibility and Low Shrinkage. Construction and Building Materials. 11 267 - 273
- (18) **GIAMMUSSO; S. E..** 1992. Manual do Concreto. (1ª ed.). Editora Pini, São Paulo. 162p
- (19) **OHAMA, Y..** 1998. Polymer-Based Admixtures. Cement and Concrete Composite. 20 189-212.

- (20) **BLAGA, A. & BEAUDOIN, J.J.** 1995. Polymer Concrete. in: National Research Council Canada(eds.) Canadian Building Digest242(ed.) Division of Building Research. Ottawa, Canadá 4p.
- (21) **EMMONS, P.H & VAYSBURG, A.M.** 1996. System Concept in Design and Construction of Durable Concrete Repairs. Construction and Building Materials. 10 69-75.
- (22) **FOSROC BRASIL** – “Guia de Produtos”. Fosroc Brasil, edição 2000, Mogi das Cruzes, SP, Brasil, 2000
- (23) **MBT BRASIL** – “Manual Técnico”. Master Builders Technologies, Santo André, SP, Brasil, 1999
- (24) **CERL** - Construction Engineering Research Laboratory. 1985. USACE. Spall Repair. REMR TECHNICAL NOTE CS-MR-4.5
- (25) **ES 328/97** Especificação de Serviços -. 1992. in: DNER(1ª ed.) Manual de Pavimentos Rígidos DNER. Rio de Janeiro 320.
- (26) **PAIVA, C. E. L. & GARNETT NETO, G.** 2000. Produtos Empregados na Reabilitação de Pavimentos Rígidos. in: 1º Congresso Rodoviário Português. Lisboa, Portugal. novembro . Anais. 11.
- (27) **BENT, T.** Technical University of Denmark. 1995. Highway and Traffic Engineering in Developing Countries. (1ª ed.). E&FN Spon. London
- (28) **FERNADES JUNIOR, J. L. & ZERBINI, L. F.** in CNT / ANPET. Transportes em Transformação IV - Problemas e Soluções de Transportes no Brasil. São Paulo. Makron Books, 2001. p 83-99
- (29) **GARBER, N.J & HOEL, L. A.,** 1999. Traffic in Highway Engineering. 2ª(ed.). PWS Publishing. Pacific Glove. CA, USA
- (30) **HUDSON, W.R & HAAS, R. & ZANIEWSKI, J.** 1994. Modern Pavement Management. 1ª(ed.). Krieger Publishing Company. Malbar, Flórida, EUA

- (31) **ADLER, H. A.** 1978. Avaliação Econômica dos Projetos de Transportes. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro. 171p.
- (32) **PAIVA, C. E. L. & GARNETT NETO, G.** 2001. O Pavimento de Concreto, Seus Defeitos e Reparos. in: SICOV - Simpósio de Internacional de Conservação Viária. São Paulo, setembro. Anais. 25p
- (33) **HIRSCHFELD, H.** 2000. Engenharia Econômica e Análise de Custos. (7ª ed.). Editora Atlas S.A. São Paulo. 519p.
- (34) **PAIVA, C. E. L. & GARNETT NETO, G.** 2001. Análise Econômica da Manutenção de Um Pavimento Rígido de Concreto in: 33ª Reunião Anual de Pavimentação Florianópolis, SC, 20 a 23/11. Associação Brasileira de Pavimentação. Anais, 13.

BIBLIOGRAFIA DE APOIO (CONSULTADAS E NÃO REFERIDAS).

WANG, K. & JANSEN D. C. & SAH, SURENDRA P. & KARR, Alan F. 1997. Permeability Study of Cracked Concrete. *Cement and Concrete Research*. 27 381-393.

CHEUNG, M.S. & KYLE, B. R. 1996. Service Life Prediction of Concrete Structures by Reability Analysis. *Concrete and Building Materials*. 10 45-55.

ABU-TAIR, A.I. & LAVERY, D. & NADJAI, A. & RIGDEN, S.R. & AHMED, T.M.A. 2000. A New Method for Evaluating the Surface Roughness of Concrete Cut for Repair or Strengthening. *Construction and Building Materials*. 14 171-176.

BASHEER, P.M.A. & CHIDIAC, S.E & LONG, A.E. 1996. Predictive Models for Deterioration of Concrete Structures. *Construction and Building Materials*. 10 27-37.

HO, D. W. S. & CHIRGWIN, G.J. 1996. A Performance Specification for Durable Concrete. *Construction and Building Materials*. 10. 375-379.

RAMSAMOOJ, D.V. & LIN, G.S. 1998. Stresses at Joints and Cracks in Highway and Airports Pavements. *Engineering Fractures Mechanics*. 60. 507-518.)

WORM, J. M. & HARTEN, A. 1996. Model Based Decision Support for Planning of Road Maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*. 51. 305-316

FOWLER, D. W. 1999. Polymers in Concrete: a Vision for the 21st Century. *International Centre for Aggregate Research*. 21. 449-452