

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA COLMATAÇÃO DE
FISSURAS NO PAVIMENTO RÍGIDO, DA OBRA DA BR 101-
NORDESTE, LOTE 05, PELA APLICAÇÃO DA INJEÇÃO DE
CALDA COLOIDAL DE MICROCIMENTO**

HERALDO DE ALCÂNTARA BITTENCOURT

Campina Grande
Data: JUNHO / 2010



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

HERALDO DE ALCÂNTARA BITTENCOURT

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA COLMATAÇÃO DE
FISSURAS NO PAVIMENTO RÍGIDO, DA OBRA DA BR 101-
NORDESTE, LOTE 05, PELA APLICAÇÃO DA INJEÇÃO DE
CALDA COLOIDAL DE MICROCIMENTO**

CAMPINA GRANDE - PB
JUNHO/2010

HERALDO DE ALCÂNTARA
01421/10
CGNC_015

UFCG/BIBLIOTECA

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

HERALDO DE ALCÂNTARA BITTENCOURT

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA COLMATAÇÃO DE
FISSURAS NO PAVIMENTO RÍGIDO, DA OBRA DA BR 101-
NORDESTE, LOTE 05, PELA APLICAÇÃO DA INJEÇÃO DE
CALDA COLOIDAL DE MICROCIMENTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof^o Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho

**CAMPINA GRANDE - PB
JUNHO/2010**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B634a

Bittencourt, Heraldo de Alcântara.

Avaliação da eficiência da colmatação de fissuras no pavimento rígido, da obra da BR-101-Nordeste, Lote 05, pela aplicação da injeção de calda coloidal de microcimento /Heraldo de Alcântara Bittencourt. — Campina Grande, 2010.

103 f.: il. col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Milton Bezerra das Chagas Filho, Dr.

Referências.

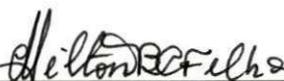
1. Pavimentos Rígidos. 2. Patologia de Pavimento. 3. Injeção com Microcimento. I. Título.

CDU 625.84(043)

HERALDO DE ALCÂNTARA BITTENCOURT

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA COLMATAÇÃO DE
FISSURAS NO PAVIMENTO RÍGIDO, DA OBRA DA BR 101-
NORDESTE, LOTE 05, PELA APLICAÇÃO DA INJEÇÃO DE
CALDA COLOIDAL DE MICROCIMENTO**

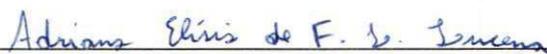
Aprovada em: 18 / 06 / 2010



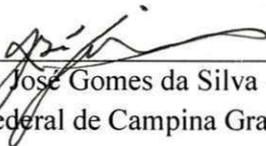
Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho - Orientador
Universidade Federal de Campina Grande- UAEC - PPGECA



Prof. Dr. Olavo Francisco dos Santos Júnior - Examinador Externo
Universidade Federal do Rio Grande do Norte – DEC - CT



Prof. Dr. Adriano Elísio de Figueiredo Lopes Lucena - Examinador Interno
Universidade Federal de Campina Grande - UAEC - PPGECA



Prof. Dr. José Gomes da Silva - Examinador Interno
Universidade Federal de Campina Grande - UAEC - PPGECA

CAMPINA GRANDE - PB
JUNHO/2010

AGRADECIMENTOS

- A Deus Misericordioso, fonte de inspiração e sabedoria.
- Ao Prof. Dr. Milton Bezerra das Chagas Filho, pela oportunidade, orientação, amizade, respeito e admiração adquiridos ao longo desse trabalho.
- Aos membros da Banca Examinadora.
- Aos meus familiares que sempre incentivaram os meus estudos;
- Aos meus sogros José Melo e Lourdinha pela acolhida, apoio e incentivo na cidade de Campina Grande.
- Aos amigos e colegas, que contribuíram direta e indiretamente na elaboração desta dissertação;
- Ao Exército Brasileiro, em especial ao Major Almeida Lima, por ter me proporcionado todos os meios necessários para o desenvolvimento desta dissertação.

*A minha esposa Mona Lisa, ao meu
filho Caio Henrique, ao meu pai e a
minha mãe pelo apoio.*

"Princípios da Eficiência: não temer o futuro nem idolatrar o passado. O insucesso é apenas uma oportunidade de começar de novo com mais inteligência. O passado só nos serve para mostrar nossas falhas e fornecer indicações para o progresso no futuro".

Henry Ford

RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo geral avaliar a eficiência da colmatação de fissuras, no pavimento de concreto de cimento *Portland*, da obra da BR-101-Nordeste, Lote 05, recuperado através da aplicação da injeção de calda coloidal de microcimento. Usa-se recursos metodológicos com pesquisa bibliográfica, visitas técnicas e elaboração de estudo de caso; Apresenta-se um breve histórico sobre os tipos de pavimentos de concreto de cimento *Portland* e suas propriedades; deterioração e reabilitação destes tipos de pavimentos e a descrição da patologia detectada. Na avaliação do pavimento foram utilizados ensaios de compressão axial e microscopia óptica, observando-se parâmetros de resistência e fissuração. Apresentam-se os resultados e análises obtidos através da aplicação da injeção de calda coloidal de microcimento nas fissuras do pavimento da obra mencionada. Concluiu-se que para recuperação de pavimento de concreto de cimento *Portland* a tecnologia de aplicação da injeção de calda de microcimento no tratamento da patologia identificada nesta obra específica, mostrou-se pouco eficiente no que diz respeito à colmatação, podendo assim influenciar em mudanças nas características físicas e mecânicas principalmente no que diz respeito à durabilidade. Sugere-se então que seja feito um acompanhamento no referido pavimento através do ensaio de fadiga, ou outros, como um meio de prevenção e até mesmo de investigação sobre sua vida útil.

Palavras-chave: Fissuras em Pavimento Rígido. Injeção de Calda Coloidal. Reabilitação de Pavimento, Durabilidade.

ABSTRACT

This thesis aims at evaluating the efficiency of clogging of cracks in the pavement of Portland cement concrete, the work of BR-101-Northeast, Lot 05, recovered by application of the injection spray colloidal microcement. It uses resources with methodological literature, technical visits and preparation of case study, present a brief history about the types of pavements of Portland cement concrete and its properties, deterioration and rehabilitation of these types of pavements and the description of the pathology detected. In the evaluation of pavement were used axial compression tests and optical microscopy, observing and cracking resistance parameters. Presents and analyzes the results obtained by application the injection of spray colloidal microcement syrup into cracks of the pavement of the work mentioned. It was concluded that recovery of pavement Portland cement concrete application of the technology of injection spray microcement treatment of the pathology identified in this particular work, was less efficient with regard to clogging and may thus influence on changes in physical and mechanical characteristics especially with regard to durability. It is suggested then that monitoring is done on that floor through the fatigue test, or others as a means of preventing and until same investigation on his life.

Keywords: Paviments hard. Pathology of pavement. Injection with microcement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Tipos de bases e sub-bases flexíveis e semi-rígidas.....	22
Figura 2.2 – Distribuição de pressões em estruturas de pavimento.....	25
Figura 2.3 – Seção típica de Pavimento Rígido.....	26
Figura 2.4 – Ábaco para a determinação da taxa de evaporação da água de mistura.....	34
Figura 2.5 – Fissuras em pavimento rígido provocadas pela retração plástica.....	36
Figura 2.6 – Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis.....	39
Figura 2.7 – Características físico-químicas do microcimento.....	42
Figura 2.8 – Injeção de microcimento na fissura do pavimento.....	44
Figura 2.9 – Extração de corpo de prova após injeção sobre fissura	44
Figura 2.10 – Fissuras na BR-101, corredor Nordeste no Lote 5.....	46
Figura 2.11 – Execução da cura química.....	47
Figura 2.12 – Resultado da aplicação da resina epóxídica.....	48
Figura 2.13 – Corpo de prova extraído do pavimento após a aplicação da resina epóxídica.....	49
Figura 2.14 – Obturador a vácuo.....	50
Figura 2.15 – Obturador de inserção.....	50
Figura 2.16 – Vaso de pressão manual (picetes)	51
Figura 2.17 – Obturador de adesão superficial.....	51
Figura 2.18 – Obturador de fenda.....	52
Figura 2.19 – Isolamento da área.....	54
Figura 2.20 – Lavagem do pavimento e das fissuras com água pressurizada visando a desobstrução das fissuras por partículas sólidas.....	54
Figura 2.21 – Secagem e expulsão da água sobre as placas e no interior das fissuras por aplicação de ar comprimido seguido de evaporação natural.....	55
Figura 2.22 – Preparo da calda coloidal de microcimento com o emprego do misturador coloidal.....	55
Figura 2.23 – Preenchimento das fissuras através da injeção por gravidade (Picetes) utilizando calda coloidal de microcimento.....	56
Figura 2.24 – Remoção e limpeza do excesso de calda coloidal sobre a fissura.....	56

Figura 2.25 – Limpeza com caminhão Pipa.....	60
Figura 2.26 – Compressor de ar para remoção de partículas sólidas.....	60
Figura 2.27 – Gerador para alimentar o misturador coloidal.....	62
Figura 2.28 – Extratora para retirada dos testemunhos.....	62
Figura 2.29 – Trecho da BR101- Lote 05.....	63
Figura 2.30 – Seção tipo do pavimento rígido da BR101- Lote 05.....	64
Figura 2.31 – Detalhamento das juntas transversais com barras de transferência.....	65
Figura 2.32 – Detalhamento das juntas longitudinais com barras de ligação.....	65
Figura 2.33 – Disposições das barras de transferência e de ligação no pavimento.....	66
Figura 3.1 – Trecho de placas recuperadas próximo ao km 114.....	68
Figura 3.2 – Equipamento de extração dos corpos de prova.....	69
Figura 3.3 – Equipamento de rompimento dos corpos de prova.....	70
Figura 3.4 – Equipamento de microscopia óptica, SC30.....	70
Figura 3.5 – Equipamento de microscopia óptica, SZ40.....	71
Figura 3.6 – Corpo de prova extraído sem injeção de calda coloidal de microcimento.....	72
Figuras 3.7 – Corpo de prova extraído após injeção de calda coloidal de microcimento...	72
Figuras 3.8 – Corpo de prova extraído após injeção de calda coloidal de microcimento...	73
Figura 3.9 – Corpo de prova submetido à compressão axial.....	73
Figura 3.10 – Corpo de prova submetido à compressão axial.....	74
Figura 3.11 – Corpo de prova seccionado em cinco partes.....	75
Figura 3.12 – Identificação das regiões dos CP's.....	75
Figura 3.13 – Amostra retirada do corpo de prova com dimensões 3cm x 3cm x 0,5cm...	76
Figura 4.1 – Secção 1 do CP 01.....	86
Figura 4.2 – Amostra 1.1.1.A retirada do CP 01 colmatada com microcimento.....	88
Figura 4.3 – Amostra 1.1.1.A retirada do CP 01 apresentando vazios após colmatação...	89
Figura 4.4 – Detalhamento das secções CP 01.....	89
Figura 4.5 – Amostra 2.1.1.A retirada do CP 02 colmatada com microcimento.....	90
Figura 4.6 – Detalhamento das secções do CP 02.....	91
Figura 4.7 – Amostra 3.3.3.A retirada do CP 03 colmatada com microcimento.....	92
Figura 4.8 – Amostra 3.1.1B retirada do CP 03 fissura não colmatada.....	93
Figura 4.9 – Detalhamento das secções do CP 03.....	93
Figura 4.10 – Amostra 4.2.2A retirada do CP 04 colmatada com microcimento.....	94
Figura 4.11 – Detalhamento das secções do CP 04.....	95
Figura 4.12 – Amostra 5.1.1.A retirada do CP 05 colmatada com microcimento.....	96

Figura 4.13 – Amostra 5.1.1.A retirada do CP 05 apresentando vazios após colmatação.	96
Figura 4.14 – Detalhamento das secções do CP 05.....	97

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 - Tipos de pavimentos de concreto.....	28
QUADRO 2.2 - Principais características de concretos de pavimentação potencialmente sujeitos ao controle estrito.....	33
QUADRO 2.3 - Fluxograma de atuação para a resolução de problemas patológicos.....	40
QUADRO 2.4 - Identificação do corpo de prova.....	52
QUADRO 2.5 – A proporção do traço da calda coloidal de microcimento.....	58
QUADRO 2.6 - Seqüência para a preparação da calda coloidal de microcimento.....	59
QUADRO 4.1 - Resistências obtidas pelos corpos de prova sem aplicação da injeção de microcimento.....	81
QUADRO 4.2 - Resistências obtidas pelos corpos de prova com aplicação da injeção de microcimento.....	82
QUADRO 4.3 - Resistências obtidas pelos corpos de prova com aplicação da injeção de microcimento.....	83
QUADRO 4.4 - Resistências obtidas pelos corpos de prova com aplicação da injeção de microcimento.....	84
QUADRO 4.5 - Resistências obtidas pelos corpos de prova com aplicação da injeção de microcimento.....	85

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Origem das manifestações patológicas em diversos países.....	39
TABELA 02 – Coeficiente de distribuição de Student.....	78
TABELA 03 - Seqüência de amostras retiradas dos corpos de prova.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ABCP	Associação Brasileira Cimento <i>Portland</i>
PCA	Portland Cement Association
CTRN	Centro de Tecnologia de Recursos Naturais
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
CS	Concreto simples
CCR	Concreto Compactado a Rolo
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CP	Corpo de prova
A%	Teor de água/ materiais secos
P _{ag}	Peso da água
P _c	Peso do cimento
P _m	Peso do agregado miúdo + peso agregado graúdo
Ø	Diâmetro
µm	10 ³ mm
f _{ctM, est}	Valor estimado da resistência característica do concreto à tração na flexão
f _{ctM28}	Resistência média do concreto à tração na flexão, na idade de 28 dias
f _{ck, est}	Valor estimado da resistência característica do concreto à compressão axial
f _{c28}	Resistência média do concreto à compressão axial, na idade de 28 dias

s Desvio padrão
k Coeficiente de distribuição de Student
n Número de exemplares

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	18
1.1 OBJETIVOS.....	19
1.1.1 Objetivo Geral	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	20
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1 PAVIMENTOS.....	21
2.1.1 Conceito	21
2.1.2 Tipos de Pavimentos	24
2.2 PAVIMENTO DE CONCRETO DE CIMENTO <i>PORTLAND</i>	26
2.2.1 Origem	26
2.2.2 Tipos de Pavimentos de concreto de cimento <i>Portland</i> e suas características.....	27
2.3 CONTROLE TECNOLÓGICO APLICADO AO CONCRETO NA CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTOS.....	28
2.3.1 Propriedades do Concreto Fresco e Endurecido.....	29
2.3.2 Cura do Concreto.....	33
2.4 DETERIORAÇÃO DOS PAVIMENTOS DE CIMENTO <i>PORTLAND</i>	35
2.4.1 Defeitos dos Pavimentos Rígidos.....	35
2.4.2 Serviços de Manutenção de Pavimentos Rígidos.....	37
2.4.3 Restauração de Pavimentos Rígidos	38
2.4.4 Origem dos Problemas Patológicos.....	38
2.5 INJEÇÃO DE CALDA COLOIDAL DE MICROCIMENTO.....	41
2.5.1 A Tecnologia de Injeção.....	41
2.5.2 O Microcimento.....	41
2.5.3 Reologia da Calda de Microcimento.....	42
2.6 RECUPERAÇÃO DO PAVIMENTO RÍGIDO COM MICROCIMENTO.....	43
3.ESTUDO DE CASO.....	45
3.1 RECUPERAÇÃO DO PAVIMENTO DE CONCRETO DE CIMENTO <i>PORTLAND</i> DA OBRA DE DUPLICAÇÃO DA BR-101- LOTE 05, COM	

INJEÇÃO DE CALDA DE MICROCIMENTO.....	45
3.1.1 Metodologia para Identificação do Problema Patológico.....	45
3.1.1.1 Vistoria.....	45
3.1.1.2 Diagnóstico.....	45
3.1.1.3 Prognóstico.....	47
3.1.1.4 Reparo e Restrição ao Uso.....	48
3.1.1.5 Execução.....	53
3.1.2 Materiais e Equipamentos Utilizados no Procedimento de Recuperação do Pavimento.....	57
3.1.2.1 Cimento.....	57
3.1.2.2 Traço da Calda Coloidal de Microcimento.....	57
3.1.2.3 Equipamento de Campo.....	59
3.1.2.4 Equipamento de Laboratório.....	62
3.1.2.5 Placas de Concreto.....	63
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	68
4.1 MATERIAIS.....	68
4.1.1 Placas de Concreto.....	68
4.1.2 Equipamentos de Campo.....	69
4.1.2.1 Extratora.....	69
4.1.3 Equipamentos de Laboratório.....	69
4.1.3.1 Prensa Hidráulica.....	69
4.1.3.2 Microscopia Óptica.....	70
4.2 MÉTODOS.....	71
4.2.1 Extração de Corpos de Prova.....	71
4.2.2 Microscópio Óptico.....	74
5 .RESULTADOS E ANÁLISES.....	77
5.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DAS EXTRAÇÕES DE CORPOS DE PROVA.....	77
5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MICROSCÓPIO ÓPTICA.....	86
6. CONCLUSÕES	98
7. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	100
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento do país, vários setores da economia, tais como: as indústrias, o comércio e os serviços, acompanharam esse crescimento, ao contrário do ocorrido com a infra-estrutura de suporte desses setores. Essa infra-estrutura composta de aeroportos, portos e rodovias não conseguiram a tempo, se adequar as modificações necessárias para viabilizar o desenvolvimento acentuado do país.

Os aeroportos, portos e rodovias passaram a não comportar o excedente gerado por esses setores. No intuito de reverter esta situação, o país (Governo) investe em programas que passam a reestruturá-los, gerando um aumento no número de obras.

Uma infra-estrutura de suporte bem desenvolvida tem importante papel para manter esses setores em um processo contínuo de crescimento. Por esta razão e com o objetivo de torná-la duradoura, novas tecnologias são estudadas e implantadas.

O pavimento de concreto de cimento *Portland* é um exemplo dessas novas tecnologias, implantada e sendo bastante utilizada em diversas obras, principalmente na malha rodoviária, em pátios de aeronaves e em estaleiros.

Apesar dessa nova tecnologia ser bastante difundida e empregada, são comuns as ocorrências de patologias decorrentes de diferentes causas, tais como:

- Condições ambientais (clima e tempo),
- A deterioração de pavimentos devido à falta de manutenção;
- As condições de solicitação do pavimento acima da projetada;
- Falha no processo construtivo;
- Falta de controle tecnológico; e
- Qualidade na execução.

Segundo Abreu (2005), a manutenção de pavimentos rígidos deve ser realizada de maneira criteriosa, iniciando pela observância das condições de uso de maneira a assegurar a vida útil e serventia estabelecida quando do projeto desse pavimento, quer seja ele rodoviário ou industrial.

As patologias mais comuns que acometem esses pavimentos são: as perdas de suporte por bombeamento de finos da base, o recalque diferencial (resultando em escalonamento de juntas ou degrau), o descalçamento de placa também conhecido como placa bailarina, placas

divididas, esborcinamento de juntas, quebras localizadas, fissuras lineares dentre outros (ABREU, 2005).

Com a identificação desses tipos de patologias, busca-se uma alternativa de recuperação que possa garantir ao pavimento as mesmas condições estruturais para o qual foi projetado.

Sob essa perspectiva, este trabalho apresenta uma alternativa de recuperação de pavimentos, e pretende analisar sua eficiência, quando da aplicação da injeção de calda coloidal de microcimento na recuperação de pavimento de concreto rígido no trecho da obra da BR 101- Nordeste, Lote 05.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência da colmatação das fissuras do pavimento de concreto de cimento *Portland*, da obra da BR 101- Nordeste, Lote 05, recuperado através da aplicação da injeção de calda coloidal de microcimento.

1.1.2 Objetivos Específicos

1. Comparar os resultados das resistências do pavimento recuperado com a aplicação da injeção de calda coloidal de microcimento com a resistência prevista em projeto;
2. Analisar o comportamento da ruptura à compressão dos corpos de prova do pavimento recuperado com a aplicação da injeção de calda coloidal de microcimento; e
3. Analisar a capacidade de penetração e preenchimento das fissuras por injeção.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação está assim organizada. No capítulo 2, referente à revisão bibliográfica, apresentam-se os tipos de pavimentos, métodos de avaliação do pavimento rígido, deterioração do pavimento de concreto de cimento *Portland*; defeitos, serviços de manutenção e restauração.

No capítulo 3, foi apresentado o estudo de caso.

No capítulo 4, os materiais e os métodos utilizados para a avaliação da recuperação do pavimento de concreto de cimento *Portland* com a injeção de calda coloidal de microcimento.

No capítulo 5, foram apresentados os resultados e análises.

No capítulo 6, apresentam-se as principais conclusões relacionadas à avaliação da recuperação da aplicação da injeção de calda coloidal de microcimento para a recuperação do pavimento de concreto de cimento *Portland* na obra da BR 101- Nordeste, Lote 05.

No capítulo 7, sugestões para futuras pesquisas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos básicos de pavimentação, tipos de pavimentos, propriedades do concreto para pavimentação, bem como os métodos de avaliação do pavimento rígido e os principais defeitos a que o pavimento está sujeito. Dentro desse contexto, expõe-se também medida adotada para a recuperação de um defeito, em um pavimento de concreto de cimento *Portland*.

2.1 PAVIMENTOS

2.1.1 Conceito

A NBR-7207/82 – Pavimentação: terminologia, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1982), define pavimento como uma estrutura construída após a terraplenagem, tendo a finalidade de:

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

O pavimento é composto de dois elementos: a capa ou revestimento, que fica em contato direto com o pneumático e a base, que resiste e distribui os esforços verticais, fazendo com que a pressão aplicada no subleito seja bem inferior àquela aplicada no revestimento (SENÇO, 1997).

Segundo Giammusso (1997), o revestimento de um pavimento deve ter boa resistência ao desgaste, ser tanto quanto possível impermeável, e dar segurança e conforto ao usuário.

O subleito é considerado como fundação do pavimento e não faz parte deste. Sua capacidade de suporte define a espessura do pavimento. Subleitos ruins exigem uma espessura total de pavimento maior. Como as solicitações no pavimento são maiores à medida que se afasta do subleito em direção à superfície, nas camadas superiores utilizam-se materiais mais nobres que aqueles utilizados nas camadas inferiores (SENÇO, 1997).

Nestas camadas superiores estão as bases e sub-bases que podem ser flexíveis e semi-rígidas e se dispõem na seguinte divisão:



Figura 2.1 – Tipos de bases e sub-bases flexíveis e semi-rígidas.
Fonte: DNIT (2006)

a) Bases e Sub-bases Granulares

São as camadas constituídas por solos, britas de rochas ou de escória de alto forno, ou ainda, pela mistura desses materiais. Estas camadas, puramente granulares, são sempre flexíveis.

- Estabilização Granulométrica

Estas camadas são executadas pela compactação de um material ou de mistura de materiais que apresentem uma granulometria apropriada e índices geotécnicos específicos, fixados em especificações.

- Macadames Hidráulico

Trata-se de uma base ou uma sub-base constituída de uma ou mais camadas de pedra britada, de fragmentos entre si e material de enchimento. Este último tem a função principal de travar o agregado graúdo e a função secundária de agir eventualmente como aglutinante. A introdução do material de enchimento nos vazios do agregado graúdo é feita com o auxílio de água, justificando o nome de macadame hidráulico (SENÇO, 1997)

b) Bases e Sub-bases Estabilizadas (com aditivos) (DNIT, 2006)

Estas camadas têm, quase todas, processos tecnológicos e construtivos semelhantes às granulares por estabilização granulométrica, diferente apenas em alguns detalhes.

- Solo-cimento

É uma mistura devidamente compactada de solo, cimento *Portland* e água; a mistura solo-cimento deve satisfazer a certos requisitos de densidade, durabilidade e resistência, dando como resultado um material duro, cimentado, de acentuada rigidez à flexão. O teor de cimento adotado usualmente é da ordem de 6% a 10%.

- Solo Melhorado com Cimento

Esta modalidade é obtida mediante a adição de pequenos teores de cimento (2% a 4%), visando primordialmente à modificação do solo no que se refere à sua plasticidade e sensibilidade à água, sem cimentação acentuada, são consideradas flexíveis.

- Solo-cal

É uma mistura de solo, cal e água e, às vezes, cinza volante, uma pozolona artificial. O teor de cal mais freqüente é de 5% a 6%, e o processo de estabilização ocorre:

- por modificação do solo, no que se refere à sua plasticidade e sensibilidade à água;
- por carbonatação, que é uma cimentação fraca;
- por pozolanização, que é uma cimentação forte.

Quando, pelo teor de cal usado, pela natureza do solo ou pelo uso da cinza volante, predominam os dois últimos efeitos mencionados, tem-se as misturas solo-cal, consideradas semi-rígidas.

- Solo Melhorado com Cal

A adição da cal melhora a resistência a abrasão e aumenta a durabilidade da base e sub-base e essa mistura se dá numa proporção menor que a do solo-cal.

- Solo-betume

É uma mistura de solo, água e material betuminoso. Trata-se de uma mistura considerada flexível.

2.1.2 Tipos de Pavimentos

Em linhas gerais, os pavimentos são classificados em três tipos: flexível, rígido e semi-rígido, conforme detalhado abaixo (DNIT, 2003):

- O pavimento flexível é constituído de uma camada de material betuminoso, que tem a função de revestimento sobre uma ou mais camadas de material granular ou de solos estabilizados, as quais funcionam como base;
- O pavimento rígido constitui-se de placas de concreto de cimento *Portland* sobre uma base de material granular ou cimentada;
- O pavimento semi-rígido é constituído de uma camada de material betuminoso sobre uma base de material estabilizado com cimento.

Podem destacar-se ainda os pavimentos em peças pré-moldadas de concreto de cimento *Portland* (sextavado), e em paralelepípedos. Este último, muito utilizado no passado, mas que teve seu uso reduzido consideravelmente devido à intensificação do uso dos pavimentos flexíveis e rígidos.

Apesar de o pavimento semi-rígido ter um revestimento flexível, segundo Balbo (1993), apresenta comportamento diferenciado e superior ao pavimento flexível, no que concerne à transmissão de pressões para o subleito.

Porém existe uma tendência entre os autores de classificar os pavimentos em dois tipos, em função apenas do material de revestimento do pavimento, desconsiderando as camadas intermediárias:

- Pavimento flexível, executado com material betuminoso;
- Pavimento rígido, executado com concreto de cimento *Portland*.

Segundo Balbo (1993), em termos funcionais, a diferença principal entre o pavimento flexível e o pavimento rígido reside no fato de que as cargas aplicadas no primeiro tendem a criar um campo de tensões mais concentrado junto ao ponto de aplicação das mesmas, enquanto que no pavimento rígido, o campo de tensões é mais disperso, sendo distribuído por toda a extensão da placa, atenuando assim os esforços sobre o subleito, conforme mostra a Figura 2.2.

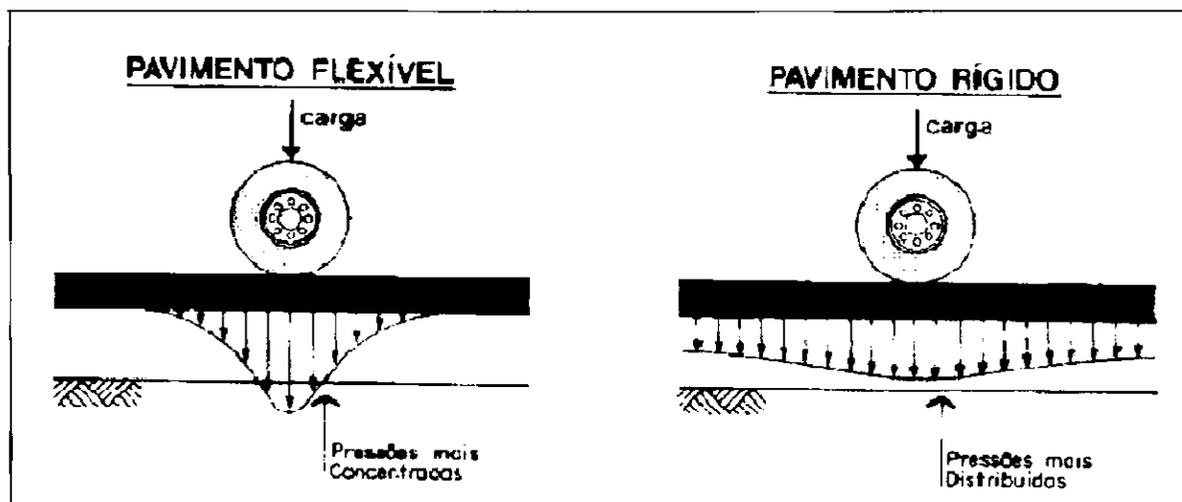


Figura 2.2 - Distribuição de pressões em estruturas de pavimento.
Fonte: Balbo, (1993).

No pavimento flexível o revestimento funciona como camada de rolamento, sendo as outras camadas de base, sub-base e reforço do subleito responsáveis por absorver os esforços devidos ao tráfego. Já no pavimento rígido, a camada de concreto tem duas funções: servir como camada de rolamento e distribuir os esforços sobre a base, conseqüentemente, atenuando os esforços aplicados no subleito. Como as placas de concreto respondem pela maior parte da capacidade estrutural do pavimento, a resistência do concreto é fundamental ao seu dimensionamento. A resistência à tração na flexão deve ser determinada em corpos-de-prova prismáticos, confeccionados e curados conforme NBR 5738, e ensaiados conforme NBR 12142.

Pode-se dizer, portanto, que o pavimento rígido é constituído basicamente de concreto simples (CS), o qual trabalha essencialmente à tração, tem como parâmetros para seu dimensionamento, tráfego de veículos, número de passadas e carga por eixo, capacidade de suporte do sub-solo e resistência à tração na flexão das placas de concreto.

Sobre isso Marques (*apud* HELENE *et al.* 2009) endossa que o pavimento rígido é constituído por camadas que trabalham essencialmente à tração. Seu dimensionamento é baseado nas propriedades resistentes de placas de concreto de cimento *Portland*, as quais são apoiadas em uma camada de transição a sub-base, como ilustra a Figura 2.3.

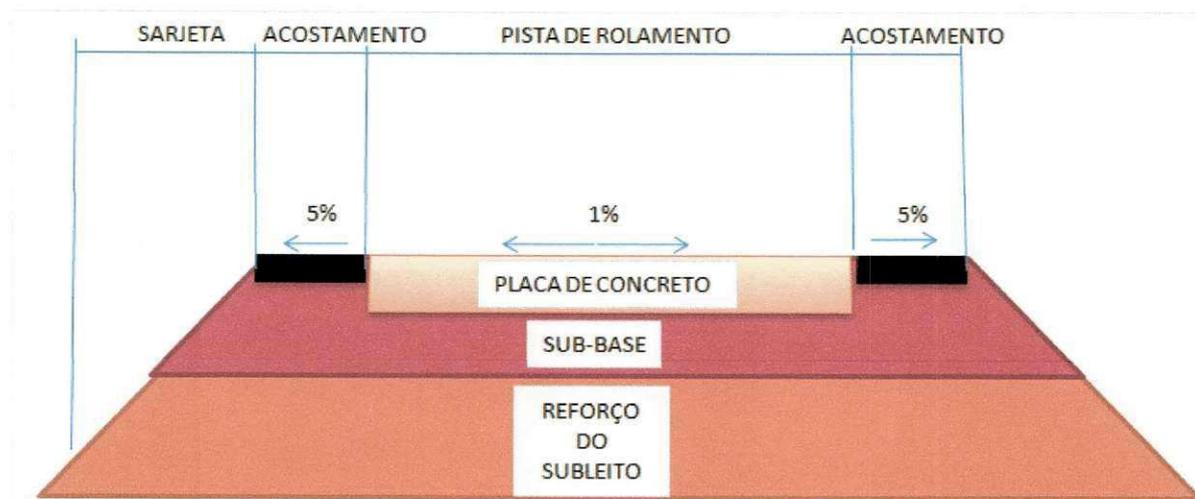


Figura 2.3 - Seção típica de Pavimento Rígido.
Fonte: Marques (*apud* HELENE *et al.* 2009).

2.2 PAVIMENTOS DE CONCRETO DE CIMENTO *PORTLAND*

2.2.1 Origem

O concreto é, depois da pedra da argila e da madeira, um dos materiais de construção mais antigos que a humanidade conhece. Os romanos produziam um tipo de concreto com cinza vulcânica (pozolana natural) e cal que permitia a moldagem e a soldagem de peças formadas por grandes blocos de pedra. Pode-se afirmar que sua origem, em tempos mais recentes, remonta ao ano de 1756, quando John Smeaton utilizou pela primeira vez uma argamassa calcinada na construção do farol de Eddystone (BAUER, 1994).

Foi somente a partir de 1824, entretanto, com o advento do cimento *Portland*, que o concreto assumiu um lugar de destaque entre os materiais de construção, devido à versatilidade que oferecia comparativamente aos demais produtos, possibilitando a moldagem, com relativa facilidade, das mais diversas formas arquitetônicas. Surgiram, então, as primeiras especificações para concreto baseadas no estudo científico de seus elementos constitutivos e das suas propriedades físicas (MEHTA, MONTEIRO; 1994).

O primeiro pavimento tipo de concreto *Portland* foi construído na *Court Avenue*, em *Bellefontaine*, Ohio (EUA), no ano de 1893. Além do pioneirismo, a obra teve seu lado curioso, pois, foi concebida e executada não por um engenheiro, mas por um farmacêutico e químico chamado George Bartholomew, que propôs à municipalidade de construir o

pavimento às suas expensas e receber o pagamento somente após um período de prova da qualidade da solução. Conseqüentemente, a experiência foi bem-sucedida e, sem saber, deu partida ao estabelecimento de uma técnica consagrada, que supre a necessidade pública de contar com pavimentos duráveis e que permitam tráfego seguro, confortável e eficiente com qualquer tempo (ARAÚJO, 2009).

2.2.2 Tipos de Pavimentos de Concreto de cimento *Portland* e suas características

Os pavimentos de concreto são aqueles cuja camada de rolamento (ou revestimento) é elaborada com concreto (produzido com agregados e ligantes hidráulicos), o que pode ser feito com diversas técnicas de manipulação e elaboração do concreto, que apresentam suas particularidades de projeto, execução, operação e manutenção (BALBO, 2009).

O Quadro 2.1 apresenta os tipos de pavimentos e suas características estruturais e métodos construtivos.

QUADRO 2.1- Tipos de pavimentos de concreto

Denominação	Símbolo	Principais características estruturais e construtivas
Pavimento de concreto simples	PCS	Concreto de alta resistência em relação a concretos estruturais para edifícios, que combatem os esforços de tração na flexão gerados na estrutura, por não possuir armaduras para isso. A presença de juntas serradas de contração (para controle da retração) pouco espaçadas é marcante.
Pavimento de concreto armado	PCA	Concreto que trabalha em regime de compressão no banzo comprimido, mas sem sofrer esmagamento. No banzo tracionado estão as armaduras resistentes aos esforços de tração, o que faz dele um concreto convencional armado. Há juntas serradas, porém de modo mais espaçado que no PCS.
Pavimento de concreto com armadura contínua	PCAC	Concreto que tolera a fissuração de retração, transversalmente, de modo aleatório. A armadura contínua, colocada pouco acima da placa, cabe a tarefa de manter as faces fissuradas fortemente unidas. Não se executam juntas de contração nesse pavimento, com exceção das construtivas.
Pavimento de concreto protendido	PCPRO	Concreto que permite placas de grandes dimensões planas e menores espessuras, trabalhando em regime elástico.
Pavimento de concreto pré-moldado	PCPM	As placas de concreto pré-moldadas atendem à necessidade de transporte. São normalmente fabricadas sob medida, com elevado controle e precisão, para a rápida substituição de placas em pavimentos de concreto deteriorados.
Whitetopping	WT	Nova camada de revestimento de um antigo pavimento asfáltico de concreto, que poderá ser em PCS, PCA, PCAC, PCPRO ou PCPM, de acordo com os respectivos padrões construtivos dessas soluções.
Whitetopping ultradelgado	WTUD	Camada delgada de concreto, de elevada resistência, lançada sobre a antiga superfície asfáltica fresada, que apresenta placas de pequenas dimensões e trabalha por flexão e deflexão. As juntas de contração são serradas com espaçamentos pequenos e, em geral, utiliza-se concreto de alta resistência.

Fonte: Balbo, (2009)

2.3 CONTROLE TECNOLÓGICO APLICADO AO CONCRETO NA CONSTRUÇÃO DE PAVIMENTOS

O concreto produzido com a finalidade de servir como revestimento ou como base para pavimentos, se comparado com outras peças estruturais, exige, em particular, de um controle tecnológico estrito, devido aos requisitos enumerados abaixo, de acordo com Pitta (1996):

- a) Hipoteticamente, o pavimento apóia-se numa fundação elástica e isotrópica;

- b) O carregamento é cíclico, móvel ou estático;
- c) Os esforços de compressão derivados do carregamento (em geral, de pneumáticos são desprezíveis em relação à resistência intrínseca do concreto à compressão, já os esforços de tração podem atingir valores elevados que, confrontados com a resistência do concreto ao mesmo esforço, são capazes de gerar no pavimento, para carregamento repetitivo, o fenômeno da ruptura por fadiga, que limita, para uma dada relação de tensões, o número de repetições admissíveis da carga que a produz. Essa relação de tensões é a razão entre a tensão de tração na flexão, produzida por uma carga qualquer, e a resistência do concreto à tração na flexão;
- d) Dada a mobilidade do carregamento, os esforços solicitantes de tração na flexão podem ocorrer em qualquer ponto da estrutura, conforme a posição da carga. daí é vital que o concreto tenha, em qualquer ponto de sua massa, uma resistência capaz de suplantar com segurança o esforço solicitante máximo;
- e) Plana e delgada, a placa tem uma superfície bastante superior ao volume, o que a torna extremamente sensível às variações térmicas e higroscópicas, que originam tensões suplementares de tração, seja por retração ou dilatação, seja pelo empenamento restringido da placa; e
- f) O tipo de uso da superfície, rolamento de pneumáticos, quase sempre a céu aberto, traz exigências de resistência ao desgaste que condicionam o consumo de cimento a valores limites mínimos.

Segundo Balbo (2009), a falta de controle de diversos aspectos redundam em efeitos maléficos ao comportamento estrutural e ao desempenho desses pavimentos, seja por falta de completude de projetos ou por descaso com aspectos essenciais de controle tecnológico.

Por isso o concreto para pavimento necessita de recomendações, em relação às propriedades em estado fresco e endurecido, para que não ocorram possíveis conseqüências deletérias.

2.3.1 Propriedades do Concreto Fresco e Endurecido

Para efeito de suas propriedades, o concreto deve então ser analisado nestas duas condições: fresco, considerado até o momento em que tem início a pega do aglomerante e endurecido que se obtém pela mistura dos componentes, após o fim da pega do aglomerante.

Para o concreto fresco, as propriedades desejáveis são as que asseguram obtenção de uma mistura fácil de transportar, lançar e adensar, sem segregação. As principais propriedades do concreto, quando fresco, são: consistência, plasticidade, poder de retenção de água, trabalhabilidade

Consistência é o maior ou menor grau de fluidez da mistura fresca, relacionando-se portanto, com a mobilidade da massa. O principal fator que influi na consistência é, sem dúvida, o teor água/materiais secos ($A\%$) (NEVILLE, 1982).

Teor de água/materiais secos é, pois, a relação entre o peso da água e o peso dos materiais secos multiplicada por 100, conforme visualiza a equação 01 abaixo (ARAÚJO, 2009).

$$A\% = \frac{P_{ag}}{P_c + P_m} \times 100 \quad (01)$$

Onde:

P_{ag} = peso da água

P_c = peso do cimento

P_m = peso do agregado miúdo + agregado graúdo

Em função de sua consistência, o concreto é classificado em:

- *seco ou úmido* - quando a relação água/materiais secos é baixa, entre 6 e 8%;
- *plástico* - quando a relação água/materiais secos é maior que 8 e menor que 11%;
- *fluido* - quando a relação água/materiais secos é alta, entre 11 e 14%.

O concreto para pavimentação requer consistência plástica, posto ser a energia dos equipamentos de adensamento utilizados superior à energia dos vibradores de imersão usados em obras correntes de edifícios e pontes (PITTA, 1996)

Plasticidade é a propriedade do concreto fresco identificada pela facilidade com que este é moldado sem se romper. Depende fundamentalmente da consistência e do grau de

coesão entre os componentes do concreto. Quando não há coesão os elementos se separam, isto é, ocorre a segregação, sendo esta a separação dos grãos do agregado da pasta de cimento, podendo ocorrer durante o transporte, durante o lançamento em consequência de movimentos bruscos, durante o adensamento, por vibração excessiva ou pela ação da gravidade, quando aos grãos graúdos, mais pesados do que os demais, tendem a assentar no fundo das formas (CHAGAS FILHO, 2005).

Quanto às dimensões dos agregados, observa-se que os miúdos exercem influência preponderante sobre a plasticidade do concreto, por possuírem elevada área específica. Dessa forma, qualquer alteração do seu teor na mistura provocará modificações significativas no consumo de água e, conseqüentemente, no de cimento. Como o cimento é o material de custo mais elevado na mistura, qualquer alteração no consumo de areia incide diretamente no custo do concreto (ARAÚJO, 2009).

O poder de retenção de água é o oposto à exsudação. Exsudação é o fenômeno que ocorre em certos concretos quando a água se separa da massa e sobe à superfície da peça concretada. Ocorre quando a parte superior do concreto se torna excessivamente úmida; sua consequência é um concreto poroso e menos resistente. Além disso, o concreto pode estar sujeito à desintegração em virtude da percolação da água. Esse fenômeno acontece quando no processo de lançamento do concreto nas formas a parte sólida não é capaz de reter a água de amassamento. Ocorre geralmente em concretos com pequena porcentagem de finos, que são o material que passa pela peneira com abertura de malha igual a 0,15 mm (NEVILLE, 1982).

O concreto é trabalhável quando no estado fresco apresenta consistência e dimensões máximas dos agregados apropriadas ao tipo de obra a que se destina, no que respeita às dimensões das peças, ao afastamento e à distribuição das barras das armaduras, bem como aos métodos de transporte, lançamento e adensamento que serão adotados.

A trabalhabilidade, portanto, além de ser uma característica inerente ao material, como a consistência, também envolve considerações quanto à natureza da própria obra que está sendo executada.

Considera-se, segundo Pitta (1996):

Trabalhável um concreto para pavimentação quando, após o adensamento e acabamento do pavimento, tenha-se na pista um material homogêneo e compacto, com reduzida exsudação mas uma superfície ligeiramente úmida, sem a presença de filmes de água nem espessa camada de argamassa ou nata no topo do concreto.

Já as características principais que um concreto, depois de endurecido, deve possuir são: resistência, durabilidade, impermeabilidade e aparência.

Nos dimensionamentos dos pavimentos de concreto são impostos valores mínimos para a resistência característica à tração na flexão, que se obtém ao solicitar uma viga à flexão até a sua ruptura, que se dará nas fibras tracionadas, em virtude da relativamente baixa resistência do concreto à tração. “A resistência à tração na flexão sofre influência da forma do agregado, de sua textura superficial e da idade” (PITTA,1992).

Observa-se que o crescimento da resistência do concreto à tração não aumenta proporcionalmente a resistência à compressão, devido à aderência pasta-agregado, principal característica, cujo crescimento se dá pela redução da porosidade da pasta com a hidratação do cimento. Essa redução de porosidade também está ligada diretamente com a impermeabilização do concreto, ou seja, quanto menos poroso mais impermeável.

A durabilidade pode ser definida como sendo a capacidade que o concreto possui de resistir à ação do tempo, aos ataques químicos, à abrasão ou a qualquer outra ação de deterioração. A durabilidade depende, entretanto, do tipo de ataque, físico ou químico, que o concreto, depois de endurecido, será submetido, devendo ser analisado criteriosamente antes da escolha de materiais e da dosagem. No que diz respeito à abrasão ou à erosão, a durabilidade está diretamente ligada também à resistência do concreto. Todas essas características unidas darão ao concreto uma boa aparência.

Na literatura de Balbo (1999), considerou-se além destas características outras que são potencialmente sujeitas ao controle estrito, mostradas no Quadro 2.2.

QUADRO 2.2 - Principais características de concretos de pavimentação potencialmente sujeitos ao controle estrito

Estado do concreto	Características	Motivo de controle	Consequências deletérias possíveis
Fresco	Trabalhabilidade	Compatibilidade com o processo construtivo	Inúmeras imperfeições estruturais e mesmo geométricas
	Segregação/Exsudação	Qualidade superficial	Lamelacão, textura inadequada
	Retração plástica	Evitar fissuras de superfície	Degradação estrutural
Endurecido	Retração de secagem	Evitar fissuras de contração não programadas	Ruptura precoce
	Resistência estática	Adequação ao projeto estrutural	Ruptura precoce
	Módulo de elasticidade	Adequação ao projeto estrutural	estados tem tensão não previstas
	Resistência à fadiga	Adequação ao projeto estrutural	Ruptura precoce
	Porosidade/permeabilidade	Percolação de água	Empenamento higrométrico, reação álcalis-agregados, corrosão de armaduras
	Expansão térmica	Efeitos relacionados a cargas ambientais	Empenamento não controlado
	Abrasividade	Qualidade superficial	Perda de qualidade funcional

Fonte: Balbo (2009)

2.3.2 Cura do Concreto

Outro fator da maior relevância na resistência final do concreto a esforços mecânicos é a cura, procedimento utilizado para favorecer a hidratação do cimento que consiste no controle da temperatura e no movimento da água de dentro para fora e de fora para dentro do

concreto, visto que as condições de umidade do ar, ventos e temperatura, principalmente nas primeiras idades, têm importância muito grande para as propriedades do concreto endurecido.

O pavimento de concreto tem uma característica peculiar: a área exposta é muito mais significativa do que o volume da placa, condição que aumenta grandemente a taxa ou velocidade de evaporação (PITTA, 1992).

Afirma Rhodes *apud* Pitta (1992, p.110), que:

A cura, independentemente do processo ou material, será tão satisfatória quanto maior quantidade da água original for mantida no concreto durante as primeiras idades, e fixa que o limite máximo de perda de água deve ser de não mais do que 20% do volume inicial do líquido, decorridos 7 dias após o início da cura.

Segundo o *Portland Cement Association (PCA)* (1968 *apud* PITTA, 1992) taxas de evaporação superiores a 0,5 kg/m²/hora, provocam o aparecimento de fissuras devido à retração plástica. A Figura 2.4 apresenta um ábaco que fornece o valor da taxa de evaporação da água do pavimento de concreto, em função das temperaturas do ar e do concreto e da velocidade do vento.

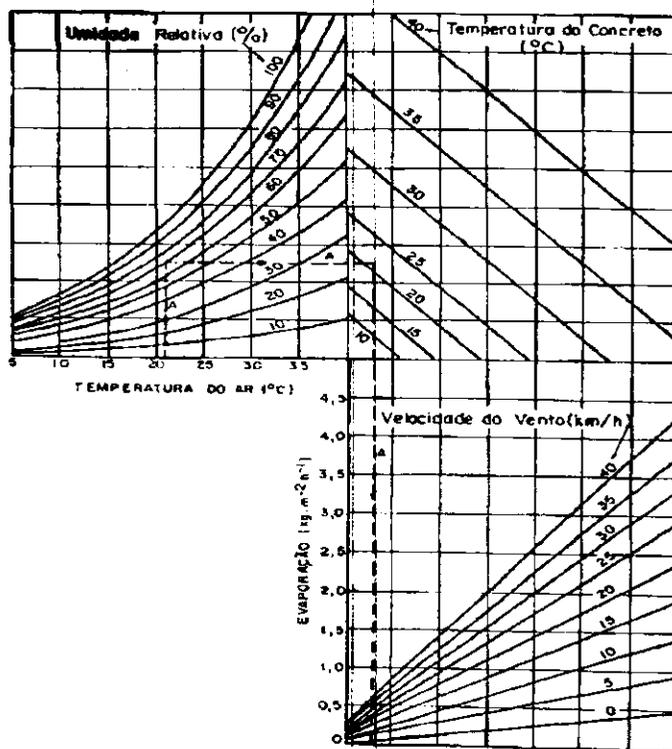


Figura 2.4 – Ábaco para a determinação da taxa de evaporação da água de mistura.
Fonte: PCA (1998 *apud* PITTA, 1992).

2.4 DETERIORAÇÃO DOS PAVIMENTOS DE CIMENTO *PORTLAND*

Segundo Senço (1997) todo pavimento passa por três fases distintas:

- Início, onde ocorre a consolidação pelo tráfego;
- Fase de deflexões recuperáveis, que compõem a vida útil do pavimento;
- Fadiga, onde as deflexões não são mais recuperáveis.

Segundo o Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes – DNIT (2001), durante a vida útil do pavimento de concreto, este se inicia numa condição ótima, até alcançar, devido a diversos fatores, uma condição ruim. Este decréscimo de condição ou de sua serventia é denominado deterioração do pavimento. Esta degradação da qualidade do pavimento está relacionada ao seu desempenho funcional ou estrutural. O desempenho funcional refere-se à sua capacidade de fornecer uma superfície adequada em termos de qualidade de rolamento, enquanto o desempenho estrutural está relacionado à sua capacidade de manter a própria integridade estrutural.

A degradação do pavimento resulta de causas naturais associadas ao meio ambiente, assim como seu uso continuado pelo tráfego, muitas vezes superior ao estimado no projeto inicial, o que leva o pavimento à fadiga prematura. Em outras palavras, os casos de patologia nos concretos são causados por diversos fatores, entre eles as influências ambientais nas estruturas; seus componentes, água, agregados, aditivos e/ou cimento; além do método executivo de fabricação, lançamento ou cura, são múltiplos e variados. Cada caso é específico cabendo ao engenheiro analisá-los a fim de estabelecer um diagnóstico e a intervenção conveniente.

A propósito, patologia pode ser entendida, segundo Helene *et al.* (2004) como a ciência que se encarrega de entender e estudar os problemas da construção civil: suas origens, suas causas, suas manifestações e o mecanismo principal de deterioração.

2.4.1 Defeitos dos Pavimentos Rígidos

Os defeitos ocorridos no pavimento rígido se dividem, segundo Silva (2008), em estruturais ou funcionais.

Os estruturais afetam a capacidade de suporte do pavimento, ou seja, tornam a estrutura do pavimento susceptível à ruptura prematura principalmente pelo efeito da fadiga. Esses defeitos que afetam estruturalmente o pavimento rígido são as trincas e geralmente se estendem por toda espessura e em vários pontos da placa de concreto.

As causas dessas trincas são (SILVA, 2008):

- Corte pouco profundo;
- Atraso na serragem ou corte das juntas (esborcinamento de juntas);
- Desalinhamento das barras de transferência;
- Reflexão da sub-base;
- Recalque da fundação (perda de suporte); e
- Delaminação ou desprendimento da superfície do concreto;

Os defeitos relacionados com a segurança e as condições de dirigibilidade do pavimento são os funcionais. Estes se destacam por problemas na superfície do pavimento quanto a rugosidade, o polimento e os ruídos.

Um dos defeitos no pavimento rígido analisado no presente estudo – a fissura – pode-se dizer, segundo Chodousky e Vicili (*apud* ABREU, 2005): “fissuras em pisos e pavimentos normalmente estão relacionadas a recalques de fundação, erros de projeto, execução inadequada, falha de materiais, mau uso, além das fissuras por retração plástica, hidráulica e autógena” (Figura 2.5).

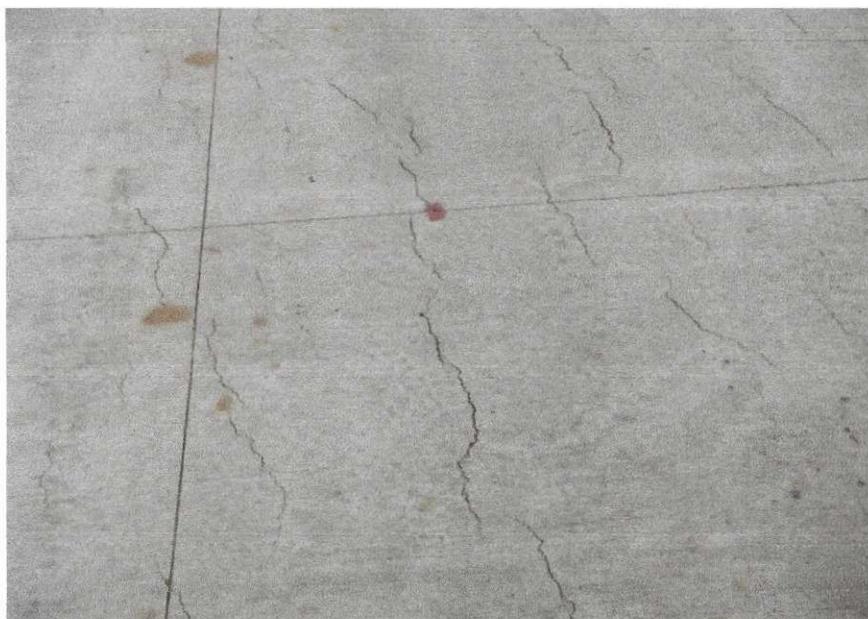


Figura 2.5 - Fissuras em pavimento rígido provocadas pela retração plástica.
Fonte: Lote 5, BR-101 Corredor Nordeste.

Sian (2007) conceitua retração plástica como sendo a “perda da água da pasta, argamassa ou concreto no estado fresco, que ocorre antes da pega do cimento, quando as partículas sólidas dispõem de mobilidade umas em relação às outras”, sendo que a diminuição de volume do sistema corresponde ao volume de água perdido.

Esse fenômeno provoca danos irreversíveis, devido sua fissuração, tais como perda de durabilidade, infiltração, entre outros.

Segundo Jennings (*apud* MELO NETO *et al.* 2002) o mecanismo de perda ou ganho de água, que provoca a retração nos concretos, pode ser influenciado por diversos fatores. Entre eles estão: porosidade, a microestrutura da fração sólida do material e a forma com que a água contida está ligada a esta fração sólida.

2.4.2 Serviços de Manutenção de Pavimentos Rígidos

De acordo com o DNIT (2006), a manutenção de pavimentos consiste em um conjunto de medidas destinadas a recompor a serventia do pavimento para se adaptar a rodovia às condições de tráfego atual e futuro, prolongando seu período de vida. Os serviços de manutenção são classificados em quatro grupos de intervenção:

- conservação de rotina: executada periodicamente com o objetivo de sanar ou reparar defeitos.
- reabilitação: destinada a restituir as condições originais do pavimento, por meio de remendos, reforço estrutural ou apenas aplicação de camadas de regularização.
- reconstrução: renovação da estrutura do pavimento. Pode envolver a troca do material existente ou seu reaproveitamento por meio de reciclagem.
- restauração: tem a finalidade de restaurar a condição de capacidade estrutural e qualidade de rolamento do pavimento, por meio de serviços de reabilitação e reconstrução.

No caso de fissuras estruturais, pode-se dizer que estas poderão comprometer o desempenho do piso e por isso devem ser estudadas criteriosamente para que se proponha o tipo adequado de restauração.

2.4.3 Restauração de Pavimentos Rígidos

Dentre os serviços que podem ser executados, individualmente ou em conjunto, para a restauração de um pavimento em condições ruins, destacam-se (SILVA, 2008):

- microfresagem: remoção de uma camada superficial, com equipamento específico, para recompor a textura do pavimento ou retirar pequenas ondulações que comprometem o conforto do pavimento.
- selagem: aplicação de material asfáltico ou silicone com corpo de apoio, em trincas, evitando assim a infiltração de água.
- retrofit de barras de transferência: introdução de barras de transferência em ranhuras feitas no pavimento para manter a transferência de cargas e assim permitir a redução das deflexões e tensões atuantes.
- Cross-stitch: aplicação de barras de aço interligadas em forma de costura que tem como objetivo manter o entrosamento entre os agregados, bem como prevenir o aumento da fissura.
- colmatação: injeção de calda coloidal de microcimento, com auxílio de bomba de injeção adequada (uma bomba pneumática de média pressão), obturadores especiais que podem ser de superfície ou de cravação, dependendo do tipo de piso ou pavimento e a fissura a ser recuperada e injeções por gravidade.

2.4.4 Origem dos Problemas Patológicos

Os problemas patológicos originam-se nas etapas de produção das obras da construção civil (Figura 2.6), destacando-se como os principais fatores, responsáveis por falhas de desempenho funcional, estético e estrutural:

- má concepção do projeto arquitetônico/estrutural;
- deficiência no detalhamento construtivo no projeto, deixando margem para improvisações durante a execução;
- ausência de especificação detalhada de materiais e serviços;

- falhas de execução do concreto, nas fases de montagem das formas, colocação de espaçadores, preparo de materiais, mistura, transporte, lançamento, adensamento e cura.

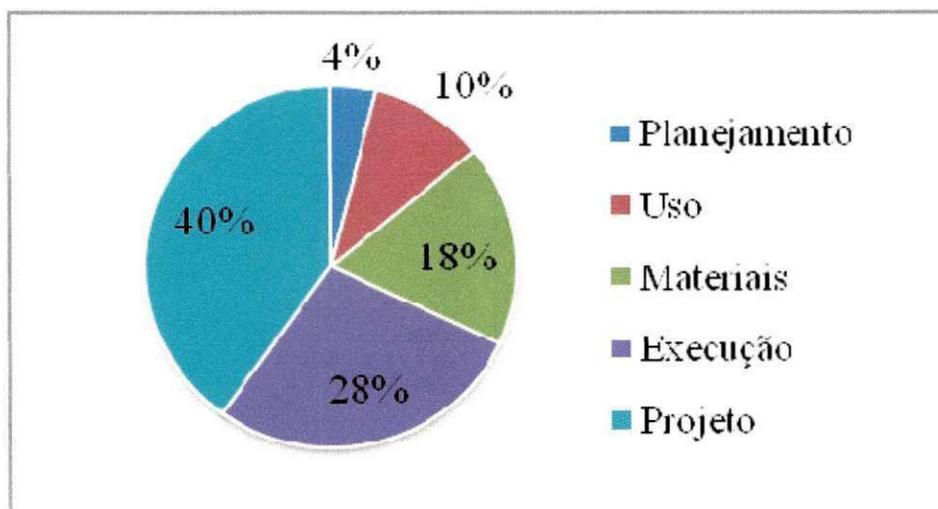


Figura 2.6 – Origem dos problemas patológicos com relação às etapas de produção e uso das obras civis.

Fonte: Helene *et al.* (2004).

A Tabela 01 apresenta a causa das manifestações patológicas em diversos países. Observa-se que no Brasil a causa que apresenta maior percentual é a de execução. Isto poderia ter como justificativa, entre outras, a baixa escolaridade da mão de obra empregada.

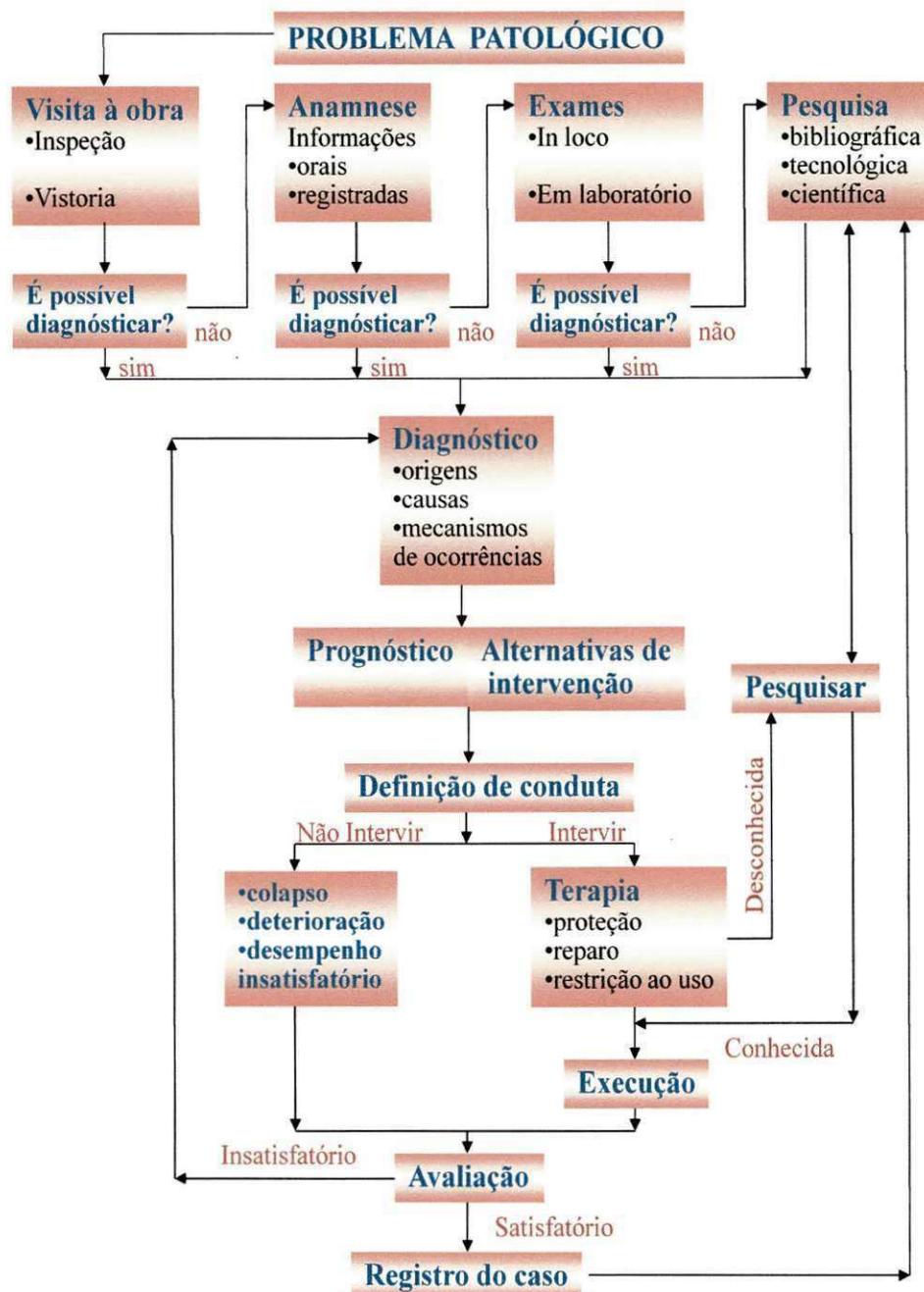
TABELA 01 - Origem das manifestações patológicas em diversos países

País	nº de casos	CAUSAS (%)				
		Projeto	Materiais	Execução	Utilização	Natural
Inglaterra	510	49	11	29	10	1
Alemanha	1570	40	15	29	9	7
Romênia	432	38	23	20	11	8
Bélgica	3000	49	12	24	8	7
Dinamarca	601	37	25	22	9	7
Iugoslávia	117	34	22	24	12	8
França	10000	37	5	51	7	
Espanha	586	41	13	31	11	3
Brasil	527	18	7	52	13	

Fonte: Aranha e Dal Molin (*apud* SILVA, 2008).

Para a resolução de problemas patológicos, deve-se seguir um método que vai primeiramente levantar subsídios, tais como: problema, vistoria do local, anamnese e ensaios de laboratório. Após essa etapa, visualizar o diagnóstico, definir a conduta a ser seguida, através de alternativas de intervenção (Prognóstico), decisão da terapia e finalmente a resolução do problema. O Quadro 2.3 ilustra o fluxograma de resolução de problemas patológicos.

QUADRO 2.3 - Fluxograma de atuação para a resolução de problemas patológicos



Fonte: Helene *et al.* (2004).

2.5 INJEÇÃO DE CALDA COLOIDAL DE MICROCIMENTO

Qualquer manutenção ou reparo em pavimentos deve ser realizada de maneira criteriosa, iniciando pela observância das condições de uso e vida útil estabelecidas no projeto deste pavimento. Dessa maneira, uma avaliação prévia das condições estruturais de um pavimento deve ser feita considerando os dados estabelecidos em projeto e as condições de execução do mesmo e, na falta destes dados, esta avaliação deve ser realizada com base em técnicas recomendadas para avaliação (ABREU, 2005).

A colmatação pelo processo de injeção é um método de recuperação de pavimento de concreto que proporciona tempo reduzido de retorno das condições de trafegabilidade e a praticidade na aplicação, através da utilização de microcimentos, levando em consideração o tipo de patologia (SISTEMA MICROINJET, 2008).

2.5.1 A Tecnologia de Injeção

A tecnologia de reabilitação de pavimentos com a utilização de microcimentos é relativamente nova no Brasil, mas muito utilizada no exterior com grande sucesso e custo altamente competitivo frente às tecnologias convencionais (ABREU, 2005).

Dentre as principais aplicações da tecnologia de injeção, devido a falhas construtivas, na construção civil, estão:

- fissuras em diversos tipos estruturais em concreto armado, tais como: barragens, túneis, vigas, pilares e fundações;
- instabilidade ou problemas com nivelamento de placas de pavimentos de concreto;

2.5.2 Microcimento

O microcimento é um material cimentício à base de clínquer finamente micropulverizado com diâmetro médio de partículas menor que 6 μm , uma finura bem menor do que a de um cimento comum, o que lhe confere alta injetabilidade, excelente reologia de

calda quando em estado fresco, alta aderência química, maior formação de gel e cristais de hidratação. A Figura 2.7 mostra as características físico-químicas do microcimento.

CARACTERÍSTICAS FÍSICOS - QUÍMICAS		
ENSAIOS	NORMAS	MC 20
Finura - Mesh 400 (37 μ m)	-	0.00
Massa Específica (g/cm ³)	NBR NM 23/01	2.96
Blaine (cm ³ /g)	NBR NM 76/98	9257
Cons. Normal (%)	NBR NM 43/03	36.0
Tempos de Pega (h:min)	Início	02:20
	Fim	03:10
Perda ao Fogo 950°C	NBR 5743/89	4.78
Óxido de Silica - SiO ₂	NBR 9203/85	24.31
Óxido de Alumínio - Al ₂ O ₃		7.72
Óxido de Ferro - Fe ₂ O ₃		2.01
Óxido de Cálcio - CaO		52.68
Óxido de Magnésio - MgO		3.76
Anidrido Sulfúrico - SO ₃	NBR 5745/89	3.68
Óxido de Sódio - Na ₂ O	NBR 5747/89	0.30
Óxido de Potássio - K ₂ O		0.68
Resíduo Insolúvel	NBR 5744/89	0.76
Cal Livre (%CaO)	NBR 7227/90	0.91

Figura 2.7 – Características físico-químicas do microcimento

Fonte: Abreu (2005).

2.5.3 A Reologia da Calda de Microcimento

As caldas produzidas com o microcimento devem ser preparadas obrigatoriamente com o auxílio de um misturador coloidal e aditivos especiais para microcimento, que auxiliam na total dispersão dos micro-grãos quando do preparo da calda. Este cuidado é necessário para conferir adequada propriedade reológica e ótima estabilidade da calda, já que propicia a floculação das partículas ultrafinas do cimento, evitando-se assim a formação de grumos e conferindo excelente desempenho do produto nas injeções.

O microcimento tem propriedades muito particulares que lhe confere um excelente desempenho quanto à injetabilidade. Estas propriedades foram avaliadas submetendo o produto aos ensaios de calda de injeção preconizados pelas normas NBR 7681, NBR 7682, NBR 7683, NBR 7684 e, NBR 7685, no qual se constatou um desempenho adequado às suas aplicações (ABREU, 2005).

2.6 RECUPERAÇÃO DO PAVIMENTO RÍGIDO COM MICROCIMENTO

Quando um pavimento rígido necessita ser recuperado, para que suas condições estruturais e funcionais atinjam o objetivo para o qual foi construído, faz-se necessário um estudo prévio e detalhado da patologia que se quer tratar, para verificar a viabilidade do emprego do microcimento.

Segundo alguns fabricantes de microcimentos, o seu uso, apesar de atender a um grande número de tipos de defeitos em pavimentos de concreto, sofrem limitações que deverão ser avaliadas antes da aplicação. Dentre estas limitações está o caso em que as fissuras possuem características de atividade no qual, mesmo após a cura da calda de microcimento, o concreto continua a se deformar, pois o concreto recuperado tornou-se um sistema único e rígido.

A Figura 2.8 ilustra uma fissura sendo tratada através da injeção da calda coloidal de microcimento e a Figura 2.9 mostra uma extração de corpo de prova sobre esta mesma fissura, após 7 dias. Este corpo de prova, quando submetido em ensaio de compressão apresenta uma resistência mecânica equivalente a 99% do valor de referência do pavimento, ou seja, o valor de resistência à compressão do corpo de prova extraído do pavimento íntegro e o valor da resistência do corpo de prova extraído sobre a fissura tratada são praticamente os mesmos. Esta verificação ratifica a eficiência da injeção da calda coloidal de microcimento no tratamento de fissuras estáticas (ABREU, 2005).

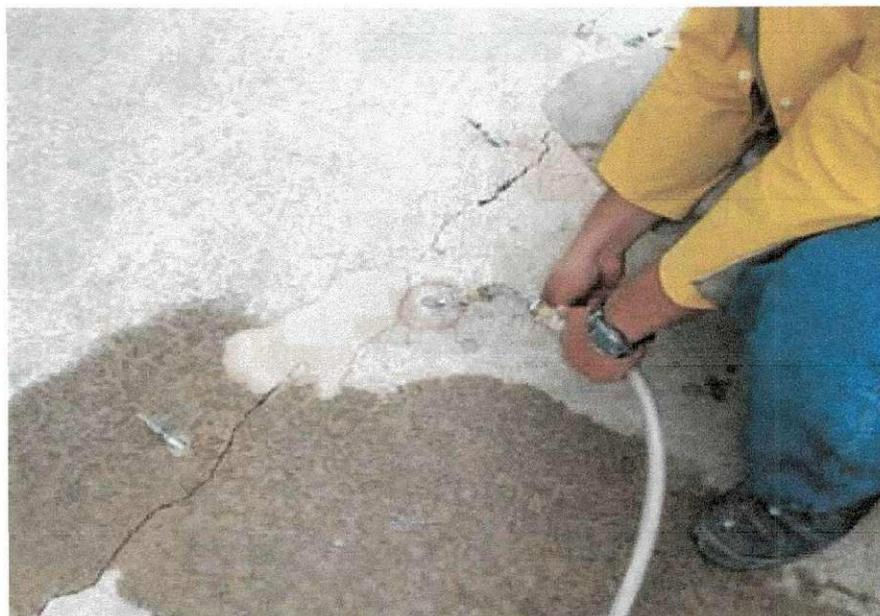


Figura 2.8 – Injeção de microcimento na fissura do pavimento.
Fonte: Abreu, (2005).

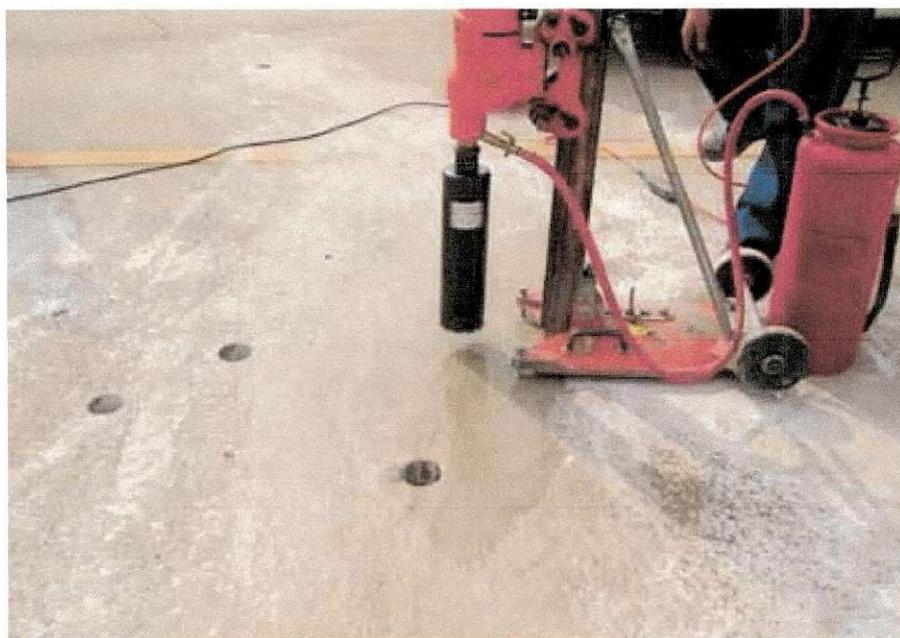


Figura 2.9 – Extração de corpo de prova após injeção sobre fissura.
Fonte: Abreu, (2005).

3. ESTUDO DE CASO

3.1 RECUPERAÇÃO DO PAVIMENTO DE CONCRETO DE CIMENTO *PORTLAND* DA OBRA DE DUPLICAÇÃO DA BR-101- LOTE 05, COM INJEÇÃO DE CALDA DE MICROIMENTO

3.1.1 Metodologia para Identificação do Problema Patológico

3.1.1.1 Vistoria

Iniciou-se com uma vistoria no segmento da obra de duplicação da BR-101, corredor Nordeste no Lote 05, pela equipe técnica de Engenheiros do Exército Brasileiro, da Associação Brasileira de Cimento *Portland* (ABCP) e da empresa (Holcim), que tinha como objetivo identificar e reconhecer as patologias e suas possíveis causas.

A vistoria procedeu-se a uma inspeção visual das condições apresentadas pelo pavimento, objetivando identificar e diagnosticar as patologias e suas possíveis causas.

3.1.1.2 Diagnóstico

Através de inspeção visual foi possível, identificar fissuras de retração plástica no concreto (Figura 2.10) com características de inatividade.

Segundo Fortes (1999), o fenômeno de retração plástica está associado a deformações em pastas de cimento, argamassas e concretos, sem que haja carregamento. Os trechos identificados com essa patologia encontravam-se interditados a passagem do tráfego, ou seja, não haviam sido carregados.

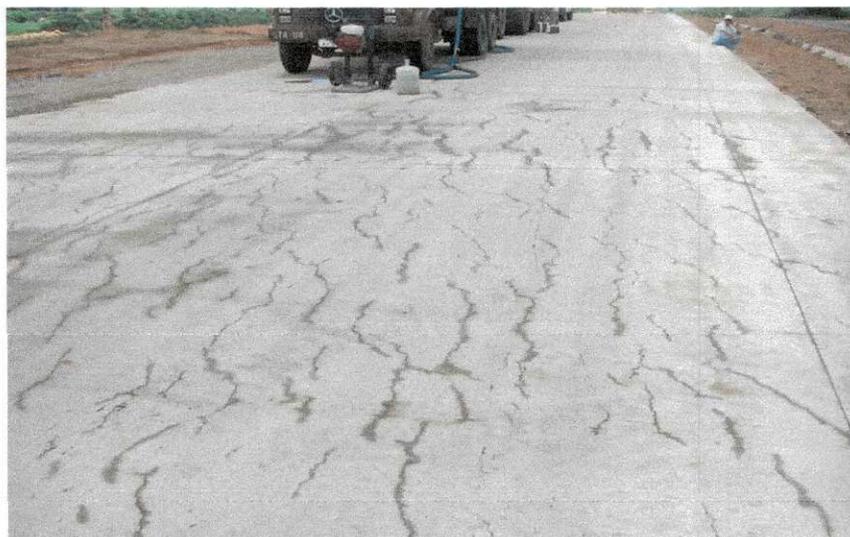


Figura 2.10 – Fissuras na BR-101, corredor Nordeste no Lote 5.

A retração plástica depende dos parâmetros que afetam a evaporação da água; umidade, temperatura, velocidade do ar e volume da peça concretada. Como nessa fase a estrutura da pasta é mantida pelas tensões capilares, a retração pode determinar a fissuração. (PITTA, 1992).

Para identificar as variáveis atmosféricas foram coletados os dados de uma estação móvel, instalada no local onde estava sendo executado o pavimento. De posse desses dados, através do ábaco da Figura 2.4, foi avaliada a taxa de evaporação da água da superfície do concreto fresco (concreto com 1 hora de aplicado) e verificou-se valores superiores a $0,5 \text{ kg.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$.

Segundo a consultoria técnica do Exército Brasileiro e Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), parâmetros de taxas de evaporação superiores a estes apresentados nos locais do pavimento em questão aumentam muito a probabilidade de ocorrência de fenômenos patológicos de fissuras de retração plástica. Para identificação da inatividade das fissuras, utilizou-se uma pasta de gesso aplicando-a nas aberturas de placas de concreto e logo após o tráfego foi liberado. Após dois dias observou-se que as mesmas encontravam-se preenchidas sem aspectos de desprendimento entre a camada de gesso e o concreto do pavimento.

Além dos parâmetros visuais coletados em campo, foram analisados os métodos construtivos de execução do pavimento rígido em questão, através da norma DNIT-ES

049/2009 (DNIT, 2009), e o processo de fabricação do concreto, controle e recebimento através da norma NBR12655.

De acordo com Balbo (2005), há de reconhecer que no Brasil, devido ao pequeno montante de rodovias com pavimentos de concreto, pouco se fez até hoje em termos de normalização, seja para o inventário e cadastramento de defeitos, explicitando uma nomenclatura nacional, seja para estabelecer diretrizes de restauração, o que geralmente fica a critério do especialista que inspeciona a pista de rolamento, por observação visual ou remota.

Com essa preocupação, as equipes técnicas envolvidas no processo criaram uma planilha contendo, após a inspeção visual, o levantamento da situação e o cadastro com a localização das patologias, ao longo do trecho a ser tratado na BR 101- lote 05.

Alguma falha na cura inicial do concreto (produto de cura ineficaz, a falta de cura química ou taxa de produto de cura muito baixa) ou excesso de retardamento do início de pega do cimento, podem provocar fissuras de retração plástica (SILVA, 2008).

3.1.1.3 Prognóstico

Na busca de dar continuidade à execução do pavimento rígido e à intervenção do problema patológico, foi adotado um processo complementar na cura do concreto, o uso da manta geotêxtil úmida em toda extensão executada do pavimento, que até então era realizada apenas a cura química (Figura 2.11).



Figura 2.11 - Execução da cura química

Depois de adotada a intervenção no pavimento em execução, buscou-se uma alternativa de reparo que minimizasse, não somente no aspecto econômico, mas também torná-lo nas mesmas condições estruturais previstas no projeto original. Aliado a esses aspectos, levou-se em consideração, o atraso no cronograma-físico financeiro e o impacto visual da demolição do pavimento.

3.1.1.4 Reparo e Restrição ao Uso

Nessa etapa foram realizados testes no pavimento rígido para verificar qual ou quais as melhores técnicas de injeção e qual o produto que atendesse as especificações das NBR 7681, NBR7682, NBR7683, NBR7684 e NBR7685 e que se adequariam ao comportamento das fissuras em termos de abertura, profundidade e comprimento.

Primeiramente utilizou-se uma resina epoxídica,, empregando a técnica de injeção pressurizada. Seu resultado foi considerado insatisfatório, pois não ocorreu o preenchimento total das fissuras (Figura 2.12), pois a resina após a aplicação retirava a aderência do pavimento, ou seja, a texturização, deixando o pavimento liso e com uma coloração diferente (Figura 2.13).



Figura 2.12 - Resultado da aplicação da resina epoxídica.



Figura 2.13 - Corpo de prova extraído do pavimento após a aplicação da resina epóxídica

Devido a esses problemas de aderência, coloração e principalmente o não preenchimento das fissuras, optou-se em utilizar outro produto que tivesse semelhança com o concreto, nestes aspectos físicos, e que garantisse a recuperação do pavimento. Tentou-se utilizar uma argamassa de água e cimento *Portland* comum, porém pelo comportamento das fissuras em termos de abertura e profundidade, a mistura não teve fluidez suficiente para penetrar e preencher os vazios.

Através de uma pesquisa de mercado, identificou-se o microcimento como um produto que possuía inúmeras aplicabilidades na injeção de fissuras. O microcimento era um produto que possuía propriedades semelhantes a do concreto, tanto no estado fresco como no estado endurecido. A única restrição de aplicabilidade quanto ao seu uso seria com fissuras que apresentassem atividade, o que não foi o caso.

Numa primeira etapa, cinco técnicas de injeção de calda coloidal de microcimento foram experimentalmente testadas no pavimento rígido, localizadas na placa 1976 LE e LD, no período de 01/11/08 a 03/12/08. Dentre elas estão:

1. Injeção pressurizada por obturador a vácuo (Figura 2.14);
2. Injeção pressurizada por obturador de inserção (Figura 2.15);
3. Injeção por gravidade através do uso de picetes (vaso de pressão manual) (Figura 2.16);
4. Injeção pressurizada por obturador de adesão superficial (Figura 2.17);
5. Injeção pressurizada por obturador de fenda (Figura 2.18);



Figura 2.14 - Obturador a vácuo.



Figura 2.15 - Obturador de inserção.

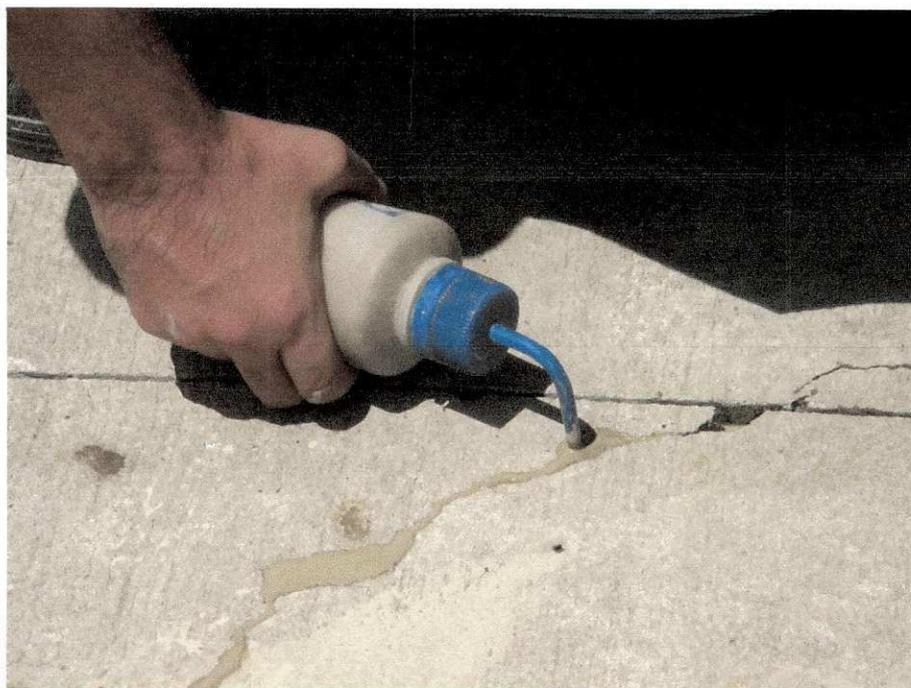


Figura 2.16 – Vaso de pressão manual (picetes).



Figura 2.17 - Obturador de adesão superficial.

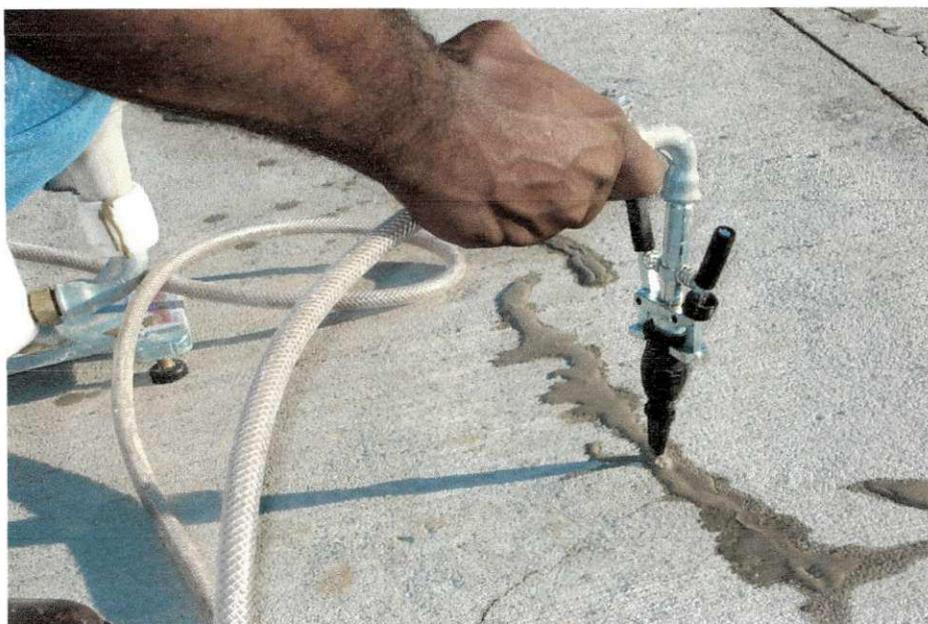


Figura 2.18 – Obturador de fenda.

Observou-se que, das cinco técnicas propostas, somente a 1 e a 3 apresentaram resultados satisfatórios quanto ao preenchimento total para aquele tipo de fissura em questão. Para isso foram extraídos corpos de prova, cada um identificado com a sua respectiva técnica e avaliado visualmente. Cerca de vinte dias após a primeira aplicação, uma nova aplicação foi

realizada no mesmo pavimento com as duas técnicas que atenderam ao objetivo quanto ao preenchimento. Dois dias após esta última aplicação, foram extraídos oito testemunhos e ensaiados à compressão, apresentando os seguintes resultados:

QUADRO 2.4

Identificação do corpo de prova

IDENTIFICAÇÃO DO CORPO DE PROVA	TENSÃO f_{c_2} (MPa) COMPRESSÃO
1	41,2
2	37,5
3	47,9
4	34,7
5	41,9
6	36,9
7	32,5
8	39,6

Fonte: Laboratório de tecnologia do Exército Brasileiro

Aliado a esses resultados, as duas técnicas mostraram-se eficientes do ponto de vista de praticidade e rapidez, no momento da execução.

A metodologia foi previamente definida entre Exército Brasileiro e Associação Brasileira de Cimento *Portland* (ABCP), após análise detalhada dos resultados apresentados pela empresa responsável pela execução do trabalho de recuperação do trecho deteriorado. A definição da metodologia baseou-se na abertura das fissuras, sendo recomendado o seguinte:

- Fissuras de Retração Plástica com comprimento inferior a 0,60m, abertura inferior a 1,0mm, não interligada e com profundidade de até metade da espessura da placa, recomendação do uso injeção por gravidade de microcimento;
- Fissuras de Retração Plástica com comprimento superior a 0,60m a 1,0m, abertura superior a 1,0mm e com profundidade que pode atingir toda a espessura da placa, recomendação do uso de injeção pressurizada de microcimento;
- Fissura de Retração Plástica com comprimento superior a 1,0m, abertura superior a 1,0 mm e com profundidade que pode atingir toda a espessura da placa, com elevado grau de incidência por placa e interligadas, recomendação demolição total das placas.

3.1.1.5 Execução

De posse da planilha de localização das patologias e de acordo com a IT 004, foram realizados os seguintes procedimentos operacionais:

- Isolamento da área (Figura 2.19);
- Lavagem do pavimento e das fissuras com água pressurizada visando desobstrução das fissuras por partículas sólidas (Figura 2.20);
- Secagem e expulsão da água sobre as placas e no interior das fissuras por aplicação de ar comprimido seguido de evaporação natural (Figura 2.21);
- Preparo da calda coloidal de microcimento com o emprego do misturador coloidal (Figura 2.22);
- Preenchimento das fissuras previamente limpas e secas por gravidade com auxílio de picetes de injeção e injeção pressurizada (Figura 2.23);
- Remoção e limpeza do excesso de calda coloidal sobre a fissura (Figura 2.24).



Figura 2.19 - Isolamento da área.



Figura 2.20 - Lavagem do pavimento e das fissuras com água pressurizada visando a desobstrução das fissuras por partículas sólidas.



Figura 2.21 - Secagem e expulsão da água sobre as placas e no interior das fissuras por aplicação de ar comprimido seguido de evaporação natural.

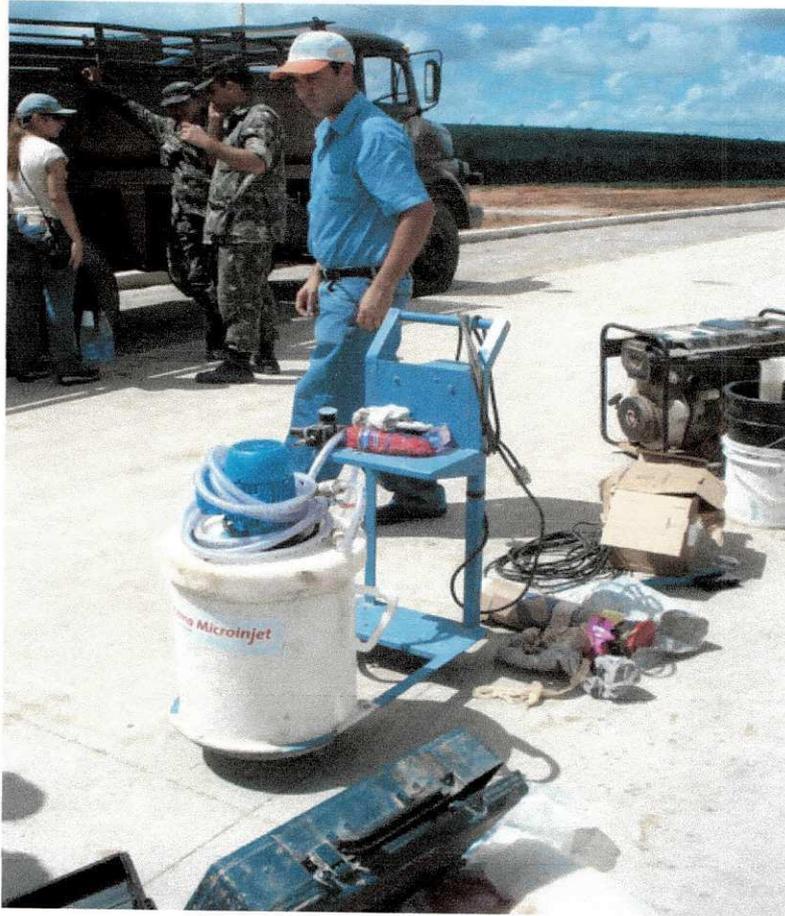


Figura 2.22 - Preparo da calda coloidal de microcimento com o emprego do misturador coloidal.



Figura 2.23 – Preenchimento das fissuras através da injeção por gravidade (Picetes) utilizando calda coloidal de microcimento.



Figura 2.24 – Remoção e limpeza do excesso de calda coloidal sobre a fissura.

3.1.2 Materiais e Equipamentos Utilizados no Procedimento de Recuperação do Pavimento

3.1.2.1 Cimento

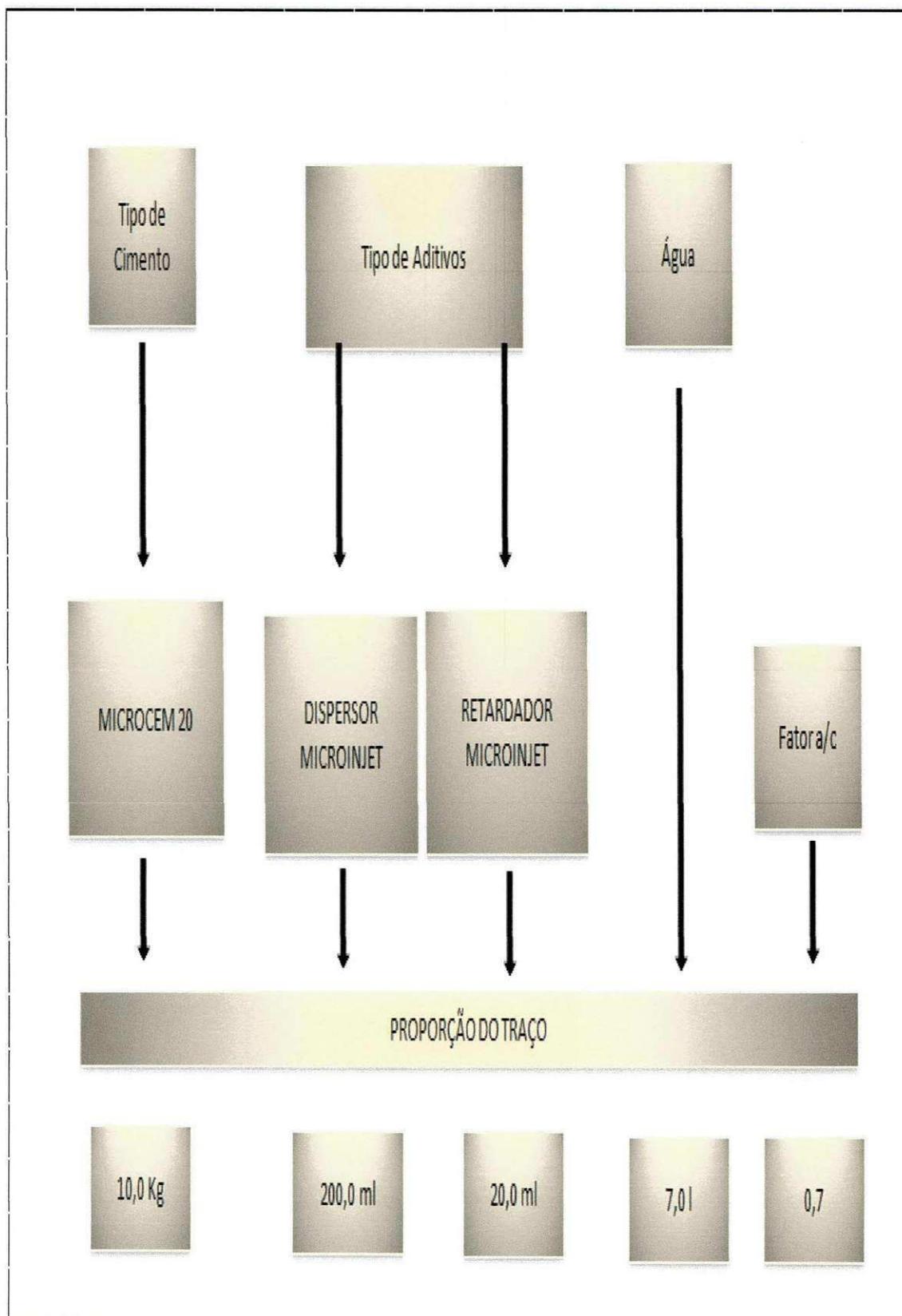
O cimento utilizado na aplicação de calda coloidal de microcimento foi Microcem 20, fabricado pela empresa Holcim, devido à facilidade no controle de fluidez e viscosidade durante o processo de fabricação dela e durante a aplicação, além de uma penetração e injetabilidade muito superior ao das caldas de cimento convencionais.

3.1.2.2 Traço da Calda Coloidal de Microcimento

Na confecção do traço buscou-se atingir uma baixa pressão no momento da aplicação e, por isso, optou-se por uma maior fluidez e uma menor viscosidade. Essa fluidez gerou em torno de $7,1\text{cm}^3/\text{s}$.

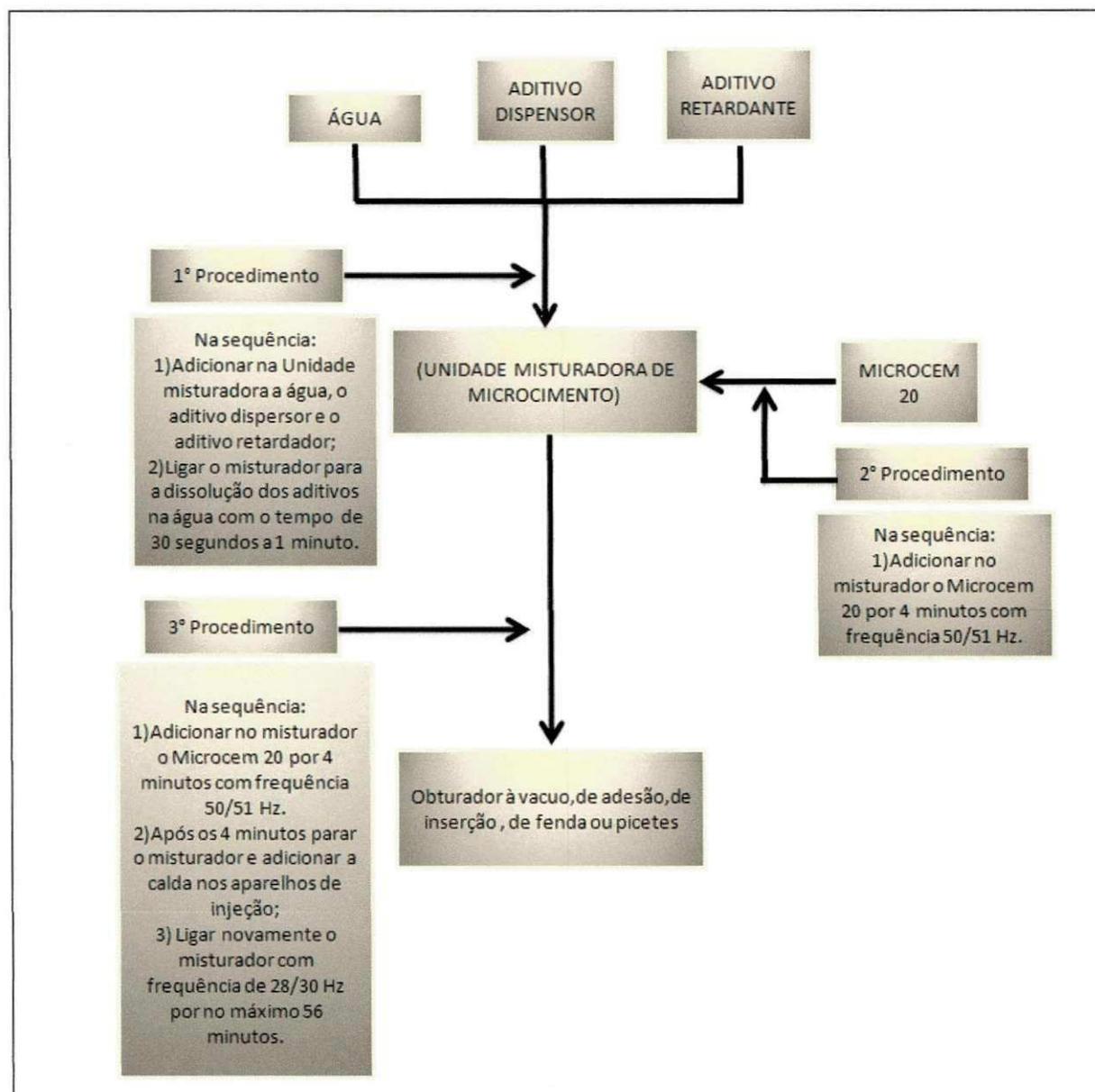
A quantidade de produção de calda coloidal de microcimento dependia do tempo relativo de aplicação, pois, após 1 hora, a calda perdia sua fluidez devido ao início de pega, com essa característica, eram produzidos para cada atividade de aplicação, 18 litros de calda coloidal num misturador de capacidade para 50 litros. A proporção do traço para cada atividade de aplicação se distribuiu de acordo com o Quadro 2.5:

QUADRO 2.5 – A proporção do traço da calda coloidal de microcimento



Foi adotada a seguinte seqüência para a preparação da calda coloidal:

QUADRO 2.6 - Seqüência para a preparação da calda coloidal de microcimento



3.1.2.3 Equipamentos de Campo

Para a aplicação da injeção de calda de microcimento no tratamento da patologia do pavimento de concreto da BR-101- Lote 5, foram utilizados equipamentos da empresa contratada (Holcim) e o laboratório de tecnologia do Exército Brasileiro sendo supervisionada pela ABCP. Dentre os equipamentos utilizados estão:

- Caminhão Pipa com capacidade de 8000 litros;



Figura 2.25 – Limpeza com caminhão Pipa.

- Compressor de ar;



Figura 2.26 – Compressor de ar para remoção de partículas sólidas.

Especificações

- Modelo: Mobilair M-57

- Pressão: 7 bar
 - Motor: Diesel, Kubota, V2403, 4 tempos, 4 cilindros, refrigerado a água
 - Potência: 33,6 kW a 2400 rpm • Capacidade do tanque de combustível: 105 litros
 - Peso: 1225 kg
 - Dimensões (C x L x A): 3780 (6145) x 1680 x 1500 mm
-
- Gerador;



Figura 2.27 – Gerador para alimentar o misturador coloidal.

Especificações

- Motor: Branco 2.8 CV, 4 tempos / Gasolina
- Potência Máxima: 1,3 KVA
- Potência Nominal: 1,1 KVA
- Frequência: 60Hz
- Carregador de Baterias: 12V - 10A
- Combustível: Gasolina
- Capacidade do Tanque: 6 Litros
- Autonomia (50% de carga): 4,8 horas
- Sistema de Resfriamento: Ar
- Peso: 30 kg
- Fases: Monofásico

- Ruído: 67 dB a 7 metros
- Dimensões (C x L x A): 470mm x 360mm x 420 mm

- Extratora;

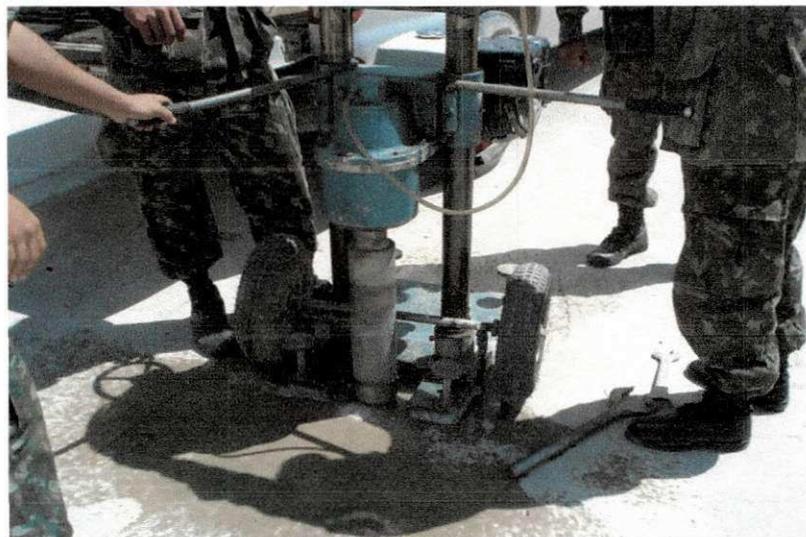


Figura 2.28 – Extratora para retirada dos testemunhos.

Especificações

- Motor: 8HP
- Combustível: Gasolina
- Capacidade do Tanque: 8 Litros
- Sistema de Resfriamento: A água
- Peso: 140 kg
- Dimensões para cálices Ø 2", 3", 4" e 6"
- Capacidade de perfuração: 400 mm

3.1.2.4 Equipamentos de Laboratório

Para a obtenção dos resultados de resistência dos corpos de prova extraídos do pavimento, após a injeção de calda coloidal de microcimento, utilizaram-se os seguintes equipamentos:

1. Prensa hidráulica;
2. Retífica;

3.1.2.5 Placas de Concreto

O pavimento recuperado encontra-se no lote-05 da BR-101/PB, trecho que liga a divisa RN/PB a divisa PB/PE, no sub-trecho localizado na entrada da PB-025 até a divisa PB/PE com extensão de 54,9 km (Figura 2.29).



Figura 2.29 – Trecho da BR101- Lote 05

Fonte: Projeto executivo - Lote 05

A seção tipo do pavimento em questão é mostrada na Figura 2.30:

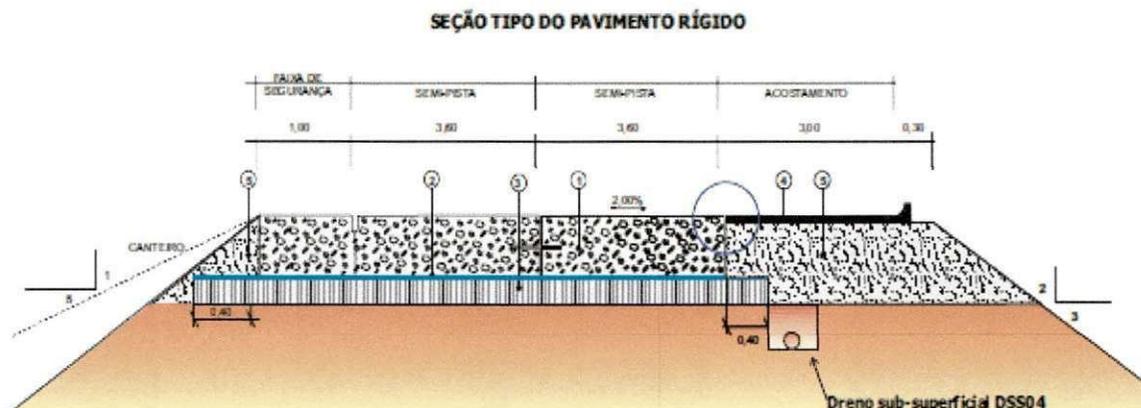


Figura 2.30 – Seção tipo do pavimento rígido da BR101- Lote 05

Fonte: Projeto executivo - Lote 05

As camadas do pavimento estão dispostas, segundo o projeto executivo, nesta seqüência:

Na pista de rolamento:

1. Placa de concreto de cimento *Portland*, com resistência à tração na flexão de 4,5 MPa e espessura de 0,22 m;
2. Pintura de ligação com RR-2C com a taxa de 0,6 l/m²;
3. Sub-base de concreto compactado a rolo (CCR), de resistência à tração na flexão de 1,8 MPa, com espessura de 0,10 m;

No acostamento:

4. Revestimento em concreto betuminoso usinado à quente (CBUQ) faixa C, com espessura de 0,04 m;
5. Base de brita graduada com espessura de 0,28 m.
6. As juntas transversais de retração são preenchidas com barras de transferência, com comprimento de 46 cm, diâmetro de 25mm (CA-25), sendo que 25 cm pintadas e

engraxadas (Figura 2.31) e espaçamentos de 30cm (Figura 2.33). As juntas longitudinais de articulação são preenchidas com barras de ligação com comprimento de 85 cm, diâmetro de 12,5mm (CA-50) (Figura 2.32), e espaçamentos de 75 cm (Figura 2.33).

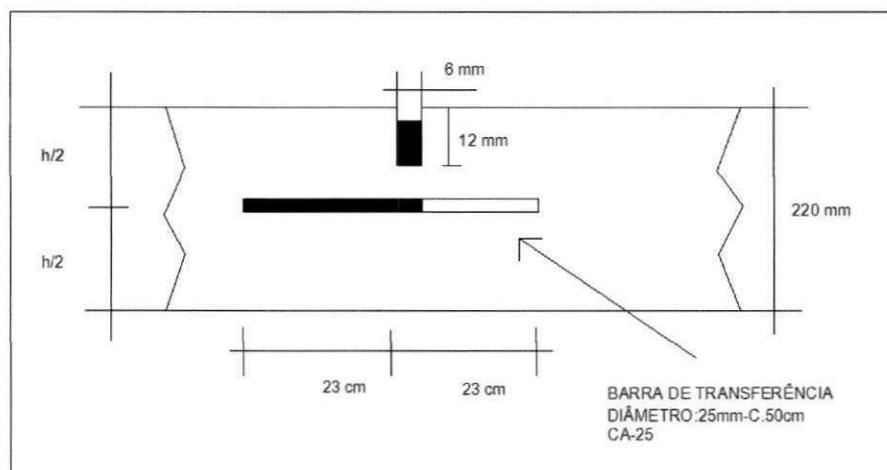


Figura 2.31 – Detalhamento das juntas transversais com barras de transferência.

Fonte: Projeto executivo - Lote 05

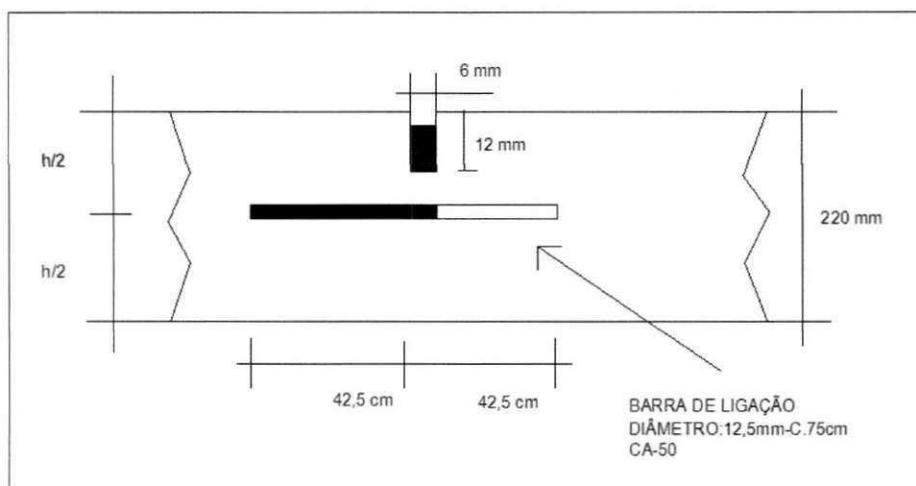


Figura 2.32 – Detalhamento das juntas longitudinais com barras de ligação.

Fonte: Projeto executivo - Lote 05

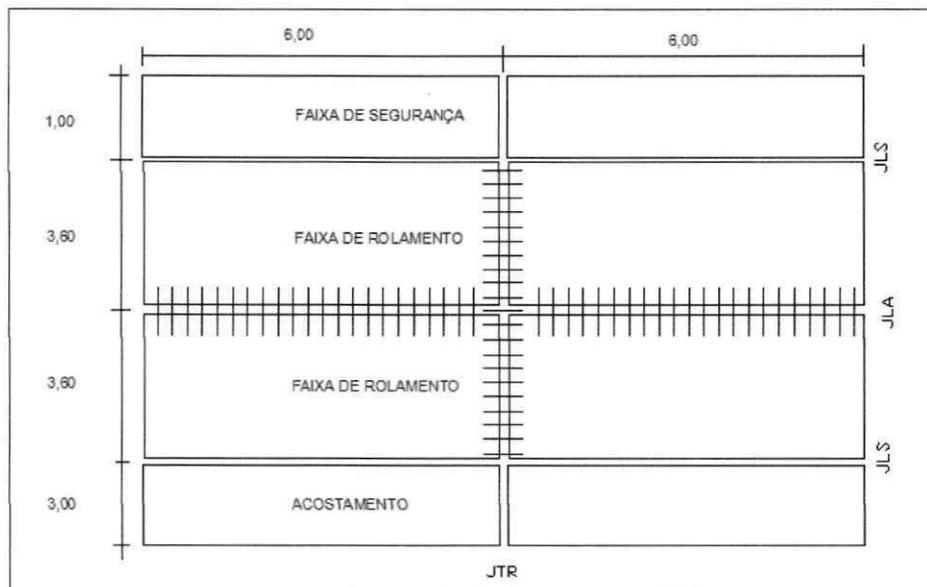


Figura 2.33 – Disposições das barras de transferência e de ligação no pavimento.

Fonte: Projeto executivo - Lote 05

O trecho recuperado corresponde às placas com numeração 1.346 a 1.839, totalizando 2.958 metros, porém este segmento apresenta ainda placas sem patologia.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo apresentam-se os materiais e métodos utilizados nesta pesquisa. Desde que a pesquisa foi realizada em uma obra de pavimentação rodoviária, que se encontra ainda em execução, indicam-se as placas de concreto e extensão do trecho que representa o espaço amostral de onde foram extraídos os corpos de prova utilizados para estudo. Apresentam-se os equipamentos utilizados para extração, ruptura e análise microscópica dos corpos de prova e amostras deles retiradas. Sequencialmente apresenta-se a metodologia utilizada para o estudo.

Para esta pesquisa foram extraídos testemunhos (CP's) em locais pré-definidos por meio de um levantamento das patologias existentes. O plano de trabalho também foi determinado em função do tipo de tratamento adotado no trecho recuperado com injeção de calda de microcimento.

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Placas de concreto

Dentro do universo amostral das placas de concreto do pavimento recuperado, as amostras escolhidas para estudo foram aquelas dentro da numeração 1.508 a 1.825, situadas entre os quilômetros 113 e 115 com extensão de 1.902 metros.



Figura 3.1 – Trecho de placas recuperadas próximo ao km 114.

4.1.2 Equipamentos de Campo

4.1.2.1 Extratora

Para extração dos testemunhos utilizou-se uma extratora com capacidade de perfuração de 400 mm com cálice de diâmetro \varnothing de 4" para retiradas de CP's cilíndricos com 100 mm diâmetro por 200 mm de altura. A Figura 3.2 ilustra o equipamento de extração dos corpos de prova.



Figura 3.2 – Equipamento de extração dos corpos de prova.

4.1.3 Equipamentos de Laboratório

4.1.3.1 Prensa Hidráulica

Para o rompimento dos corpos de prova utilizou-se prensa elétrica hidráulica com 2 (dois) manômetros, capacidade 100/20 toneladas, com indicador analógico, escalas 0-120.000kgf divisão de 200kgf e de 0-24.000 kgf com divisão de 40kgf. Aplica-se em ensaios de corpos de prova cilíndricos de concreto com diâmetros \varnothing igual a 15cm ou 10cm por alturas de 30cm ou 20 cm respectivamente. A Figura 3.3 ilustra o equipamento de rompimento dos corpos de prova.

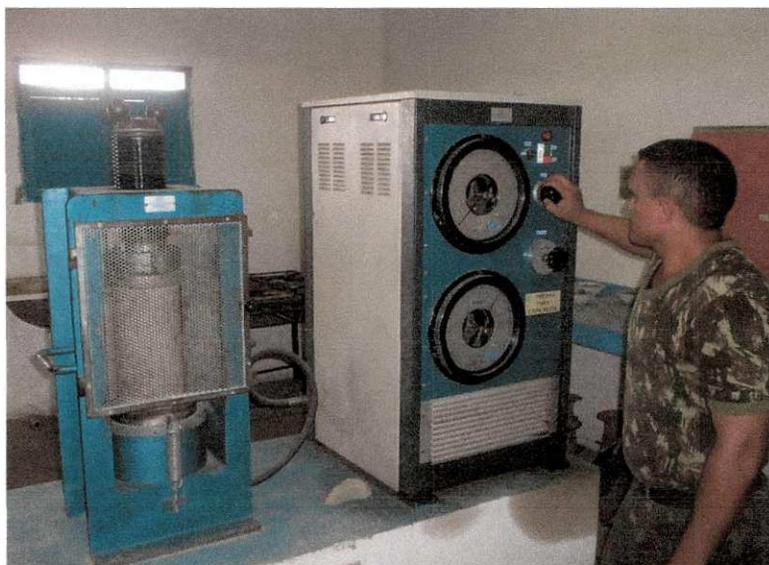


Figura 3.3 – Equipamento de rompimento dos corpos de prova.

4.1.3.2 Microscopia óptica

A análise microscópica das amostras foi realizada através de dois microscópios, um com capacidade de ampliação de até 50,0 a 100,0 vezes de marca Olympus, SC30 , BX51 , MODEL U-L-M 100 -3 e o outro de marca também Olympus, SZ 40, com capacidade de ampliação de até 40,0. As Figuras 3.4 e 3.5 mostram os equipamentos utilizados.



Figura 3.4 – Equipamento de microscopia óptica, SC30.



Figura 3.5 – Equipamento de microscopia óptica, SZ40.

4.2 MÉTODOS

A metodologia adotada neste trabalho busca avaliar as condições do pavimento rígido, recuperado com a técnica de injeção de calda coloidal de microcimento quanto à eficiência da colmatação, para isso adotou-se o método destrutivo de extração de corpos de prova e posterior ruptura por compressão simples e análise microscópica.

4.2.1 Extração de Corpos de Prova

Através da extração de corpos de prova foi possível verificar a profundidade e espessura externa da fissura, avaliar a penetração da calda de microcimento, resistência e parâmetros complementares, tais como: homogeneidade do concreto e espessura da placa.

O método destrutivo pela sua própria natureza restringiu-se apenas ao segmento de placas de números 1.796 a 1.825, totalizando 174 metros, que seriam demolidas. Após avaliação desse segmento de placas, verificou-se que, em relação ao comprimento das fissuras, as mesmas apresentaram comprimento superior a 1,0m, aberturas superiores a 1,0 mm, interligadas, com profundidade que atingia toda a espessura da placa e com elevado grau de incidência por placa (Figura 3.6).

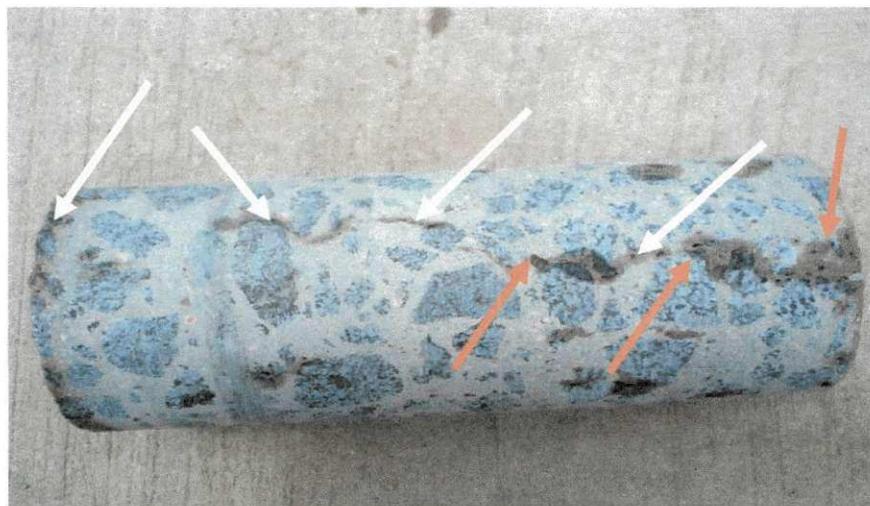
Entretanto parte deste segmento foi tratada com as técnicas de injeção pressurizada e por gravidade para servir de teste para avaliação posterior às aplicações. Depois da aplicação de injeções de calda coloidal de microcimento, foram realizadas 50 extrações em várias placas, no segmento acima mencionado, sendo observado o preenchimento parcial das fissuras, conforme as Figuras 3.7 e 3.8. As setas brancas indicam o preenchimento da fissura com o microcimento e as setas laranja os vazios deixados após a aplicação.



Figura 3.6 – Corpo de prova extraído sem injeção de calda coloidal de microcimento.



Figuras 3.7 – Corpo de prova extraído após injeção de calda coloidal de microcimento.



Figuras 3.8 – Corpo de prova extraído após injeção de calda coloidal de microcimento.

Para a verificação do desempenho mecânico dos corpos de provas (CPs) e a capacidade real de penetração da calda coloidal de microcimento, os CPs foram encaminhados ao laboratório tecnológico do Exército para serem rompidos à compressão axial (Figura 3.9). A ruptura dos corpos de prova cilíndricos foi realizada segundo o método de ensaio de compressão NBR- 5739/2007 da ABNT.



Figura 3.9 – Corpo de prova submetido à compressão axial.

A Figura 3.10 ilustra o procedimento de ruptura dos CPs extraídos. Observa-se que o processo de ruptura se inicia a partir de fissuras indicadas por setas azuis e não naquelas tratadas com calda coloidal de microcimento mostradas com setas laranjas.

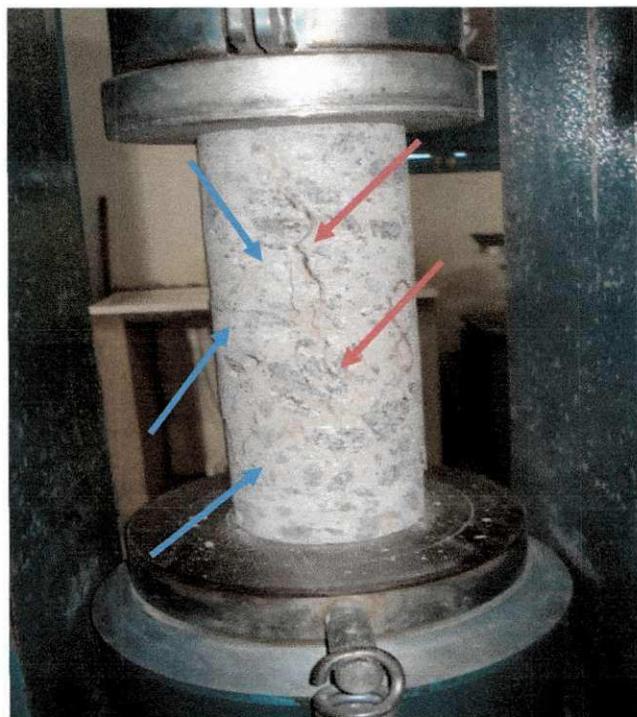


Figura 3.10 – Corpo de prova submetido à compressão axial.

4.2.2 Microscópio Óptico

No intuito de realizar uma verificação complementar ao método anterior, com relação à penetração da calda de microcimento, foram extraídos cinco CPs e retiradas amostras para ensaios através da microscopia óptica (Figura 3.11). O trecho escolhido aberto ao tráfego havia 1 ano e dez meses e a análise servirá para verificar “in situ” o desempenho do método empregado para colmatação das fissuras.

Os cinco CP's foram extraídos das placas com números 1.508, 1.522, 1.636, 1.770 e 1.790 e encaminhados ao Laboratório de Gemologia da Unidade Acadêmica de Mineração e Geologia do CTRN da UFCG, em Campina Grande, para serem preparados para os ensaios de microscopia óptica.

Os CP's foram seccionados em cinco partes com alturas aproximadas de 4,2cm a 4,8cm cada uma (Figura 3.11). Na parte superior dos corpos de prova foram definidas duas regiões A e B, obtidas a partir de duas semi-circunferências limitadas pela corda perpendicular à fissura conforme ilustra a Figura 3.12. Destas partes seccionadas, foram retiradas outras amostras com forma paralelepípedica com dimensões 3,0 cm x 3,0 cm x 0,5cm de espessura. Estas amostras receberam polimento antes de serem analisadas ao microscópio óptico. A Fig.3.13 ilustra uma amostra utilizada para ensaio de microscopia óptica.

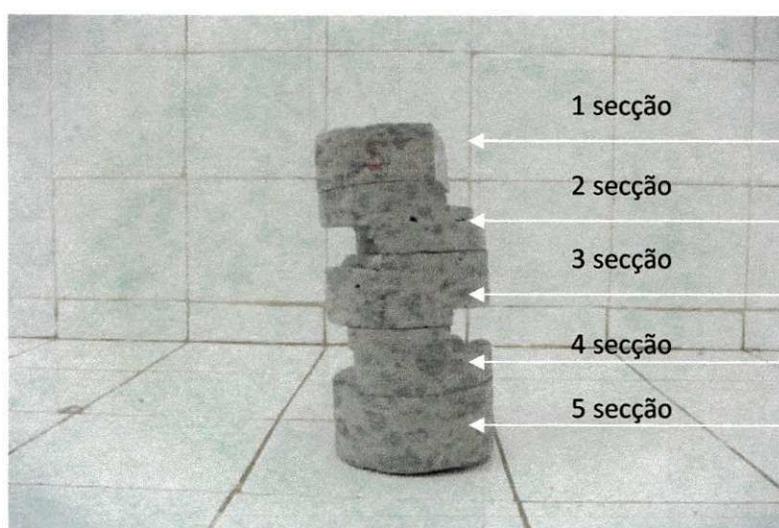


Figura 3.11 – Corpo de prova seccionado em cinco partes.

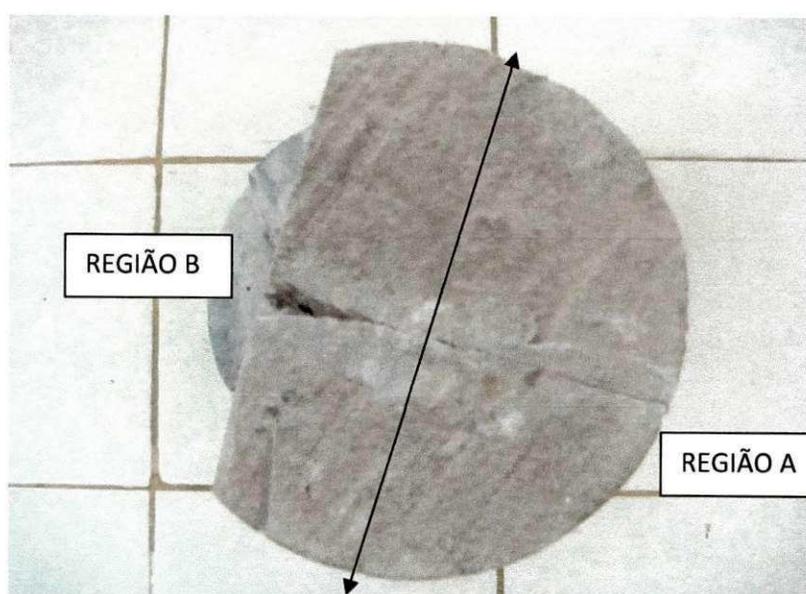


Figura 3.12 – Identificação das regiões dos CP's.

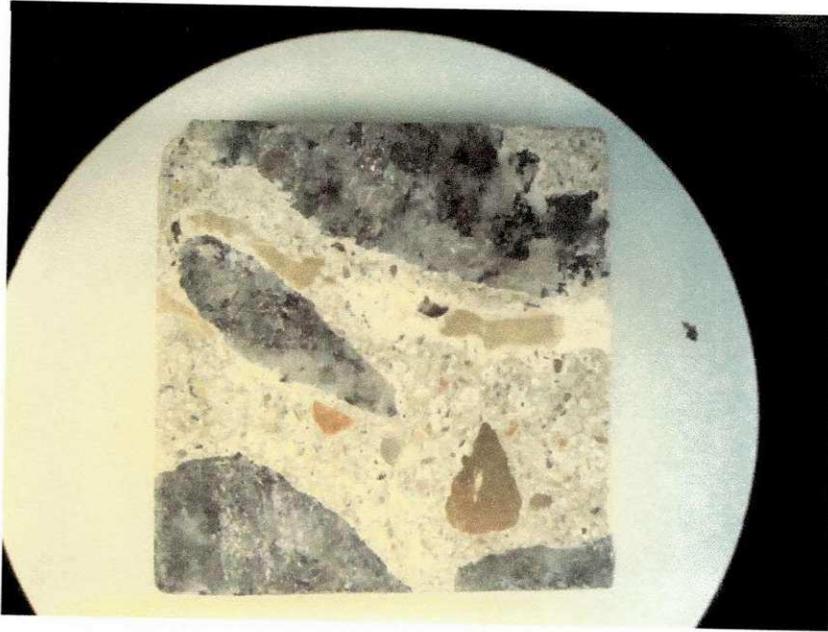


Figura 3.13 – Amostra retirada do corpo de prova com dimensões 3cm x 3cm x 0,5cm

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Este capítulo apresenta as análises e discussões dos resultados experimentais obtidos por meio de ensaio de campo realizado no trecho de placas 1.508 até 1.825, da BR101 – lote 05.

Os trechos escolhidos foram com e sem liberação de tráfego. No trecho de placas de concreto, sem liberação ao tráfego, foram realizadas extrações em 48 pontos, para verificação da resistência do concreto recuperado com a técnica de injeção de microcimento e para o trecho de placas, com liberação ao tráfego, foram realizadas extrações em 5 pontos, para a verificação da eficiência da colmatação, quanto à sua penetração nas fissuras das placas do pavimento.

5.1 ANÁLISES DOS RESULTADOS DAS EXTRAÇÕES DOS CORPOS DE PROVA

Os corpos de prova extraídos nos 48 pontos das placas de concreto do pavimento em estudo, que sofreram o tratamento da injeção de calda coloidal de microcimento, foram submetidos ao controle estatístico de conformidade e não conformidade de aceitação do concreto através da norma DNIT049-2009-ES (DNIT, 2009).

A resistência característica estimada do concreto do trecho inspecionado à tração na flexão ou à compressão axial foi determinada a partir das expressões:

$$f_{ct_{M, est}} = f_{ct_{M28}} - k_s$$

ou

$$f_{ck, est} = f_{c_{28}} - k_s$$

Onde:

$f_{ct_{M, est}}$ = valor estimado da resistência característica do concreto à tração na flexão;

$f_{ct_{M28}}$ = resistência média do concreto à tração na flexão, na idade de 28 dias;

$f_{ck, est}$ = valor estimado da resistência característica do concreto à compressão axial;

f_{c28} = resistência média do concreto à compressão axial, na idade de 28 dias;

s = desvio padrão dos resultados;

k = coeficiente de distribuição de Student;

n = número de exemplares.

O valor do coeficiente k é função da quantidade de exemplares do lote, sendo obtido na Tabela 4.1.

TABELA 02 - Coeficiente de distribuição de Student

AMOSTRAGEM VARIÁVEL													
n	6	7	8	9	10	12	15	18	20	25	30	32	>32
k	0,920	0,906	0,896	0,889	0,883	0,876	0,868	0,863	0,861	0,857	0,854	0,842	0,842

O pavimento será aceito automaticamente quanto à resistência do concreto, quando se obtiver uma das seguintes Condições:

$$f_{ctM, est} \geq f_{ctM, k}$$

ou

$$f_{ck, est} \geq f_{ck}$$

Os resultados obtidos das extrações dos CP's em cujas fissuras foram injetadas calda de microcimento foram satisfatórios quanto à resistência, apesar de se observar que na maioria dos CPs a colmatação destas fissuras foi parcial. Para que se chegasse a esses resultados satisfatórios, foram comparadas as resistências à compressão axial, dos concretos

moldados no período de execução do pavimento. Esses resultados encontram-se no Quadro 4.1 identificado pela cor azul. Diante disso, e levando em consideração que o projeto especifica a resistência à tração na flexão e não à resistência a compressão axial, estabeleceu-se uma relação entre o valor estimado da resistência característica do concreto à tração na flexão e o valor estimado da resistência característica do concreto à compressão axial para verificar se o resultado atenderia ao projeto. Este controle estatístico adotado pela fiscalização da obra, para atender as normas especificadas em projeto, serviu como parâmetro comparativo entre as resistências do concreto do trecho com fissuras e as resistências do mesmo concreto colmatado com injeção de calda coloidal de microcimento.

O Quadro 4.1 mostra, no intervalo das estacas 2.037 a 2.026, representado pela cor azul, dentro do trecho de placas 1.508 até 1.825, o resultado das resistências à compressão aos 28 dias de idade, f_{c28} , variando de 33,8MPa a 44,6MPa, com média de 38,8MPa do concreto executado sem calda de microcimento. Na última coluna de cada Quadro verifica-se a relação entre o valor estimado da resistência característica do concreto à tração na flexão e o valor estimado da resistência característica do concreto à compressão axial que variou entre 0,14 a 0,12. Foram inseridos nos Quadros 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5, os resultados das resistências dos 48 CP's colmatados com a injeção de calda coloidal de microcimento dividindo-se da seguinte forma:

- Para o Quadro 4.2 foram inseridos 12 resultados, sendo que no Lote 29, permaneceu com 2 resultados e no Lote 30 com 10 resultados.
- Para os demais Quadros seguiu-se essa mesma sequência;

Essa separação das extrações em 2 resultados para o Lote 29 e 10 resultados para o Lote 30 obedeceu aos mesmos critérios do Quadro 4.1(Quadro adotado pela empresa fiscalizadora da obra) e aos seguintes aspectos:

- No momento da execução do pavimento foram moldados 6 exemplares para o Lote 29 e 10 exemplares para o Lote 30;
- O trecho com ocorrência de fissuras estava compreendido entre o Lote 29 e Lote 30, entre as estacas 2037 a 2026; e
- As extrações foram realizadas entre as estacas 2035 a 2026.

Ao serem comparados esses resultados de resistências e as relações com os encontrados para o concreto executado com o tratamento de calda de microcimento, observa-se que estes valores obtidos estão atendendo aos critérios de aceitação, como mostra os Quadros 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5.

Apesar dos resultados terem sido satisfatórios, deve-se levar em consideração que o processo destrutivo de extração de CP's , pelo efeito de broqueamento do cálice, segundo a Norma NBR 7680/2007 da ABNT, pode acarretar em uma perda significativa de resistência, que não foi o caso. Ao avaliar externamente os CP's , observou-se que eles apresentaram fissuras com profundidades ao longo de sua altura e com trajetórias variadas. Os CP's não apresentaram espessuras inferiores à de projeto e nem excesso aparente de teor de argamassa.

QUADRO 4.1 - Resistências obtidas pelos corpos de prova sem aplicação da injeção de microcimento

TRECHO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)		RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)								N LOTE	RELAÇÃO TRAÇÃO COMPRESSÃO	
	CONCRETO SEM INJEÇÃO DE MICROCEMENTO			CONTROLE ESTATÍSTICO									
	7 DIAS	28 DIAS	28 DIAS	Nº EXEMP.	fct 28	fctM28	DESVIO PADRÃO	Coeficiente de distribuição de Student	fctM,est	ACEITAÇÃO DO LOTE			
					(MPa)	(MPa)	(MPa)		(MPa)				
PLACA PISTA	25	32,5	4,7	6	4,9	4,85	0,19	0,92	4,68	APROVADO AUTOMATICAMENTE	29	0,14	
Estacas 2046 a 2037		32,2	4,9										
PLACA PISTA	25,1	32,7	5,1										
Estacas 2046 a 2037		36,7	4,9										
PLACA PISTA	24,1	33	5,0										
Estacas 2046 a 2037		35,1	4,8										
PLACA PISTA	26,8	33,6	4,5										
Estacas 2046 a 2037		33,2	4,7										
PLACA PISTA	30,4	33,8	4,8										
Estacas 2037 a 2032		36,2	4,6										
PLACA PISTA	30,4	36,4	4,4										
Estacas 2037 a 2032		36,3	4,6										
PLACA PISTA	35,8	41,0	4,3	10	4,3	5,13	0,57	0,883	4,63	APROVADO AUTOMATICAMENTE	30	0,12	
Estacas 2032 a 2027		42,5	4,2										
PLACA PISTA	40,7	42,3	5,2										
Estacas 2032 a 2027		42,8	5,0										
PLACA PISTA	35,1	44,6	5,4										
Estacas 2027 a 2026		43,2	5,6										
PLACA PISTA	33,0	38,4	4,4										
Estacas 2026 a 2022	31,3	41,8	4,3										
PLACA PISTA	29,9	38,6	4,6										
Estacas 2026 a 2022	32,1	37,9	4,5										
PLACA PISTA	26,7	37,6	4,6										
Estacas 2022 a 2019	31,6	35,4	4,7										
PLACA PISTA	38,4	42,3	5,3										
Estacas 2019 a 2013	38,8	40,9	5,6										
PLACA PISTA	35,0	41,2	5,4										
Estacas 2019 a 2013	37,0	40,9	5,6										
PLACA PISTA	33,8	44,0	5,5										
Estacas 2019 a 2013	36,1	42,8	5,6										
PLACA PISTA	36,7	44,2	5,6										
Estacas 2019 a 2013	40,4	42,4	5,7										

Fonte: Empresa Fiscalizadora da obra (Dynatest).

QUADRO 4.2 - Resistências obtidas pelos corpos de prova com aplicação da injeção de microcimento

TRECHO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)				RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)							N LOTE	RELAÇÃO TRAÇÃO COMPRESSÃO	
	CONCRETO SEM INJEÇÃO DE MICROCEMENTO				CONTROLE ESTATÍSTICO									
	7 DIAS	28 DIAS	ALTURA DOS CP'S (cm)	PROFUNDIDADE DA FISSURA	28 DIAS	Nº EXEMP.	fct 28	fctM28	DESVIO PADRÃO	Coefficiente de distribuição de Student	fctM,est			ACEITAÇÃO DO LOTE
							(MPa)	(MPa)	(MPa)		(MPa)			
PLACA PISTA	25	32,5			4,7	6	4,9	4,85	0,19	0,92	4,68	APROVADO AUTOMATICAMENTE	29	0,14
Estacas 2046 a 2037		32,2			4,9									
PLACA PISTA	25,1	32,7			5,1									
Estacas 2046 a 2037		36,7			4,9									
PLACA PISTA	24,1	33			5,0									
Estacas 2046 a 2037		35,1			4,8									
PLACA PISTA	26,8	33,6			4,5									
Estacas 2046 a 2037		33,2			4,7									
PLACA PISTA	30,4	33,8			4,8									
Estacas 2037 a 2035		36,2			4,6									
PLACA PISTA	42,0	20,6	20,6	4,4	10	4,6	5,13	0,57	0,883	4,63	APROVADO AUTOMATICAMENTE	30	0,12	
Estacas 2035 a 2032		38,2	22,6	22,6										4,6
PLACA PISTA	48,9	23,2	23,2	4,3										
Estacas 2032 a 2030		35,4	23,7	23,7										4,2
PLACA PISTA		42,7	23,2	23,2										5,2
Estacas 2032 a 2030		37,7	23,4	23,4										5,0
PLACA PISTA		33,1	22,8	22,8										5,4
Estacas 2030 a 2028		40,3	23,2	23,2										5,6
PLACA PISTA		42,0	20,7	20,7										4,4
Estacas 2030 a 2028		38,2	22,6	22,6										4,3
PLACA PISTA		48,9	23,1	23,1	4,6									
Estacas 2028 a 2026		35,4	23,5	23,5	4,5									
PLACA PISTA	26,7	37,6			4,6									
Estacas 2022 a 2019	31,6	35,4			4,7									
PLACA PISTA	38,4	42,3			5,3									
Estacas 2019 a 2013	38,8	40,9			5,6									
PLACA PISTA	35,0	41,2			5,4									
Estacas 2019 a 2013	37,0	40,9			5,6									
PLACA PISTA	33,8	44,0			5,5									
Estacas 2019 a 2013	36,1	42,8			5,6									
PLACA PISTA	36,7	44,2			5,6									
Estacas 2019 a 2013	40,4	42,4			5,7									

QUADRO 4.4 - Resistências obtidas pelos corpos de prova com aplicação da injeção de microcimento

TRECHO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)				RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)							N LOTE	RELAÇÃO TRAÇÃO COMPRESSÃO	
	CONCRETO SEM INJEÇÃO DE MICROCEMENTO				CONTROLE ESTATÍSTICO									
	7 DIAS	28 DIAS	ALTURA DOS CP'S(cm)	PROFUNDI DADE DA FISSURA	28 DIAS	Nº EXEMP.	fct 28	fctM28	DESVIO PADRÃO	Coeficiente de distribuição de Student	fctM,est			ACEITAÇÃO DO LOTE
							(MPa)	(MPa)	(MPa)		(MPa)			
PLACA PISTA	25	32,5			4,7	6	4,9	4,85	0,19	0,92	4,68	APROVADO AUTOMATICAMENTE	29	0,14
Estacas 2046 a 2037		32,2			4,9									
PLACA PISTA	25,1	32,7			5,1									
Estacas 2046 a 2037		36,7			4,9									
PLACA PISTA	24,1	33			5,0									
Estacas 2046 a 2037		35,1			4,8									
PLACA PISTA	26,8	33,6			4,5									
Estacas 2046 a 2037		33,2			4,7									
PLACA PISTA	30,4	33,8			4,8									
Estacas 2037 a 2035		36,2			4,6									
PLACA PISTA		35,4	23,6	23,6	4,4	10	5,13	0,57	0,883	4,63	APROVADO AUTOMATICAMENTE	30	0,12	
Estacas 2035 a 2032		40,3	23,2	23,2	4,6									
PLACA PISTA		42,0	20,6	20,6	4,3									
Estacas 2032 a 2030		38,2	22,5	22,5	4,2									
PLACA PISTA		35,4	23,6	23,6	5,2									
Estacas 2032 a 2030		33,1	22,9	22,9	5,0									
PLACA PISTA		42,0	20,6	20,6	5,4									
Estacas 2030 a 2028		48,9	23,3	23,3	5,6									
PLACA PISTA		42,7	23,2	23,2	4,4									
Estacas 2030 a 2028		38,2	22,7	22,7	4,3									
PLACA PISTA		38,2	22,5	22,5	4,6									
Estacas 2028 a 2026		35,4	23,5	23,5	4,5									
PLACA PISTA	26,7	37,6			4,6									
Estacas 2022 a 2019	31,6	35,4			4,7									
PLACA PISTA	38,4	42,3			5,3									
Estacas 2019 a 2013	38,8	40,9			5,6									
PLACA PISTA	35,0	41,2			5,4									
Estacas 2019 a 2013	37,0	40,9			5,6									
PLACA PISTA	33,8	44,0			5,5									
Estacas 2019 a 2013	36,1	42,8			5,6									
PLACA PISTA	36,7	44,2			5,6									
Estacas 2019 a 2013	40,4	42,4			5,7									

QUADRO 4.5 - Resistências obtidas pelos corpos de provas com aplicação da injeção de microcimento.

TRECHO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO (MPa)					RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO (MPa)							N LOTE	RELAÇÃO TRAÇÃO COMPRESSÃO
	CONCRETO SEM INJEÇÃO DE MICROCIMENTO					CONTROLE ESTATÍSTICO								
	7 DIAS	28 DIAS	ALTURA DOS CP'S (cm)	PROFUNDI DADE DA FISSURA	28 DIAS	Nº EXEMP.	fct 28 (MPa)	fctM28 (MPa)	DESVIO PADRÃO (MPa)	Coeficiente de distribuição de Student	fctM,est (MPa)	ACEITAÇÃO DO LOTE		
PLACA PISTA	25	32,5			4,7	6	4,85	0,19	0,92	4,68	APROVADO AUTOMATICAMENTE	29	0,14	
Estacas 2046 a 2037		32,2			4,9									
PLACA PISTA	25,1	32,7			5,1									
Estacas 2046 a 2037		36,7			4,9									
PLACA PISTA	24,1	33			5,0									
Estacas 2046 a 2037		35,1			4,8									
PLACA PISTA	26,8	33,6			4,5									
Estacas 2046 a 2037		33,2			4,7									
PLACA PISTA	30,4	33,8			4,8									
Estacas 2037 a 2035		36,2			4,6									
PLACA PISTA		38,2	22,4	22,4	4,4									
Estacas 2035 a 2032		42,7	23,1	23,1	4,6									
PLACA PISTA		38,2	22,4	22,4	4,3	10	5,13	0,57	0,883	4,63	APROVADO AUTOMATICAMENTE	30	0,12	
Estacas 2032 a 2030		48,9	23,1	23,1	4,2									
PLACA PISTA		38,2	22,6	22,6	5,2									
Estacas 2032 a 2030		48,9	23,2	23,2	5,0									
PLACA PISTA		33,1	22,8	22,8	5,4									
Estacas 2030 a 2028		42,0	20,6	20,6	5,6									
PLACA PISTA		38,2	22,3	22,3	4,4									
Estacas 2030 a 2028		38,2	22,7	22,7	4,3									
PLACA PISTA		37,7	23,2	23,2	4,6									
Estacas 2028 a 2026		33,1	22,9	22,9	4,5									
PLACA PISTA	26,7	37,6			4,6									
Estacas 2022 a 2019	31,6	35,4			4,7									
PLACA PISTA	38,4	42,3			5,3									
Estacas 2019 a 2013	38,8	40,9			5,6									
PLACA PISTA	35,0	41,2			5,4									
Estacas 2019 a 2013	37,0	40,9			5,6									
PLACA PISTA	33,8	44,0			5,5									
Estacas 2019 a 2013	36,1	42,8			5,6									
PLACA PISTA	36,7	44,2			5,6									
Estacas 2019 a 2013	40,4	42,4			5,7									

5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS POR MICROSCOPIA ÓPTICA

As amostras analisadas por microscopia óptica sofreram ampliações em tamanho de 6,7 vezes, 15,0 vezes, 40 vezes e 50,0 vezes. A microscopia forneceu a espessura das fissuras colmatadas e dos vazios encontrados. Na coleta das amostras levou-se em consideração a quantidade de fissuras identificadas em cada secção dos CP's.

Foram analisadas 56 amostras e inseridas na Tabela 03, detalhada através do número do corpo de prova, a secção, o número da amostra, a região e o número de vezes em ampliação para cada amostra. O exemplo abaixo detalha esta seqüência.

Para amostra 1.1.1.A, significa:

- análise no CP 1, na secção 1, amostra 1, na região A ;

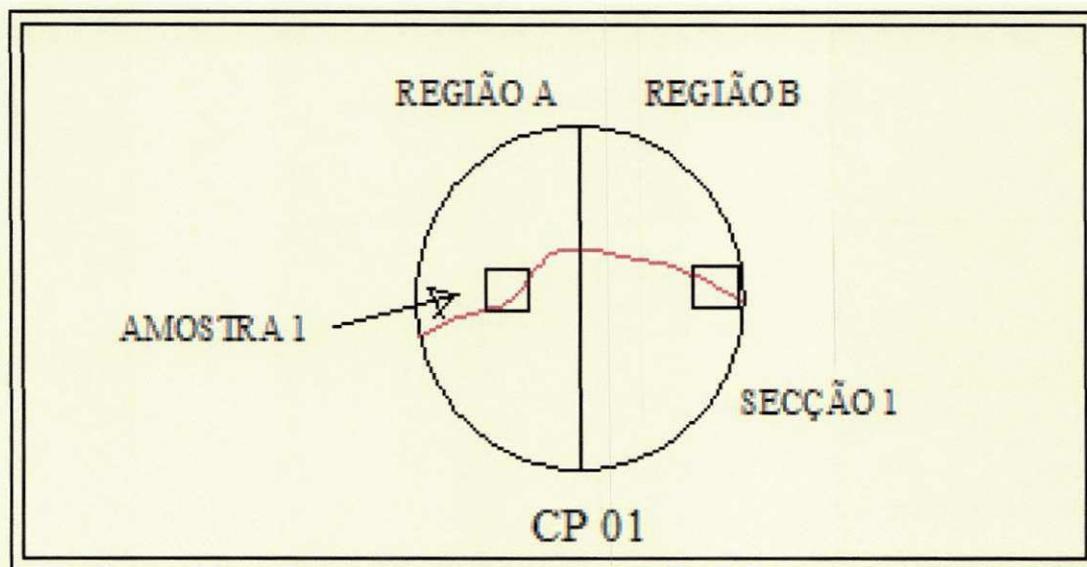


Figura 4.1 – Secção 1 do CP 01.

A Tabela 03 apresenta os 5 CP's separados por cores e a seqüência das amostras analisadas microscopicamente.

TABELA 03 - Seqüência de amostras retiradas dos corpos de prova

N°CP/SECÇÃO/AMOSTRA/REGIÃO	NÚMERO DE VEZES EM AMPLIAÇÃO(mm)				FISSURA COLMATADA		FISSURAS PARCIALMENTE COLMATADAS	
					ESPESSURA ESCALA (500µm)	ESPESSURA ESCALA(mm)	ESPESSURA ESCALA (500µm)	ESPESSURA ESCALA(mm)
1.1.1.A	6,7	15	40	50	995,46	0,50	1379,09	0,69
1.1.2.A	6,7	15	40	50	2028,95	1,01	1492,47	0,75
1.1.3.A	6,7	15	40	50	1596,03	0,80	1638,76	0,82
1.1.4.B	6,7	15	40	50	1784,21	0,89	1699,76	0,85
1.1.5.B	6,7	15	40	50	1168,72	0,58	1066,42	0,53
1.1.6.B	6,7	15	40	50	1999,89	1,00	1825,39	0,91
1.2.1.A	6,7	15	40	50	1382,95	0,69	1001,78	0,50
1.2.2.A	6,7	15	40	50	1382,13	0,69	1025,85	0,51
1.2.3.B	6,7	15	40	50	978,72	0,49	1280,08	0,64
1.2.4.B	6,7	15	40	50	658,37	0,33	1195,77	0,60
1.3.1.A	6,7	15	40	50		0,00	714,21	0,36
1.3.2.A	6,7	15	40	50	717,67	0,36	1750,63	0,88
1.3.3.B	6,7	15	40	50	2460,97	1,23	1030,28	0,52
1.4.1.A	6,7	15	40	50	547,51	0,27	832,37	0,42
1.4.2.B	6,7	15	40	50	768,16	0,38	443,81	0,22
1.5.1.B	6,7	15	40	-	SEM FISSURAS	0,00		0,00
2.1.1.A	6,7	15	40	50	741,47	0,37	COLMATADA	0,00
2.2.2.A	6,7	15	40	50	666,26	0,33	COLMATADA	0,00
2.3.3.A	6,7	15	40	50	675,66	0,34	COLMATADA	0,00
2.4.4.A	6,7	15	40	50	899,19	0,45	COLMATADA	0,00
2.5.5.A	6,7	15	40	50	SEM FISSURAS	0,00		0,00
2.1.1.B	6,7	15	40	50	1374,95	0,69	COLMATADA	0,00
2.2.2.B	6,7	15	40	50	918,18	0,46	COLMATADA	0,00
2.3.3.B	6,7	15	40	50	833,68	0,42	COLMATADA	0,00
2.4.4.B	6,7	15	40	50	1342,45	0,67	COLMATADA	0,00
2.5.5.B	6,7	15	40	50	SEM FISSURAS	0,00		0,00
3.1.1.A	A AMOSTRA NÃO APRESENTOU COLMATAÇÃO DAS FISSURAS							
3.2.2.A	A AMOSTRA NÃO APRESENTOU COLMATAÇÃO DAS FISSURAS							
3.3.3.A	6,7	15	40	50	721,73	0,36	COLMATADA	0,00
3.4.4.A	6,7	15	40	50	638,4	0,32	COLMATADA	0,00
3.5.5.A	6,7	15	40	50	655,02	0,33	COLMATADA	0,00
3.1.1.B	A AMOSTRA NÃO APRESENTOU COLMATAÇÃO DAS FISSURAS							
3.2.2.B	6,7	15	40	50	484,83	0,24	COLMATADA	0,00
3.3.3.B	A AMOSTRA NÃO APRESENTOU COLMATAÇÃO DAS FISSURAS							
3.4.4.B	6,7	15	40	50	432,42	0,22	COLMATADA	0,00
3.5.5.B	6,7	15	40	50	SEM FISSURAS	0,00		0,00
4.1.1.A	6,7	15	40	50	1081,74	0,54	COLMATADA	0,00
4.2.2.A	6,7	15	40	50	1365,36	0,68	COLMATADA	0,00
4.3.3.A	6,7	15	40	50	848,85	0,42	COLMATADA	0,00
4.4.4.A	6,7	15	40	50	1428,41	0,71	COLMATADA	0,00
4.5.5.A	6,7	15	40	50	250,86	0,13	COLMATADA	0,00
4.1.1.B	6,7	15	40	50	1393,79	0,70	COLMATADA	0,00
4.2.2.B	6,7	15	40	50	484,83	0,24	COLMATADA	0,00
4.3.3.B	6,7	15	40	50	SEM FISSURAS	0,00		0,00
4.4.4.B	6,7	15	40	50	SEM FISSURAS	0,00		0,00
4.5.5.B	6,7	15	40	50	SEM FISSURAS	0,00		0,00
5.1.1.A	6,7	15	40	50	1955,47	0,98	1797,86	0,90
5.2.2.A	6,7	15	40	50	1312,46	0,66	1844,74	0,92
5.3.3.A	6,7	15	40	50	1876,67	0,94	1676,77	0,84
5.4.4.A	6,7	15	40	50	1885,6	0,94	COLMATADA	0,00
5.5.5.A	6,7	15	40	50	SEM FISSURAS	0,00		0,00
5.1.1.B	6,7	15	40	50	2658,65	1,33	2112,15	1,06
5.2.2.B	6,7	15	40	50	1776,65	0,89	1052,24	0,53
5.3.3.B	6,7	15	40	50	951,83	0,48	1110,52	0,56
5.4.4.B	6,7	15	40	50	808,23	0,40	COLMATADA	0,00
5.5.5.B	6,7	15	40	50	SEM FISSURAS	0,00		0,00

De acordo com os resultados encontrados na Tabela 03, verifica-se que cada CP apresentou características diferentes quanto à capacidade de penetração da calda de microcimento em suas fissuras, em função do tipo de abertura da fissura e do tipo de técnica empregada para colmatar.

- Descrição das características encontradas no CP 01:

Este CP foi extraído da placa de concreto de número 1.508 do pavimento da BR-101-Lote 05, no qual foi realizada a colmatação da fissura com a técnica de injeção gravitacional. A abertura encontrada em ambos os lados do CP 01 a partir da secção 1 até a secção 5, foi:

REGIÃO DO CP	ABERTURA DA FISSURA(mm)
REGIÃO A	1,01 a 0,27
REGIÃO B	1,23 a 0,33

O CP 01 apresentou as seguintes dimensões, após a extração: altura de 21 cm e diâmetro de 10 cm. Com a microscopia óptica, observou-se que em todas as secções, exceto na secção 1.3.1.A, na qual não ocorreu colmatação, foram encontradas fissuras com colmatação parcial. As Figuras 4.2 e 4.3 mostram os vazios encontrados em várias amostras do CP 01 após a colmatação.

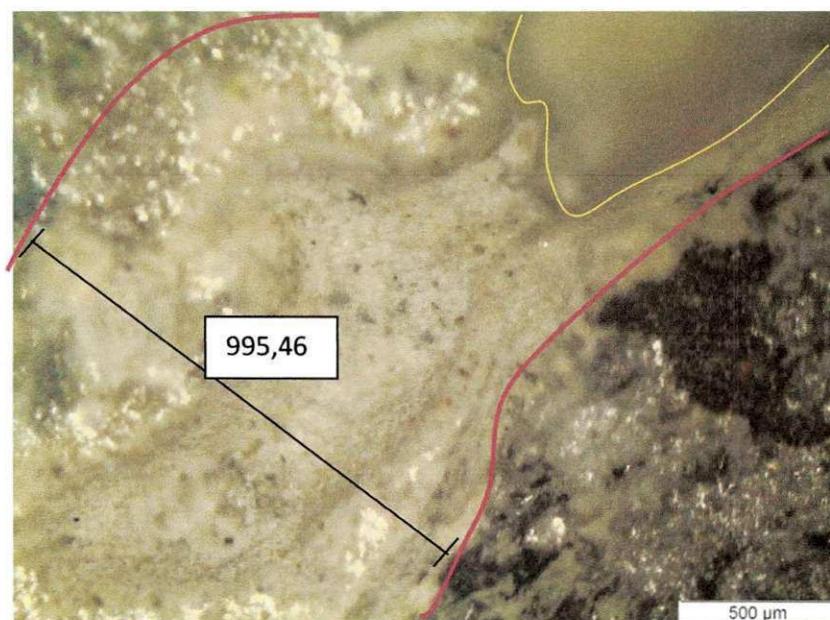


Figura 4.2 – Amostra 1.1.1. A retirada do CP 01 colmatada com microcimento.

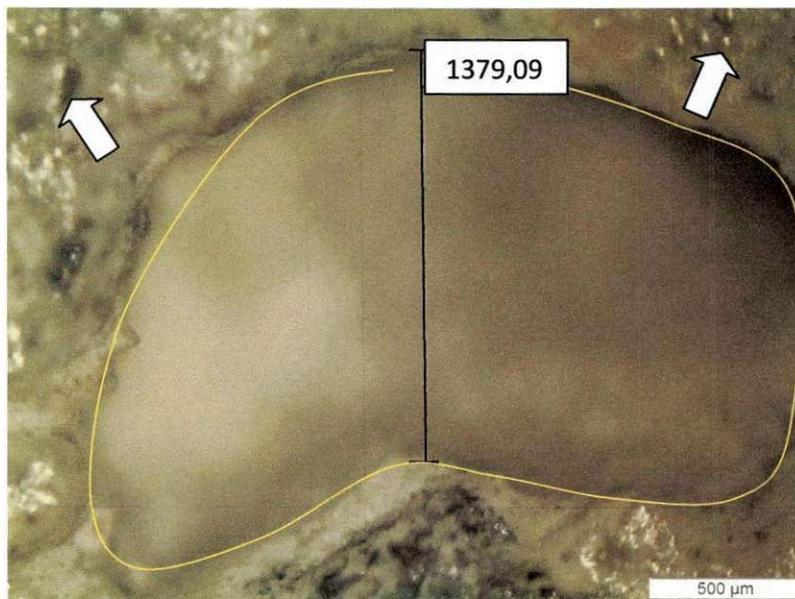


Figura 4.3 – Amostra 1.1.1.A retirada do CP 01 apresentando vazios após colmatção.

A Figura 4.2 mostra, na parte mais clara (entre as linhas vermelhas) e com a largura de $995,46\mu\text{m}$ ($0,99546\text{mm}$) em uma escala de $500\mu\text{m}$ ($0,5\text{mm}$), o preenchimento da fissura do CP 01 com microcimento, porém, devido a colmatção ter sido parcial, a Figura 4.3 mostra o vazio identificado na mesma amostra (contorno amarelo), com largura de $1.379,09\mu\text{m}$ ($1,37909\text{mm}$), na escala de $500\mu\text{m}$ ($0,5\text{mm}$). As setas brancas indicam a fissura com preenchimento parcial de microcimento.

A projeção das fissuras do CP 01 se deu de forma desordenada, ou seja, irradiando em várias direções, por isso, houve a necessidade de retirada na parte superior de um número maior de amostras. A Figura 4.4 esquematiza o comportamento das fissuras e o detalhamento das seções do CP01.

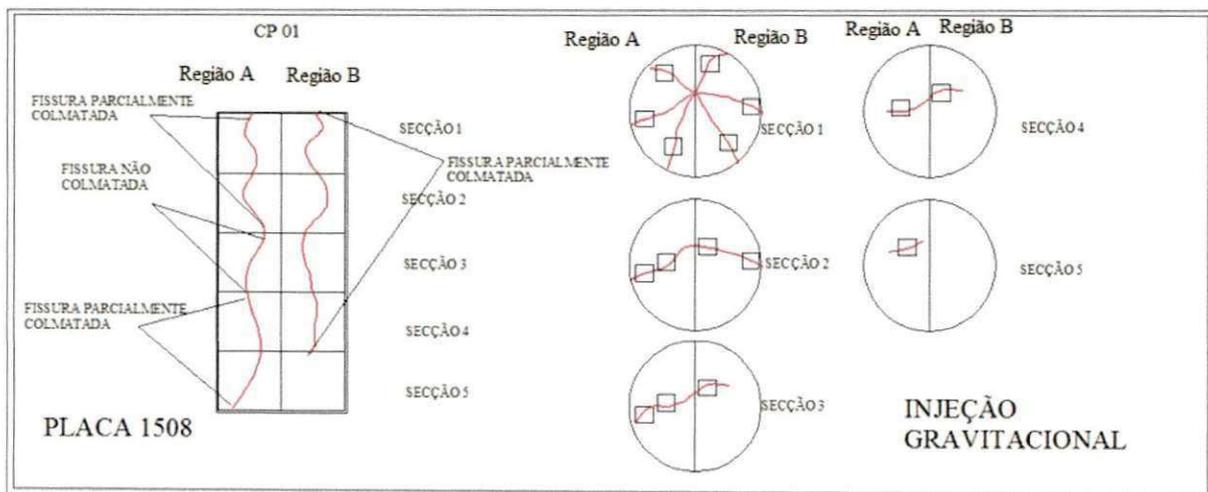


Figura 4.4– Detalhamento das seções do CP01.

- Descrição das características encontradas no CP 02:

Este CP foi extraído da placa de concreto de número 1.522 do pavimento da BR-101-Lote 05, no qual foi realizada a colmatação das fissuras com a técnica de injeção pressurizada. A abertura encontrada em ambos os lados do CP 02 a partir da secção 1 até a secção 5, foi:

REGIÃO DO CP	ABERTURA DA FISSURA(mm)
REGIÃO A	0,45 a 0,33
REGIÃO B	0,69 a 0,42

O CP 02 apresentou as seguintes dimensões, após a extração: altura de 24 cm e diâmetro de 10 cm. As fissuras encontradas no CP 02 apresentaram em todas as secções colmatação total, ou seja, não surgimento de vazios. A Figura 4.5 mostra a microscopia da colmatação encontrada na amostra 2.1.1.A retirada do CP 02.

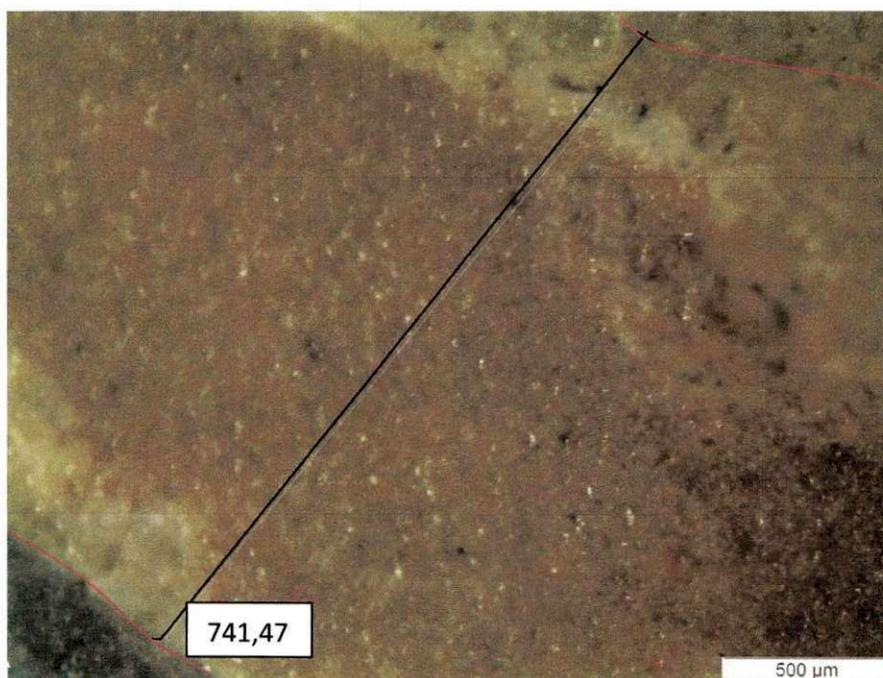


Figura 4.5 – Amostra 2.1.1.A retirada do CP 02 colmatada com microcimento.

A Figura 4.5 mostra, na parte central e de cor marrom (entre as linhas vermelhas), com a largura de $741,47\mu\text{m}$ ($0,74147\text{mm}$) em uma escala de $500\mu\text{m}$ ($0,500\text{mm}$), o preenchimento do microcimento da fissura do CP02.

A Figura 4.6 esquematiza o comportamento das fissuras e o detalhamento das secções do CP 02.

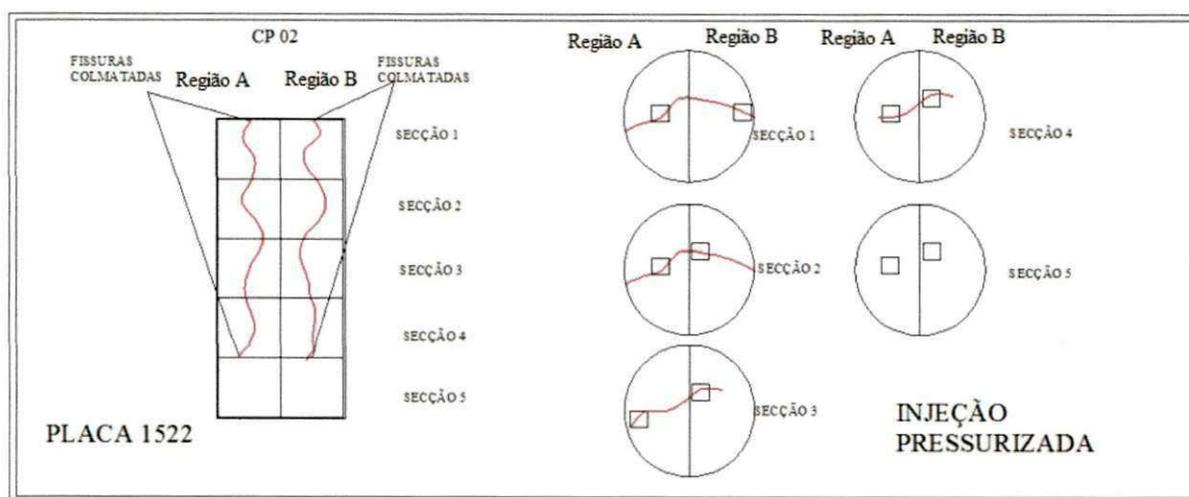


Figura 4.6– Detalhamento das secções do CP02.

- Descrição das características encontradas no CP 03:

Este CP foi extraído da placa de concreto de número 1.636 do pavimento da BR-101-Lote 05, no qual foi realizada a colmatação com a técnica de injeção gravitacional. A abertura encontrada em ambos os lados do CP 03 a partir da secção 1 até a secção 5, foi:

REGIÃO DO CP	ABERTURA DA FISSURA(mm)
REGIÃO A	0,36 a 0,32
REGIÃO B	0,24 a 0,22

O CP 03 apresentou as seguintes dimensões, após a extração: altura de 23,5 cm e diâmetro de 10 cm. Com a microscopia óptica, observou-se duas características a não colmatação das fissuras e o que foi colmatado, não apresentou vazios nas secções. Nas secções 3.1.1.B, 3.3.3.B, 3.1.1.A e 3.2.2.A não ocorreram colmatação das fissuras.

Na técnica de injeção gravitacional, observou-se que o CP 03, não apresentou colmatação nas secções 1 e 3, localizadas entre a parte superior e sua metade, do CP, apesar da profundidade da fissura atingir 100% da altura. As aberturas variaram entre 0,36mm a 0,32mm na região A e 0,24mm a 0,22mm na região B, dentro do limite estabelecido pela metodologia definida entre ABCP, que é de aberturas inferiores a 1,0mm.

As Figuras 4.7 e 4.8 mostram a microscopia da colmatação entre as linhas vermelhas e a não colmatação encontradas em várias amostras do CP 03.

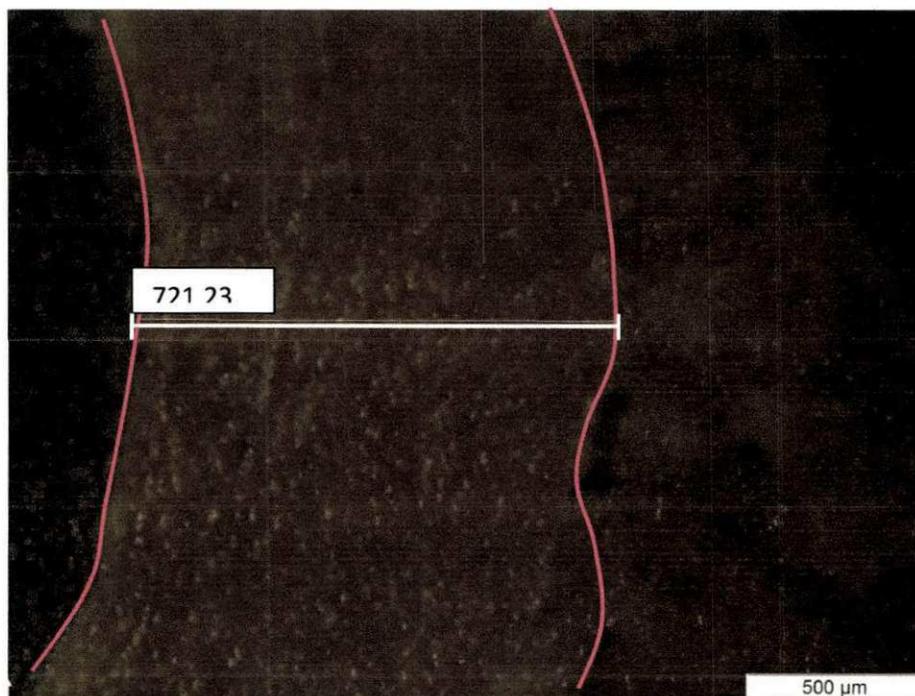


Figura 4.7 – Amostra 3.3.3.A retirada do CP 03 colmatada com microcimento.

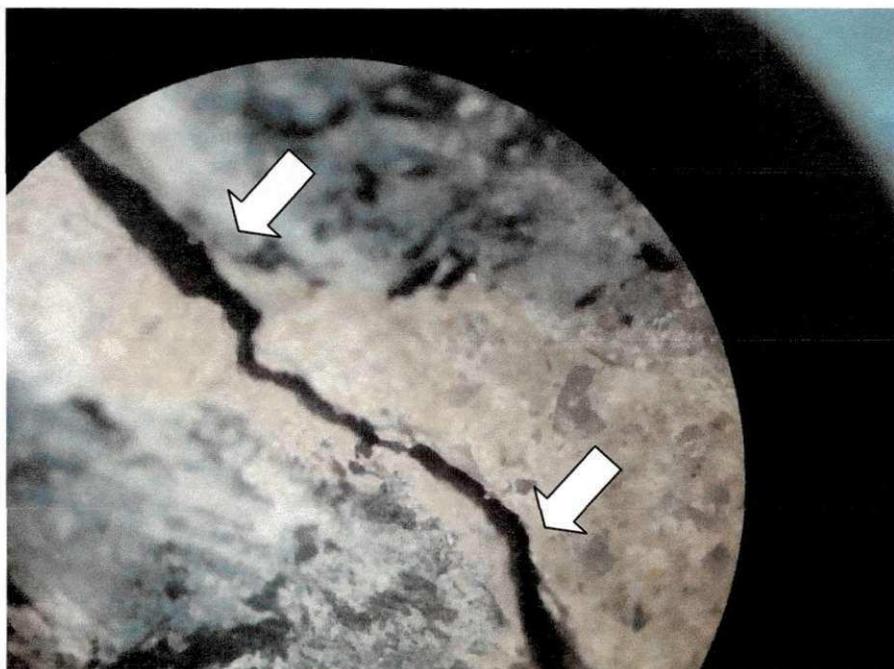


Figura 4.8 – Amostra 3.1.1B retirada do CP 03 fissura não colmatada.

A figura 4.7 mostra (entre as linhas vermelhas), na parte central e de cor marrom, com a largura de $721,23\mu\text{m}$ ($0,72123\text{mm}$) em uma escala de $500\mu\text{m}$ ($0,500\text{mm}$), o preenchimento do microcimento da fissura do CP 03, porém na Figura 4.8, indicadas pelas setas, mostra-se a fissura não colmatada.

A Figura 4.9 esquematiza o comportamento das fissuras e o detalhamento das secções do CP 02.

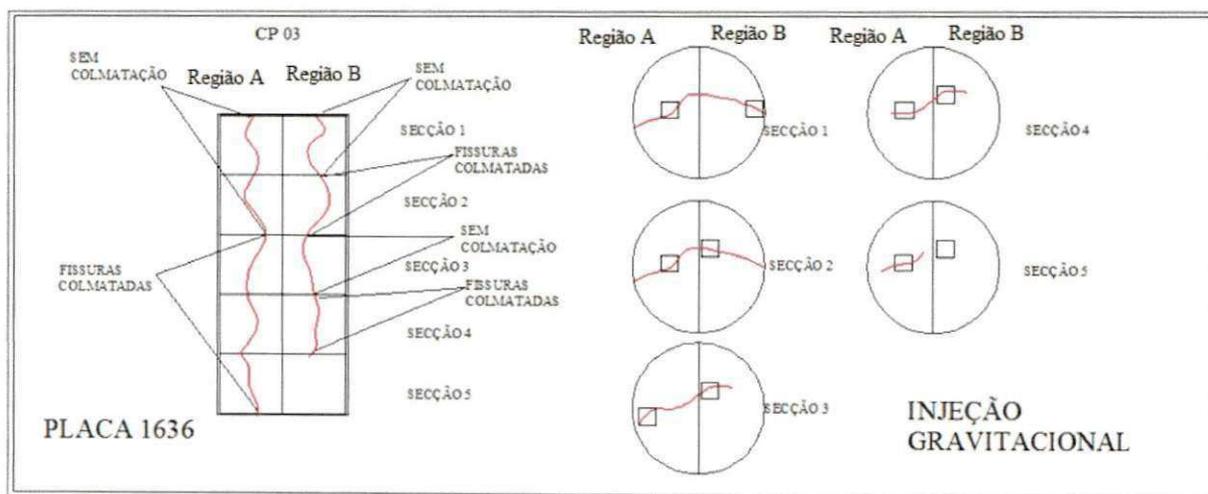


Figura 4.9– Detalhamento das secções do CP 03.

- Descrição das características encontradas no CP 04:

Este CP foi extraído da placa de concreto de número 1.770 do pavimento da BR-101-Lote 05, no qual foi realizada a colmatagem com a técnica de injeção pressurizada. A abertura encontrada em ambos os lados do CP 04 a partir da secção 1 até a secção 5, foi:

REGIÃO DO CP	ABERTURA DA FISSURA(mm)
REGIÃO A	0,71 a 0,13
REGIÃO B	0,70 a 0,24

O CP 04 apresentou as seguintes dimensões, após a extração: altura de 22 cm e diâmetro de 10 cm. Todas as fissuras encontradas nas amostras do CP 04 estavam colmatadas e sem apresentar vazios. A Figura 4.10 mostra a microscopia da colmatagem encontrada em várias amostras do CP 04.

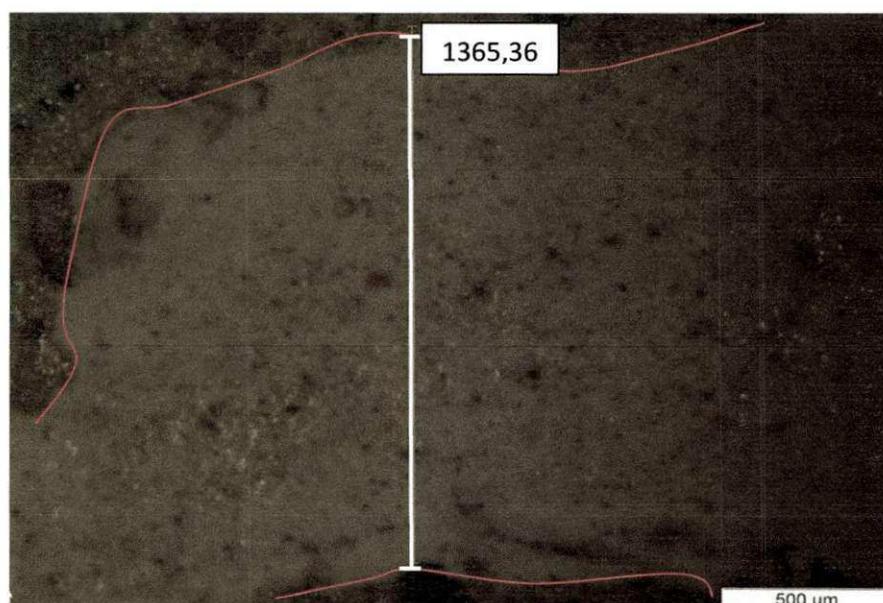


Figura 4.10 – Amostra 4.2.2A retirada do CP 04 colmatada com microcimento.

A figura 4.10 mostra, na parte mais clara (entre as linhas vermelhas) e com a largura de 1365,36 μ m (1,36536mm) em uma escala de 500 μ m (0,5000mm) , o preenchimento da fissura do CP 04 com microcimento.

A figura 4.11 esquematiza o comportamento das fissuras e o detalhamento das secções do CP 04.

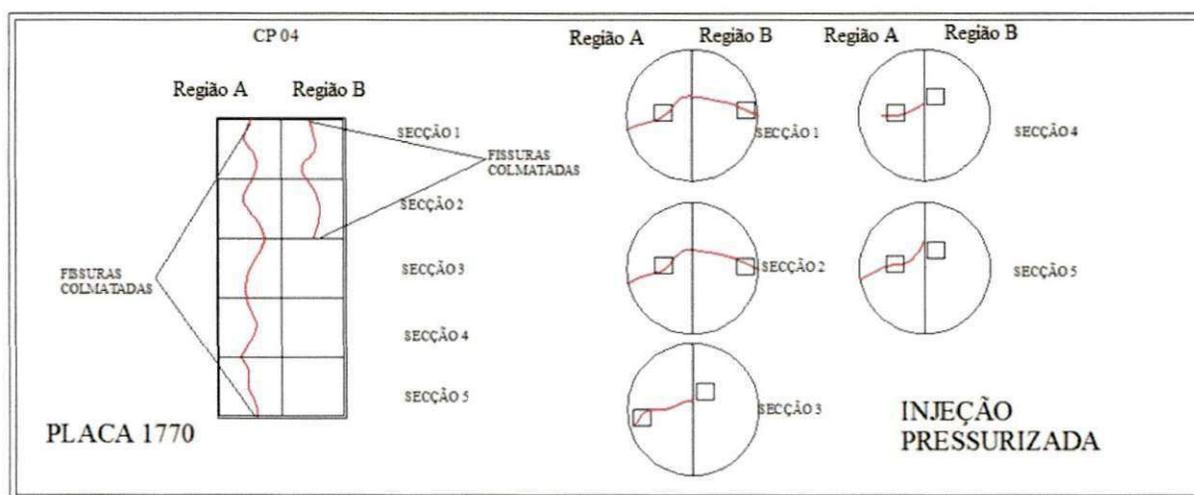


Figura 4.11– Detalhamento das secções do CP 04.

- Descrição das características encontradas no CP 05:

Este CP foi extraído da placa de concreto de número 1.790 do pavimento da BR-101-Lote 05, no qual foi realizada a colmatação com a técnica de injeção pressurizada. A abertura encontrada em ambos os lados do CP 05 a partir da secção 1 até a secção 5, foi:

REGIÃO DO CP	ABERTURA DA FISSURA(mm)
REGIÃO A	0,98 a 0,66
REGIÃO B	1,33 a 0,43

O CP 05 apresentou as seguintes dimensões, após a extração: altura de 23,5 cm e diâmetro de 10 cm. Nas secções 1,2 e 3 em ambos os lados, exceto na secção 4 que ocorreu preenchimento total, foram encontradas fissuras com o preenchimento parcial, ou seja ,

apresentou nas fissuras vazios intermediários. As figuras 4.12 e 4.13 mostram a microscopia da colmatação e dos vazios encontradas em várias amostras do CP 05.

Para o CP 05 foi adotado o processo de injeção pressurizada no qual apresentou variações de colmatação. Devido a essas características e aos resultados do ensaio complementar de microscopia óptica, a técnica de injeção de microcimento na colmatação de fissuras para aquela condição patológica detectada no pavimento da BR-101-Lote 05, não foi eficiente.

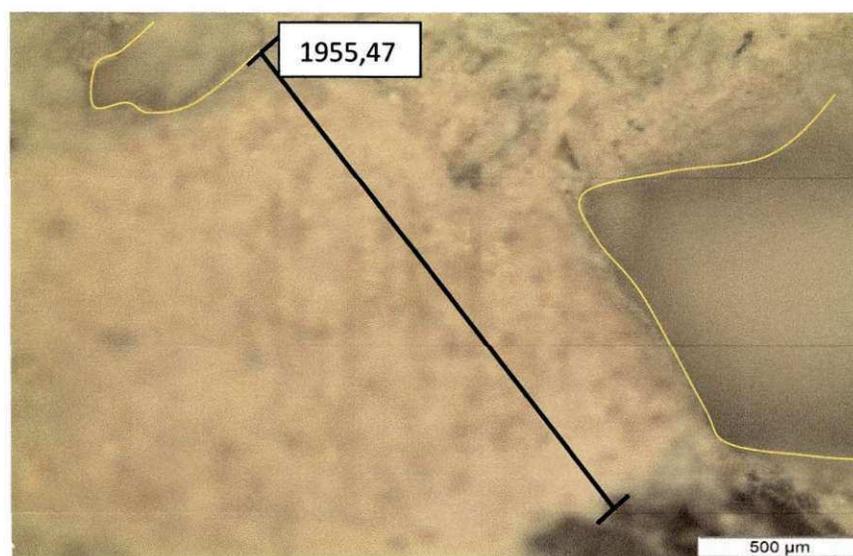


Figura 4.12 – Amostra 5.1.1.A retirada do CP 05 colmatada com microcimento.

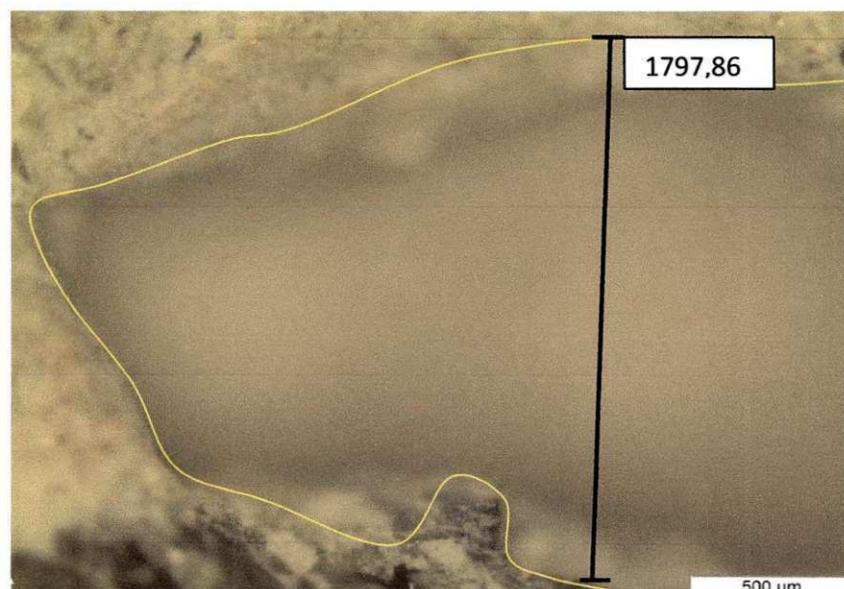


Figura 4.13 – Amostra 5.1.1.A retirada do CP 05 apresentando vazios após colmatação.

A Figura 4.12 mostra, na parte clara e com a largura de 1955,47 μm (1,95547mm) em uma escala de 500 μm (0,500mm), o preenchimento da fissura do CP 05 com microcimento, porém, devido a colmatção ter sido parcial, a Figura 4.13 mostra o vazio(entre linhas amarelas) identificado com largura de 1797,86 μm (1,79786mm) em uma escala de 500 μm (0,500mm).

A Figura 4.14 esquematiza o comportamento das fissuras e o detalhamento das secções do CP 05.

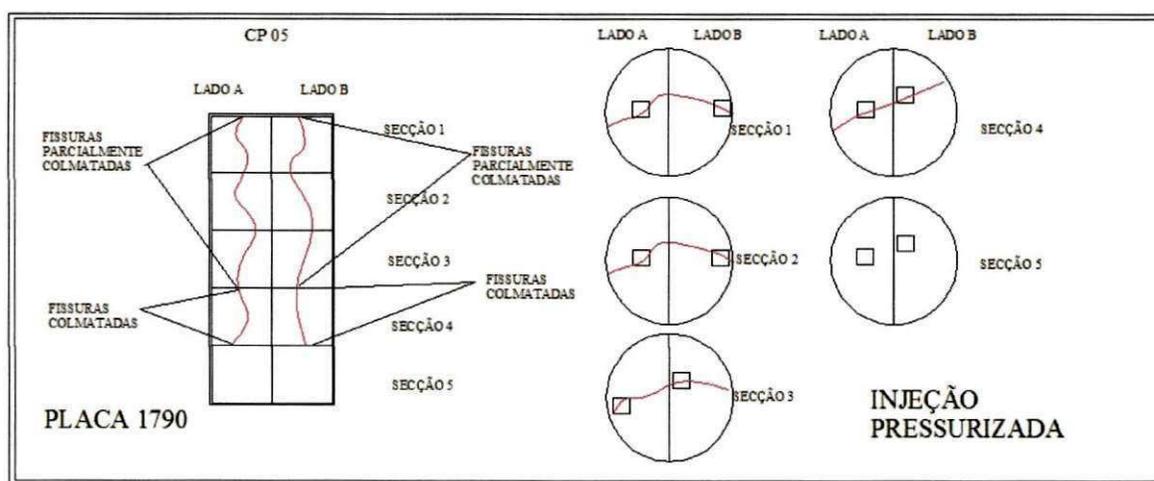


Figura 4.14– Detalhamento das secções do CP 05.

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nos dois processos de verificação referentes à colmatação das fissuras do pavimento em questão, pode-se concluir:

- Quanto à análise da resistência à compressão axial:

Os resultados do ensaio de compressão axial comprovam que, apesar do processo de fissuração ter ocorrido por retração plástica com possíveis modificações na sua estrutura interna, o concreto atingiu a resistência necessária exigida em projeto.

- Quanto ao preenchimento das fissuras:

A análise da penetração e preenchimento das fissuras, apesar dos CP's extraídos terem atendido aos requisitos quanto a resistência de projeto, os ensaios complementares de Microscopia Óptica comprovaram que a estrutura interna apresentava vazios em vários pontos internos parcialmente colmatados. Nos CP's tratados com a técnica de injeção por gravidade, constatou-se que o número de vazios encontrados nas secções eram bem maiores do que nos CP's tratados com a técnica de injeção pressurizada.

Durante a pesquisa bibliográfica, verificou-se que muitos autores e alguns artigos científicos, tratam o assunto sobre as colmatações ou preenchimento de fissuras através das injeções de microcimento, adotando apenas os parâmetros de resistência e análise visual. Verifica-se com isso que o pavimento da obra acometido de fissuras de retração plástica, apresentou variações em abertura desde a parte superior do CP's até a parte inferior, ou seja, a análise das aberturas devem ser consideradas a partir de verificações internas em toda a profundidade e direções. Fato este verificado no ensaio complementar de Microscopia óptica no qual mostra que ambas as técnicas de injeção preencheram a última secção do corpo de prova, porém deixando secções intermediárias com preenchimento parcial.

- Quanto às técnicas de colmatação empregadas:

A metodologia empregada e recomendada pelo Exército Brasileiro e ABCP, para a execução da colmatação das fissuras nas placas de concreto da referida obra, que se baseia em abertura e profundidade de fissuras, demonstrou que, ambas as técnicas de injeção, atenderam parcialmente a resolução do problema patológico. Além desses parâmetros de execução, a

recomendação para comprovação da eficiência da colmatação apenas se baseia, nos resultados das resistências e verificações externas dos CP's extraídos e colmatados.

- Quanto ao modo de ruptura dos corpos de prova:

Quanto à análise do comportamento da ruptura dos corpos de prova do pavimento recuperado, observou-se que a mesma ocorreu fora das fissuras pré-existentes.

- Quanto à durabilidade do trecho do pavimento estudado:

Os estudos das técnicas de recuperação utilizados especificamente para este trecho de pavimento, apresentaram limitações. A durabilidade é a capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração. Devido a essas limitações deverá ser realizado um monitoramento através de outros ensaios que melhor possam espelhar a capacidade de desempenho em serviço, para que o pavimento estudado se mantenha em condições plenas de utilização, não vindo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetado ao longo da sua vida útil.

7. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

✓ Ensaio de Fadiga – Sugere-se que seja realizado, no trecho de placas de concreto no qual foi realizada a recuperação das fissuras de retração plástica, através da injeção de calda coloidal de microcimento, o ensaio de Fadiga para verificar e monitorar este pavimento, quanto à influência das fissuras parcialmente colmatadas numa possível perda de vida útil;

✓ Compressão Diametral ou à tração indireta – Fazer uma correlação entre a compressão diametral e a compressão axial deste pavimento recuperado, para se obter novos parâmetros de resistência, quanto à tração na flexão, e verificar se as mesmas atendem ao especificado em projeto;

✓ O ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) – Através deste ensaio poderão ser realizados estudos neste pavimento recuperado, para observar e entender o comportamento da microestrutura do concreto após liberação ao tráfego.

✓ O Ultra-som como forma de verificação de anomalias (vazios causados por fissuras) no concreto, quanto à extensão e profundidade, principalmente neste trecho colmatado, de forma simples e sem causar danos ao pavimento.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, V. J. , MEZZALIRA, A. F.e MAIA,C. O. L, Brazilian special cements for shotcrete and injections in underground constructions. **International Symposium for underground structures**. Anais. São Paulo, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO *PORTLAND* (ABCP). Informativo Técnico. **Cimentos Gaúchos adotam o whitetopping** – Ano V, n.º 32 – Fevereiro 2001.

ARAUJO, R. F. **Materiais de Construção. Concreto de Cimento Portland**. Disponível em: [www.ufrrj.br/institutos/it/dau eduardo/Concreto%20simples.pdf](http://www.ufrrj.br/institutos/it/dau%20eduardo/Concreto%20simples.pdf). Acesso em: 03 nov 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7207**: pavimentação: terminologia. Rio de Janeiro, 1982.

_____. **NBR 7681**: Calda de cimento para injeção. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 7682**: Calda de cimento para injeção – Determinação do índice de fluidez. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 7683**: Calda de cimento para injeção – Determinação dos índices de exsudação e expansão. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 7684**: Calda de cimento para injeção – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 7685**: Calda de cimento para injeção – Determinação da vida útil. Rio de Janeiro, 1983.

_____. **NBR 12142**: Concreto – determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5738**: moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 1994.

_____. **NBR 12655**: Concreto de cimento *Portland*. Preparo, controle e recebimento. Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2007.

_____. **NBR 7680**: Concreto - Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto. Rio de Janeiro, 2007.

BALBO, J. T. **Estudo das Propriedades Mecânicas das Misturas de Brita e Cimento e sua Aplicação nos Pavimentos Semi-Rígidos**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1993.

_____, J. T. Pavimentos viários e pisos industriais de concreto. In: **Concreto: ensino, pesquisa e realizações**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 2005.

_____. **Contribuição à análise estrutural de reforços com camadas ultradelgadas de concreto de cimento *Portland* sobre pavimentos asfálticos (*whitetopping ultradelgado*)**. Tese (Livre Docência) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.

BAUER, L A Falcão. **Materiais de construção**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 1994.

CHAGAS FILHO, Milton Bezerra das. **Estudo de agregados lateríticos para utilização em concretos estruturais**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2005.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Relatório final do projeto executivo – Volume 01**. Rio de Janeiro, 2001.

_____. DNIT 005/2003 – **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semirígidos – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003.

_____. DNIT IPR-719 – **Manual de pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006.

_____. DNIT IPR-720 – **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro, 2006.

_____. DNIT 049/2009-ES – **Pavimento rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrma-deslizante: Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2009.

FORTES, R. M. **Estudo da aderência entre o concreto de cimento *Portland* e concretos asfálticos para fins de reforços ultradelgados de pavimentos**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 1999.

GIAMMUSSO, S. E. **Manual do concreto**. São Paulo: PINI, 1997.

HELENE, Paulo *et al.* **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo, PINI / SENAI, 2004.

HELENE, Paulo. Red Rehabilitar Cytel XV.2001 F. **Manual de Recuperação de Estruturas de Concreto**. Disponível em: http://www.degussa-cc.com.br/pdf/manual_reparos_introducao.pdf. Acesso em: 14 nov 2009.

INFRAERO. INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA. Relatório Técnico. **Avaliação funcional de pátio e pista de pouso e decolagem do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes**, abr. 2010.

MEHTA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**, São Paulo: PINI, 1994.

MELO NETO, A.A. *et al.* **Influência do teor de ativador e da idade de exposição na retração por secagem de argamassas com cimentos de escória ativada com silicato de sódio.** São Paulo: USP, 2002.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto.** São Paulo, PINI, 1982.

PITTA, M. R. *Whitetopping: A evolução de um conceito.* In: **IX Congresso Brasileiro de Cimento.** São Paulo, 1996.

_____, M. R. **Materiais para pavimentos de concreto.** 4 ed. São Paulo: ABCP, 1992.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** São Paulo: PINI, 1997.

SIAN, Sérgio Valmir. **Recuperação de pavimento asfáltico com aplicação de whitetopping.** Monografia (Graduação do Curso de Engenharia Civil) - Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2007.

SILVA, Paulo Fernando A. **Manual de patologias e manutenção de pavimentos.** São Paulo: PINI, 2008.

SISTEMA MICROINJET. Relatório Técnico. **T004 Injeção de Calda Coloidal de Microcimento em Fissuras do Pavimento da BR 101**, n. 6, dez. 2008.