



Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA

E ENGENHARIA DE MATERIAIS

– DOUTORADO –

Elaboração de modelos de desempenho para pavimentos rodoviários de concreto de cimento Portland utilizando parâmetros microestruturais: Estudo de caso da BR-101/PB.

Por

Moacir Carlos Araújo Junior

*Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para
obtenção do grau de Doutor*

João Pessoa – Paraíba

Agosto de 2022



PPCEM

Universidade Federal da Paraíba

Centro de Tecnologia

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA

E ENGENHARIA DE MATERIAIS

– DOUTORADO –

Elaboração de modelos de desempenho para pavimentos rodoviários de concreto de cimento Portland utilizando parâmetros microestruturais: Estudo de caso da BR-101/PB.

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor.

Moacir Carlos Araújo Junior

Orientador: Prof. Dr. Marçal Rosas Florentino Lima Filho

João Pessoa – Paraíba

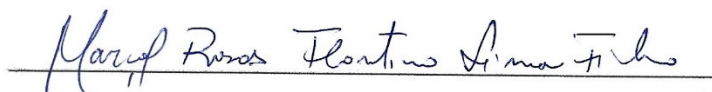
Agosto de 2022

Moacir Carlos Araújo Junior

Elaboração de modelos de desempenho para pavimentos rodoviários de concreto de cimento Portland utilizando parâmetros microestruturais: Estudo de caso da BR-101/PB.

Tese aprovada em 23/08/2022 como requisito para a obtenção do título de Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA:



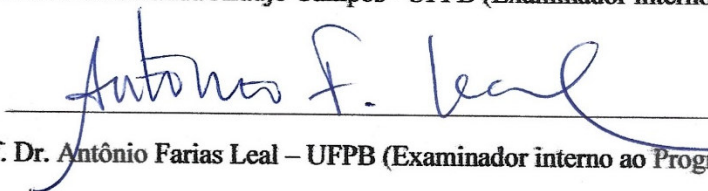
Prof. Dr. Marçal Rosas Florentino Lima Filho – UFPB (Orientador)



Prof. Dr. Sandro Mardem Torres – UFPB (Co-Orientador)



Profa. Dra. Lizandra Fernanda Araújo Campos – UFPB (Examinador interno ao Programa)



Prof. Dr. Antônio Farias Leal – UFPB (Examinador interno ao Programa)

Prof. Dr. Luiz Guilherme Rodrigues de Mello – DNIT/UNB (Examinador externo ao Programa)

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

A663e Araujo Junior, Moacir Carlos.

Elaboração de modelos de desempenho para pavimentos rodoviários de concreto de cimento Portland utilizando parâmetros microestruturais : estudo de caso da BR-101/PB / Moacir Carlos Araujo Junior. - João Pessoa, 2022.

349 f. : il.

Orientação: Marçal Rosas Florentino Lima Filho.

Coorientação: Sandro Mardem Torres.

Tese (Doutorado) - UFPB/CT.

1. Pavimento - Modelo de desempenho. 2. ICP - Índice de Condição de Pavimento. 3. Pavimento rígido - BR-101/PB. 4. Microestrutura do concreto - Cimento Portland. I. Lima Filho, Marçal Rosas Florentino. II. Torres, Sandro Mardem. III. Título.

UFPB/BC

CDU 625.8(043)

Dedico a todos que de alguma forma me auxiliaram na elaboração deste trabalho, em especial à minha família, meus pais, esposa e filha.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por toda luz e força emitida nos momentos mais difíceis, nos fazendo seguir em frente.

Aos meus pais, Vera Lucia Alves Araújo e Moacir Carlos Araújo, que ao longo da vida sempre nos incentivaram a estudar e, nesta pesquisa, nos motivaram a sua conclusão.

Ao meu irmão Hamlet Alves Araújo, pelo companheirismo de toda a vida.

À minha esposa, Daniela da Silva Santos, que, com compreensão, nos acompanhou ao longo dos anos na condução da pesquisa, nos motivando a cada dia; e a minha filha Laura Santos Araújo, que ainda sem perceber, nos oferecia ânimo, alegria e motivação com o seu lindo sorriso.

Aos professores e amigos, Dr. Marçal Rosas Florentino Filho e Dr. Sandro Marden Torres, pelo apoio e orientação dada na condução deste trabalho.

Aos amigos Marcos Antônio Padilha Júnior, William Fernandes, Ricardo Vasconcelos, José Alysson Dehon Moraes Medeiros, José Diniz Neto, Alexandre de Oliveira, Gustavo Bezerra, Radime Onuki, Jamacy Andrade da Nóbrega Júnior, Deivid Cardoso, por todo o apoio, contribuição e motivação ofertados durante a condução dos trabalhos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais - PPCEM da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, pelo acolhimento e oportunidade de realização da pesquisa.

RESUMO

A boa aplicação de recursos para atividades de manutenção e restauração de pavimentos depende, dentre outros fatores, de adequados sistemas de gerenciamento de rodovias. Para isso, é imprescindível a utilização de modelos de desempenho representativos para cada região. O presente trabalho consistiu da elaboração de dois modelos de desempenho para o pavimento rígido da BR-101/PB, com um deles utilizando técnicas de caracterização microestrutural dos materiais. Para isso, foram levantados dados do período de operação da rodovia entre os anos de 2008 e 2019. Foi definido o Índice de Condição do Pavimento – ICP, como parâmetro de desempenho. Inicialmente, foi elaborado modelo com a utilização de variáveis comumente utilizadas na engenharia rodoviária. Foram definidos 36 pontos de estudo ao longo da rodovia onde foram extraídos testemunhos da placa de concreto do pavimento, que permitiram, através da realização de ensaios laboratoriais, a caracterização macroestrutural do concreto das placas, identificando a resistência à compressão, resistência à tração, módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson e frente de carbonatação. Esse primeiro modelo de desempenho, partindo da utilização de 18 variáveis independentes e 89 observações, obteve um coeficiente de determinação de 0,77. Posteriormente, incorporou-se a este modelo variáveis definidas a partir da caracterização microestrutural do concreto de cimento Portland das placas do pavimento, gerando o segundo modelo de desempenho com parâmetros microestruturais. Para isso, foram realizados ensaios de Difração de raios X (DRX), Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), Termogravimetria (TG) e Espectroscopia de Infravermelho (IV) que forneceram informações qualitativas e quantitativas das fases presentes no concreto das placas. O modelo obtido, partindo da utilização de 8 variáveis independentes e 57 observações, obteve um coeficiente de determinação de 0,79. Os dois modelos de desempenho gerados não só são uma contribuição na área da gerência de pavimentos, como também demonstram a potencialidade que a engenharia de materiais tem a oferecer à engenharia rodoviária.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo de desempenho, ICP – Índice de Condição de Pavimento, Pavimento rígido, BR-101/PB, microestrutura do concreto de cimento Portland.

ABSTRACT

A good application of resources for pavement maintenance and restoration activities depends, among other factors, on road management systems. For this, it is essential to use representative performance models for each region. The work consists in the elaboration of two performance models for the rigid pavement of BR-101/PB, with one of them using materials characterization techniques. For this, data were collected from the period of operation of the highway between the years 2008 and 2019. The Pavement Condition Index - ICP was defined as a performance parameter. Initially, a model was developed using sources commonly used in road engineering. Thirty-six road study points were determined from concrete along the road where they were tested to the slab test, which allowed, through the laboratory, the macrostructural characterization of the slabs, identification of resistance to tests, tensile strength, health module, Poisson's ratio and carbonation front. This first performance model, based on the use of 18 independent variables and 89 observations, obtained a coefficient of determination of 0,77. Subsequently, this model of variable characteristics was concreted from the characterization of the Portland cement structure of the pavement slabs, generating the second performance model with microstructural parameters. For this, X-ray Diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM), Thermogravimetry (TG) and Infrared Spectroscopy (IR) tests were carried out, which provide qualitative and quantitative information about the presence of the concrete in the slabs. The model obtained, based on the use of 8 independent variables and 57 observations, obtained a coefficient of determination of 0,79. The two performance models generated are not a contribution in the area of pavement management, but also a potential that road engineering offers.

KEYWORDS: Performance model, ICP – Pavement Condition Index, Rigid Pavement, BR-101/PB, microstructure of Portland Cement concrete.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes básicos de um Sistema de Gerência de Pavimentos.....	27
Figura 2 – Pavimento de concreto simples.....	47
Figura 3 - Whitetopping ultradelgado: moldagem sobreposta (A) e encaixada (B).....	49
Figura 4 – Caminho do Mar: Primeira estrada pavimentada com concreto na América Latina, entre 1925 e 1926.	52
Figura 5 –Via Anchieta/SP, em 1944.	53
Figura 6 – Características de um pluviômetro de leitura manual (esq.) e de um pluviógrafo (dir.).	58
Figura 7 – Componentes da radiação solar.....	60
Figura 8 – alçamento de placas.....	61
Figura 9 – Fissura de canto.....	61
Figura 10 – Placa dividida	62
Figura 11 – Escalonamento ou degrau nas juntas.....	62
Figura 12 – Desnível entre acostamento e pista	63
Figura 13 – Fissura linear longitudinal.....	64
Figura 14 – Bombeamentos de finos na junta entre a pista e o acostamento.	65
Figura 15 – Quebra de canto.	66
Figura 16 – Esborcinamento de junta	66
Figura 17 – Placa bailarina.	67
Figura 18 – buraco no pavimento.....	68
Figura 19 – Conceito da amostra ou trecho em função do ICP.....	70
Figura 20 – Exemplo de ficha de inspeção e cálculo do ICP da amostra.....	71
Figura 21 – Curvas para determinação dos valores deduzíveis dos defeitos.....	72
Figura 22 – Valor deduzível corrigido.	76
Figura 23 – Taxa de deterioração do pavimento de concreto a longo prazo.	77
Figura 24 – Imagem ao microscópio eletrônico de varredura do C-S-H formando-se na superfície de cristais de alita.....	83
Figura 25 – Imagem ao microscópio eletrônico de varredura de cristais de etringita.....	84
Figura 26 – (a) Micrografia obtida por microscopia eletrônica de varredura dos cristais de hidróxido de cálcio na zona de transição; (b) representação esquemática da zona de transição e da matriz da pasta de cimento no concreto.	85

Figura 27 – Tipos de módulos de elasticidade do concreto de Cimento Portland.....	87
Figura 28 - Ilustração do Coeficiente de Poisson.	88
Figura 29 – Curva tensão-deformação do concreto submetido à compressão axial.	90
Figura 30 -Cronologia das atividades na pesquisa.....	94
Figura 31 - Municípios do litoral da Paraíba cortados pela BR-101/PB.	96
Figura 32 – Indicação dos três lotes da BR-101/PB no mapa geográfico da Paraíba.....	99
Figura 33 – Estrutura Gerencial da obra de adequação de capacidade da BR-101/PB.	99
Figura 34 – imagens recentes da BR-101/PB (Data: 02/04/2020).....	100
Figura 35 – Seção tipo do pavimento de concreto da BR-101/PB, lote 5.....	102
Figura 36 - Extração de testemunhos com sonda rotativa.	109
Figura 37 – Fluxograma de execução de ensaios.....	114
Figura 38 - Realização do ensaio de frequência ressonante.....	116
Figura 39 - realização do ensaio de ultrassom.	118
Figura 40 – Escleômetro de Schmidt Original N/L PROCEQ.	119
Figura 41 – Execução do ensaio de esclerometria no pavimento de concreto.....	120
Figura 42 – Execução do ensaio de resistência à compressão axial.	121
Figura 43 – Execução do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	122
Figura 44 – Preparação das amostras para o ensaio de Difração de raios X.....	123
Figura 45 – Difratometro de raios X utilizado na pesquisa.	124
Figura 46 – Equipamento utilizado nas análises térmicas da pesquisa.	126
Figura 47 – Microscópio Eletrônico de Varredura utilizado na pesquisa.....	128
Figura 48 - Espectrofotômetro de infravermelho utilizado na pesquisa.	129
Figura 49 – Eixo padrão do DNIT	135
Figura 50 – Distribuição de veículos comerciais	137
Figura 51 – Aumento do coeficiente de recalque (k) em função da presença da sub-base de concreto compactado a rolo.	142
Figura 52 – Localização dos postos pluviométricos.	144
Figura 53 – Percentual de defeitos do pavimento rígido da BR-101/PB em set/2016.....	153
Figura 54 – Percentual de defeitos do pavimento rígido da BR-101/PB em nov/2019.....	157
Figura 54 – Taxa de deterioração do pavimento rígido da BR-101/PB a longo prazo.	161
Figura 55 – Histograma da resistência à compressão axial dos doze testemunhos ensaiados.	168

Figura 56 – Histograma das resistências à tração por compressão diametral dos doze testemunhos ensaiados.....	174
Figura 57 - Correlação entre a resistência à tração por compressão diametral e o módulo de elasticidade dinâmico.	174
Figura 58 – Ilustração da frente de carbonatação no testemunho de concreto.	176
Figura 59 – Frentes de carbonatação em testemunhos dos concretos das placas do pavimento do lote 3.	177
Figura 60 - Frentes de carbonatação em testemunhos dos concretos das placas do pavimento do lote 4.	178
Figura 61 - Frentes de carbonatação em testemunhos dos concretos das placas do pavimento do lote 5.	179
Figura 61 – Difratoograma de raio X da amostra CP3.3.	182
Figura 62 – Gráfico da quantificação de fases das amostras.	184
Figura 63 – Curva TG/DTG da amostra CP 4.1.	186
Figura 64 – Curva de DSC da amostra CP 4.1.	186
Figura 65 – Micrografia da superfície polida da amostra CP 3.3, em modo retroespalhado.	188
Figura 66 – Micrografia da superfície polida da amostra CP 4.7, em modo retroespalhado.	189
Figura 67 – Micrografia da superfície polida da amostra CP 5.9, em modo retroespalhado.	190
Figura 68 – Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP3.3.....	194
Figura 69 - Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP4.5	195
Figura 70 - Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP5.9	195
Figura 71 – Gráfico dos comprimentos das placas de concreto nos pontos de interesse.	198
Figura 72 - Gráfico das larguras das placas de concreto nos pontos de interesse.	198
Figura 73 - Gráfico das espessuras das placas de concreto nos pontos de interesse.	199
Figura 74 – Perfil longitudinal da BR-101/PB.	199
Figura 75 – Mapa da pluviosidade média anual ao longo da BR-101/PB.....	210
Figura 76 – Histograma das pluviosidades médias anuais no período entre 2009 e 2019 nos pontos de interesse.....	212
Figura 77 – Mapa de radiação solar normal.	215
Figura 78 - Mapa de radiação solar difusa.	215
Figura 79 - Mapa de radiação solar global horizontal.	215
Figura 80 – Ausência de outliers e existência de distribuição normal dos resíduos.	222

Figura 81 – Gráfico ICP real vs. ICP previsto pelo modelo com caracterização macroestrutural.....	225
Figura 82 – Ausência de outliers e existência de distribuição normal dos resíduos.....	228
Figura 83 - Ausência de multicolinearidade entre as variáveis.	229
Figura 84 – Gráfico ICP real vs. ICP previsto pelo modelo com caracterização microestrutural.	231

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de modelos de desempenho.	35
Tabela 2 – Algumas características dos pavimentos de concreto das rodovias Alemãs na década de 1930.	50
Tabela 3 – Pavimentos rodoviários construídos em concreto entre os anos de 1926 e 1949...53	
Tabela 4 - Subtrechos da BR-101/PB no Sistema Nacional de Viação.	97
Tabela 5 – Dados de projeto do pavimento de concreto da BR-101/PB.	101
Tabela 6 - Identificação dos pontos de interesse e testemunhos.	108
Tabela 7 – Ensaio realizados no concreto das placas do pavimento.....	113
Tabela 8 – Variáveis fornecidas por ensaios realizados.	115
Tabela 9 – Qualidade do concreto de acordo com a velocidade do pulso ultrassônico.	119
Tabela 10 – Modelos estruturais usados no refinamento dos dados de DRX	124
Tabela 11 – Subtrechos da rodovia do estudo de tráfego	132
Tabela 12 – Tipos de veículos comerciais do estudo de tráfego	132
Tabela 13 – Percentual de veículos comerciais na faixa de projeto (c).....	136
Tabela 14 – Fatores de equivalência de carga pelo método da AASHTO.	138
Tabela 15 – Pesos brutos totais considerados por eixo.	139
Tabela 16 – Coeficiente de recalque (k) em função do Índice de suporte Califórnia (CBR) do solo do subleito.....	140
Tabela 17 – Transformações de dados realizadas.	146
Tabela 18 – Variáveis macroestruturais da modelagem.....	146
Tabela 19 – Variáveis microestruturais da modelagem.....	147
Tabela 20 – ICP inicial: ano inicial de construção dos trechos do pavimento onde se localizam os pontos de interesse.	150
Tabela 21 – Quantidade de placas de concreto por defeito da BR-101/PB em set/2016.	152
Tabela 22 – Resultados do ICP em setembro de 2016.	154
Tabela 23 – Quantidade de placas de concreto por defeito da BR-101/PB em nov/2019.....	156
Tabela 23 - Resultados do ICP em novembro de 2019.	158
Tabela 24 – ICPs dos pontos de interesse nos três momentos distintos.....	159
Tabela 25 - Massas específicas dos testemunhos de concreto.....	162
Tabela 26 – Módulos de elasticidade dinâmicos dos concretos das placas do pavimento....	163
Tabela 28 – Módulos de elasticidade estáticos dos concretos das placas do pavimento.....	165

Tabela 27 – Coeficientes de Poisson dos concretos das placas do pavimento.	166
Tabela 28 – Resistência à compressão axial dos doze testemunhos ensaiados.	168
Tabela 29 – Aferição do esclerômetro.	169
Tabela 30- Resistência à compressão pelo ensaio de esclerometria dos concretos das placas do pavimento.....	169
Tabela 31 – Resistências à tração por compressão diametral dos doze testemunhos ensaiados.	173
Tabela 32 – Resistências à tração por compressão diametral dos concretos das placas do pavimento.....	175
Tabela 33 – Frentes de carbonatação dos testemunhos dos concretos das placas do pavimento.	180
Tabela 34 - Quantificação de fases das amostras.....	183
Tabela 35 - índice R_{wp} , do refinamento Rietveld	185
Tabela 36 – Percentual estimado de Portlandita das amostras.....	187
Tabela 37 – Análise química por EDS da amostra CP3.3.	191
Tabela 38 – Análise química por EDS da amostra CP4.7.	192
Tabela 39 – Análise química por EDS da amostra CP5.9.	193
Tabela 40 – Dimensões das placas de concreto nos pontos de interesse.	197
Tabela 41 – Altitudes nos pontos de interesse da rodovia.	200
Tabela 42 – Declividades longitudinais nos pontos de interesse.	201
Tabela 43 – Composições de tráfego dos subtrechos da BR-101/PB.	202
Tabela 44 – Fatores de equivalência de Carga dos veículos.....	203
Tabela 45 – Quadro resumido dos fatores de veículos por subtrecho da BR-101/PB.....	204
Tabela 46 – Quadro resumo do número N acumulado	205
Tabela 47 – Coeficientes de recalque da fundação do pavimento nos pontos de interesse. ..	208
Tabela 48 – Pluviosidades médias anuais no período entre 2009 e 2019 nos pontos de interesse.....	211
Tabela 49 – Pluviosidades acumuladas nos pontos de interesse.....	212
Tabela 50 – Componentes da radiação solar média diária nos pontos de interesse.....	213
Tabela 51 – Componentes da radiação solar acumulada ao longo dos anos.....	216
Tabela 52 – Matriz inicial do modelo macroestrutural com dados brutos.....	219
Tabela 53 – Eliminação da multicolinearidade das variáveis.	223
Tabela 54 – Modelo de desempenho com caracterização macroestrutural.....	223

Tabela 55 – Matriz inicial do modelo microestrutural com dados brutos	226
Tabela 56 – Modelo de desempenho com caracterização macro e microestrutural.	229

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AESA/PB	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ASTM	American Society for Testing and Materials
BGS	Brita graduada simples
BGTC	Brita graduada tratada com cimento
BIRD	Banco Mundial
BR-101/PB	Rodovia federal BR-101 no estado da Paraíba
° C	Graus Celsius
CBR	Índice de suporte Califórnia
CCR	Concreto compactado a rolo
CGPG	Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos
cm ²	Centímetro quadrado
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
Cresc	Sentido crescente da rodovia
CVD	Valor deduzível total do ICP
Decres	Sentido decrescente da rodovia
DER	Departamento de estradas de rodagem
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (atual DNIT)
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

DRX	Difração de raios X
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
EDS	Espectroscopia de energia dispersiva
EUA	Estados Unidos da América
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FC	Fator de equivalência de carga
FV	Fator de veículo
g	Grama
GPa	Giga Pascal
GPS	Global Positioning System
HDM	Highway Development and Management
ICP	Índice de Condição do Pavimento
ICS	Índice da Condição da Superfície
IGG	Índice de Gravidade Global
IRI	Índice de Irregularidade Longitudinal
ISC	Índice de suporte Califórnia
IV	Infravermelho
Kg	Quilograma
KHz	Quilohertz
km	Quilômetro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mm	Milímetro

MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MPa	Mega Pascal
NBR	Norma técnica Brasileira
Número N	Número de repetições do eixo padrão
pH	Potencial hidrogeniônico
PSC	Pavimento de concreto simples
PCA	Pavimento de concreto armado
PCA 84	Portland Cement Association 1984
PCAC	Pavimento de concreto com armadura contínua
PCPRO	Pavimento de concreto protendido
PCPM	Pavimento de concreto pré-moldado
PNCT	Plano Nacional de Contagem de Tráfego
PNCV	Plano Nacional de Controle Eletrônico de Velocidade
PVC	Policloreto de vinila
RILEM	Réunion Internationale de Laboratoires d'Essais ET Recherches surlês Matériaux el les Constructions
SGP	Sistema de Gerência de Pavimentos
SNV	Sistema Nacional de Viação
Tf	Tonelada força
TG	Termogravimetria
USACE	United States Army Corps of Engineers
UTM	Universal Trasnverso de Mercator
VDC	Valor deduzível corrigido do ICP
VMD	Volume médio diário

W	Watt
WT	Whitetopping
WTUD	Whitetopping ultradelgado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Considerações iniciais e motivação da pesquisa	19
1.2	Objetivos	23
1.2.1	Objetivo Principal:	23
1.2.2	Objetivos Específicos:.....	23
1.3	Organização da tese.....	24
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1	Sistema de Gerência de Pavimentos – SGP	25
2.1.1	Níveis de decisão na gerência de pavimentos.....	26
2.1.2	Componentes de um Sistema de Gerência de Pavimentos	27
2.1.3	O Sistema de Gerência de Pavimentos do DNIT	29
2.1.4	Modelos de previsão de desempenho.....	32
2.2	Pavimentos de concreto de cimento Portland.....	45
2.2.1	Definição.....	45
2.2.2	Tipos de pavimento de concreto	46
2.2.3	Breve histórico sobre os pavimentos de concreto	49
2.3	Durabilidade dos pavimentos de concreto de cimento Portland	56
2.3.1	Definição.....	56
2.3.2	Fatores ambientais.....	57
2.3.3	Principais defeitos dos pavimentos de concreto	60
2.3.4	O Índice de Condição do Pavimento - ICP	68
2.4	O concreto de cimento Portland	77
2.4.1	Microestrutura do concreto	78
2.4.2	Propriedade e características do concreto endurecido	86
3	METODOLOGIA	93
3.1	Rodovia BR-101/PB – um estudo de caso	95
3.1.2	A Obra de adequação de capacidade.....	97
3.2	Determinação dos Índices de Condição do Pavimento – ICP do pavimento rígido	103
3.2.1	ICP inicial:	104
3.2.2	ICP - 2016:	104
3.2.3	ICP – 2019:	106
3.3	Pontos de interesse e extração de testemunhos do pavimento de concreto.....	106

3.4	Dimensões das placas de concreto.....	110
3.5	Caracterização dos materiais	110
3.5.1	Massa específica	111
3.5.2	Ensaio realizado nos concretos das placas do pavimento	112
3.6	Topografia.....	130
3.7	Tráfego.....	130
3.7.1	Volumes de tráfego:.....	131
3.7.2	Composições do tráfego:	131
3.7.3	Número N	135
3.8	Coeficiente de recalque da fundação do pavimento	139
3.9	Pluviosidade.....	143
3.10	Radiação solar	144
3.11	Modelos de desempenho	145
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	148
4.1	Variáveis	148
4.1.1	ICP:.....	149
4.1.2	Caracterização dos materiais:	161
4.1.3	Dimensões das placas de concreto:	196
4.1.4	Topografia	199
4.1.5	Tráfego.....	202
4.1.6	Coeficiente de recalque da fundação do pavimento	207
4.1.7	Pluviosidade	209
4.1.8	Radiação solar.....	213
4.2	Modelos de desempenho.....	218
4.2.1	Modelo com caracterização macroestrutural:.....	219
4.2.2	Modelo com caracterização microestrutural.....	225
5	CONCLUSÕES	232
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	234
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	235
	APÊNDICE	244

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais e motivação da pesquisa

É indiscutível a importância dos meios de transporte em todo o mundo. Qualquer nação necessita de uma infraestrutura de transportes adequada, ao menos em alguns de seus modais (rodoviário, ferroviário, aquaviário e aeroviário) para o seu pleno desenvolvimento.

No Brasil, segundo a EPE (2019), o setor de transportes ocupa o primeiro lugar no que diz respeito ao uso de energia, com consumo de 32,7% do total de energia no país, ficando à frente de setores como o industrial (31,7%), o energético (11,2%) e o residencial (9,9%). Deste consumo, o modal rodoviário é o que tem maior participação. De acordo a CNT (2019), este modal é responsável por 93,3% de toda essa energia consumida pela atividade transportadora no país.

A malha rodoviária brasileira é composta por 1.720.700 quilômetros de vias, entre pavimentadas, não pavimentadas, planejadas, sob jurisdição federal, estadual e municipal (CNT, 2019). A importância do modal rodoviário ao Brasil ficou mais evidente ao público durante a greve dos caminhoneiros que ocorreu em 2018 quando o desabastecimento implicou num impacto negativo de cerca de 15,9 bilhões de reais, aproximadamente 0,2% do Produto Interno Bruto - PIB (BRASIL, 2018). Sua participação na matriz de transportes concentra cerca de 61% da movimentação de mercadorias e 95% de passageiros (CNT, 2019).

Assim, com números tão expressivos é de se esperar que a qualidade das vias também se torne importante sob vários aspectos de desenvolvimento. O tráfego em uma malha rodoviária mal conservada implica na geração de impactos econômicos, sociais e ambientais à nação. Isso porque, nestas condições, tem-se um maior consumo de combustível (impacto econômico e ambiental), maior desgaste dos componentes dos veículos e viagens com velocidades reduzidas (impacto econômico), além de menor segurança de tráfego, o que implica em maior número de acidentes (impactos sociais e econômicos).

Segundo Bartholomeu (2006), o volume de combustível desperdiçado, resultante do tráfego em rodovias com infraestrutura inapropriada, é de 5,0%, em média. A CNT (2019) estima o consumo desnecessário de 931,90 milhões de litros de diesel fóssil, no ano de 2019, devido às inadequações do pavimento das vias brasileiras, o que implicou numa emissão adicional de 2,46 MtCO₂.

O tráfego em vias mal conservadas também elevam, de acordo com a CNT (2019), o custo total médio dos transportadores, uma vez que diminuem as velocidades dos veículos, reduzindo o número de viagens realizadas por ano e, conseqüentemente, aumentam o custo total por viagem. Calcula-se que o país gasta, em média, 28,5% a mais do que deveria para transportar seus insumos, bens de produção e bens de consumo por rodovias, apenas em razão de problemas no pavimento.

Além disso, outro fator relacionado com a qualidade das rodovias é a ocorrência de acidentes. Seus prejuízos vão desde o aspecto social, com os danos físicos e psicológicos ocasionados às pessoas envolvidas e familiares, até o aspecto econômico. Em 2019, a Polícia Rodoviária Federal registrou a ocorrência de 67.447 acidentes nas rodovias federais do país, que resultaram na morte de 5.333 pessoas e em 79.073 feridos.

Segundo o IPEA (2020), os acidentes em rodovias custam à sociedade brasileira, em uma estimativa conservadora, cerca de R\$ 40 bilhões por ano. Já os acidentes nas áreas urbanas correspondem a cerca de R\$ 10 bilhões. O custo relativo à perda de produção corresponde a maior parcela desses valores, seguido pelos custos hospitalares.

Por todo o exposto, percebe-se a importância do aumento da qualidade da infraestrutura rodoviária para o país, de um sistema mais eficiente, com menos perdas sob os aspectos econômicos, sociais e ambientais.

De acordo com a CNT (2019), uma das medidas fundamentais para alcançar a sustentabilidade do transporte brasileiro é melhorar a qualidade de sua infraestrutura. *As características da malha rodoviária, incluindo o seu estado de conservação, a qualidade do pavimento e a sua manutenção contínua, influenciam diretamente a segurança, os custos e a eficiência energética do transporte, refletindo também no meio ambiente e na saúde dos trabalhadores do setor e da população.*

O DNIT (2022), a partir de seu Índice da Condição da Superfície – ICS, parâmetro que é definido a partir de características do pavimento como o índice de gravidade global (IGG) e a irregularidade longitudinal (IRI), indica que, dentre as rodovias federais do país no ano de 2021, 45,6% dos pavimentos foram classificados com bons, 24,5% são classificados como regulares e 29,9% como ruins. Já a pesquisa realizada pela Confederação Nacional dos Transportes, realizada em 2021 (CNT, 2021), acerca da qualidade dos pavimentos das rodovias do Brasil,

apontou que 33,2% das rodovias brasileiras são classificadas como ótimas e 14,6% como boas. Já as classificadas como regulares totalizam 30,6%, ruins 15,8% e péssimas representam 5,8%.

Para mudar esse cenário, cabe a classe política e a sociedade civil organizada a consciência da necessidade e importância dos investimentos na infraestrutura rodoviária, tanto na implantação de novos segmentos como também na adequação, restauração e manutenção das vias existentes. Àqueles que fazem a Engenharia do país, cabe o constante aprimoramento das técnicas em busca de obras mais duráveis, que cumpram suas finalidades e impliquem em menores necessidades de manutenção. Fundamental para isso, a maior qualidade dos projetos e execução das obras depende do melhor conhecimento das propriedades dos materiais empregados. Neste contexto, as técnicas de caracterização da Engenharia dos Materiais têm grande contribuição a oferecer à Engenharia Civil.

Os Sistemas de Gerência de Pavimento – SGP também assumem papel fundamental na melhoria da qualidade dos nossos pavimentos, visto que oferece aos gestores a possibilidade de maior eficiência na aplicação dos recursos disponíveis.

Podemos definir um SGP como um conjunto de ferramentas da engenharia, baseado em dados da malha rodoviária e modelos de desempenho, que auxiliam os gestores nas tomadas de decisões da aplicação de recursos em planejamento, projetos, construção, reabilitação e manutenção, de modo a atingir um nível desejado de conforto e segurança aos usuários com eficiência de recursos.

De acordo com o DNIT (2011), as atividades da gerência de pavimentos podem ser realizadas em nível de rede ou em nível de projeto. Na gerência em nível de rede são indicados os trechos prioritários da malha rodoviária que deve ser objeto de investimentos em manutenção, de modo que os recursos públicos alocados tenham um melhor retorno econômico para um período determinado. As recomendações neste nível têm como finalidade a elaboração de um programa plurianual de investimentos, no qual estejam contemplados os projetos e obras que serão realizadas em médio prazo. Já a gerência a nível de projeto envolve atividades detalhadas do próprio projeto e da execução da obra em um trecho específico da malha, atividades que deverão subsidiar orçamentos e programas de curto prazo.

O sucesso de um sistema de gerência de pavimentos, tanto a nível de rede, quanto a nível projeto, depende, dentre outros fatores, de modelos de desempenho dos pavimentos

representativos que auxiliem os tomadores de decisões nas escolhas das melhores soluções e estratégias de manutenção a implementar.

De acordo com Nunez & Shahin (1986), “*a seleção de estratégias ótimas de manutenção depende da viabilidade de uso de modelos que reflitam as condições locais*”.

Quando se fala em modelos de desempenho de pavimentos é mais comum encontrar-se modelos para pavimentos flexíveis, provavelmente por serem pavimentos mais executados diante dos pavimentos rígidos. Na malha rodoviária federal do estado da Paraíba, apenas a BR-101/PB apresenta parte de sua extensão em pavimento rígido, que totalizam 104,2 quilômetros de extensão. Contudo, apesar de representar um percentual menor de extensão em relação aos pavimentos flexíveis, os pavimentos rígidos são amplamente construídos e sua manutenção, consequentemente, também se faz necessária.

Nesta pesquisa então procurou-se elaborar dois modelos de desempenho para pavimentos rígidos, utilizando como estudo de caso a rodovia BR-101/PB.

Inicialmente, um modelo foi elaborado a partir de levantamentos de dados comumente utilizados na engenharia rodoviária, como por exemplo, parâmetros do tráfego rodoviário, geometria das camadas do pavimento, caracterização dos materiais, topografia da rodovia e parâmetros ambientais.

Posteriormente, procurou-se incorporar neste modelo variáveis microestruturais, obtidas a partir de ensaios da engenharia dos materiais, do concreto de cimento Portland da placa do pavimento, que é a camada mais importante sob o aspecto mecânico, gerando o segundo modelo.

Os modelos obtidos, permitem não somente estimar o desempenho do pavimento, a partir da identificação de determinadas variáveis, como também aponta o potencial que a engenharia de materiais tem a oferecer à engenharia rodoviária.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Principal:

Elaboração de modelos de desempenho para o pavimento rígido da BR-101/PB, utilizando como parâmetro de referência o Índice de Condição do Pavimento (ICP), visando a obtenção de ferramentas que possam estimar o estágio de deterioração do pavimento.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Realizar levantamentos e calcular os Índices de Condição do Pavimento – ICP em três momentos distintos: imediatamente após a construção do pavimento, e nos anos de 2016 e 2019;
- Realizar levantamento de dados do tráfego rodoviário, geometria das camadas do pavimento, caracterização dos materiais, topografia da rodovia e parâmetros ambientais (pluviosidade e radiação solar);
- Confeccionar o modelo de desempenho com caracterização macroestrutural, baseado no Índice de Condição do Pavimento – ICP, considerando variáveis da engenharia rodoviária e caracterizações macroestruturais dos materiais;
- Definir variáveis microestruturais a partir da realização de ensaios microanalíticos no concreto das placas do pavimento;
- Incorporar variáveis microestruturais ao modelo com caracterização macroestrutural para a obtenção do modelo de desempenho com caracterização microestruturais;
- Realizar análises dos modelos macro e microestrutural, verificando a significância e abrangência de cada um deles.

1.3 Organização da tese

O presente trabalho foi dividido em seis capítulos.

No primeiro capítulo é realizada uma introdução, destacando a relevância do trabalho. Além disso, são apresentados os objetivos e estrutura da tese.

Já o capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura, abordando conceitos dos Sistemas de Gerenciamento de Pavimentos – SGP; algumas considerações sobre os modelos de previsão de desempenho; definições, tipos e durabilidade de pavimentos rígidos; e a composição química, propriedade e características do concreto de cimento Portland.

A metodologia empregada em todas as etapas da pesquisa é apresentada no capítulo 3.

Já o capítulo 4 apresenta os resultados e discussões de todas as etapas da pesquisa, finalizando com os modelos de desempenho elaborados.

O capítulo 5 apresenta as conclusões e considerações finais do trabalho.

E por fim, o capítulo 6 apresenta algumas sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Será apresentado neste capítulo a revisão da literatura referente aos principais temas relacionados com o presente trabalho, que são: os Sistemas de Gerenciamento de Pavimento (SGP), os pavimentos de concreto de cimento Portland e sua durabilidade, e o material concreto de cimento Portland.

Primeiramente, os Sistemas de Gerenciamento de Pavimento (SGP) serão conceituados, abordando os seus níveis de decisão e componentes. Será apresentado ainda o histórico do SGP do DNIT e alguns modelos de previsão de desempenho já desenvolvidos.

Em seguida, os Pavimentos de concreto de cimento Portland serão definidos. Serão apresentados ainda seus principais tipos e um breve histórico acerca dos pavimentos de concreto.

Na sequência, a durabilidade dos pavimentos de concreto de cimento Portland será abordada, apontando alguns fatores ambientais que podem influenciar na sua deterioração e os seus principais defeitos observados. Será explanado ainda o Índice de Condição do Pavimento (ICP) que é o parâmetro de desempenho adotado no presente trabalho.

Finalmente, o material concreto de cimento Portland será tratado, discutindo-se sua microestrutura e as propriedades e características do concreto endurecido.

2.1 Sistema de Gerência de Pavimentos – SGP

Um Sistema de Gerência de Pavimentos pode ser definido como um conjunto de ferramentas ou métodos que auxiliam os tomadores de decisões a encontrar estratégias ótimas para fornecer, avaliar e manter pavimentos em condições de serviço adequadas ao longo do tempo (AASHTO, 2012).

Trata-se de um processo que envolve todas as atividades relacionadas para a implementação e manutenção de um adequado nível de serviço do pavimento, que vão desde os levantamentos iniciais de planejamento, programação e execução de novas obras de construção, manutenção e reabilitação, até o monitoramento periódico de pavimentos já em serviço (HAAS et.al, 1994).

O principal objetivo de um sistema de Gerência de Pavimentos é alcançar a melhor aplicação possível para os recursos públicos disponíveis e oferecer um transporte rodoviário seguro, compatível e econômico (DNIT, 2011).

2.1.1 Níveis de decisão na gerência de pavimentos

De acordo com a AASHTO(2012), as decisões da gerência de pavimentos pode ocorrerem em três níveis distintos: estratégico, rede e projeto.

- Nível estratégico: as decisões são tomadas no mais alto nível dentro de uma organização por indivíduos responsáveis por tomar decisões de política e investimento, como funcionários eleitos, conselhos de transportes, comissões, conselhos municipais e administração superior da agência (AASHTO, 2012).
- Nível de rede: a gerência neste nível indica os trechos prioritários da malha rodoviária devem ser objeto de investimentos em manutenção, de forma que os recursos públicos alocados para um determinado período tenham o melhor retorno econômico. O conjunto das recomendações tem como principal objetivo permitir a elaboração de um Programa Plurianual de Investimentos (DNIT, 2011).
- Nível de projeto: neste nível, as decisões são muito específicas e geralmente estão concentradas em uma parte específica da rede. Por exemplo, uma vez que uma rodovia é identificada como candidata a reparo no nível de rede, uma avaliação mais detalhada no nível de projeto é realizada para projetar as melhorias baseada nas condições locais. São decisões focadas normalmente em períodos bastante curtos, como os primeiros dois a três anos de um programa de melhorias de cinco anos desenvolvido a nível de rede. Como a análise está concentrada em pequena parte da rede, normalmente as informações coletadas são mais detalhadas neste nível (AASHTO, 2012).

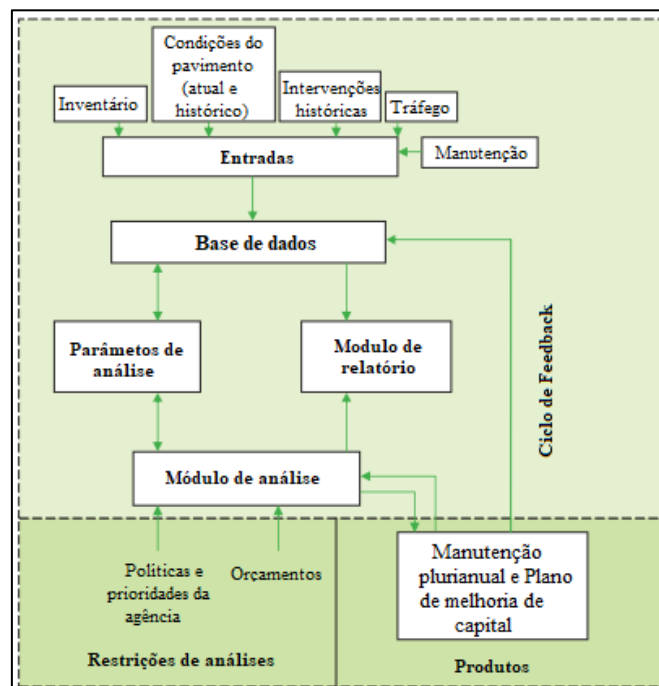
Complementarmente, os modelos em nível de projeto são diferentes e mais detalhados do que o modelo em nível de rede, pois são usados na análise e projeto de pavimentos, em análises de custo de ciclo de vida de projetos alternativos e outros propósitos relacionados. Os modelos de nível de rede são necessariamente menos detalhados, pois são usados na seleção das estratégias ótimas de manutenção e reabilitação (LYTTON, 1987).

A otimização do Sistema de Gerência de Pavimentos requer a perfeita integração entre os níveis de decisão, o que nem sempre é uma tarefa trivial. A medida que a complexidade e o tamanho da rede aumentam, o nível de detalhamento das informações forçosamente diminui, e vice-versa. Não deve haver, contudo, uma linha divisória entre os níveis de decisão, procurando-se, isto sim, uma integração, tanto nos aspectos técnicos como nos administrativos Investimentos (DNIT, 2011).

2.1.2 Componentes de um Sistema de Gerência de Pavimentos

Embora os recursos de gerenciamento do pavimento possam variar drasticamente, dependendo dos tipos de informações que a agência precisa para apoiar as decisões e os recursos disponíveis, existem alguns componentes básicos, ilustrados na Figura 1, que são comuns à maioria dos sistemas (AASHTO, 2012):

Figura 1 – Componentes básicos de um Sistema de Gerência de Pavimentos.



Fonte: (AASHTO, 2012)

- **Entradas:** São os dados nas quais todas as decisões são baseadas. São as informações gerais do inventário (nome da rodovia, localização, número de faixas, largura da faixa,

tipo de pavimento, etc) e informações de condição do pavimento (dados atuais e históricos). Além disso, um sistema de gerenciamento de pavimento requer uma estimativa da idade do pavimento para prever as condições futuras. As contagens de tráfego podem ser usadas para estimar a idade do pavimento, mas é muito mais comum para as agências basearem a idade do pavimento no ano em que a última grande atividade de construção foi realizada, seja a construção original da estrada, ou a data de uma última grande restauração;

- Base de dados: Embora as atividades de gerenciamento de pavimentos possam ser realizadas sem um sistema informatizado formal, é útil fazer uso da tecnologia para armazenar, classificar e recuperar as informações de estoque e condição. O tipo de armazenamento de dados pode ser desde planilhas simples até Sistemas de Informações Geográficas (SIG);
- Parâmetros de análise: Para gerar recomendações de projeto e tratamento de pavimento, certos parâmetros de análise devem ser criados. Existem pelo menos quatro tipos de parâmetros de análise comumente usados na gestão de pavimentos: modelos de deterioração do pavimento, regras de tratamento, regras de impacto e modelos de custo. Os modelos de deterioração do pavimento fornecem a base para prever mudanças futuras nas condições da rede. Eles são essenciais para estimar as necessidades futuras de financiamento e para determinar quando as atividades de manutenção e reabilitação serão necessárias. Os modelos também servem como base para demonstrar as consequências de diferentes níveis de investimento ou estratégias de tratamento para que uma agência possa decidir qual opção melhor atende aos objetivos da agência. Já as regras de tratamento definem as condições sob as quais as atividades de manutenção, reabilitação e reconstrução do pavimento são consideradas viáveis. As regras de tratamento podem variar em sofisticação, desde regras simples que recomendam o nível de reparo necessário (por exemplo, manutenção preventiva, pequena reabilitação, grande reabilitação) até regras muito complexas que consideram muitos fatores, como o tipo de tratamento aplicado por último, a localização geográfica de o projeto e o tipo de tráfego que usa a instalação. As regras de impacto ditam o quanto de aumento na condição de pavimentação pode ser esperado com a aplicação de um tratamento e como esse tratamento funcionará com o tempo. As regras de impacto são usadas em uma análise de gerenciamento de pavimento para prever as consequências de vários cenários nas condições do pavimento. Já os modelos de custos fornecem informações de custos

para cada um dos tratamentos ou categorias de tratamento considerados na análise e níveis de orçamento previstos para cada ano na análise.

- Módulo de análise: Uma das funções mais poderosas de um sistema de gerenciamento de pavimento é sua capacidade de processar e analisar rapidamente os dados do pavimento para fornecer informações que ofereçam suporte às decisões da agência sobre quais projetos financiar e quais tipos de tratamento usar. O módulo de análise de gerenciamento de pavimento é o recurso que fornece esse tipo de informação. O objetivo principal do módulo de análise é auxiliar as agências na avaliação das consequências da aplicação de diferentes níveis de investimento e estratégias de tratamento. As saídas mais comuns do módulo de análise incluem: a) uma avaliação do nível de financiamento necessário para atingir um nível de desempenho pretendido; b) recomendações para o uso otimizado do financiamento disponível; e c) estimativa das condições futuras do pavimento para diferentes cenários de tratamento e investimento.
- Módulo de relatório: a maioria dos sistemas de gerenciamento de pavimento tem uma função de relatório que fornece aos usuários a capacidade de gerar relatórios em muitos formatos diferentes.
- Ciclo de *feedback*: atualiza os registros de gerenciamento do pavimento com o desempenho do pavimento e as informações de construção do campo. De forma ideal, o ciclo de feedback é realizado por meio de sistemas automatizados que vinculam informações relevantes. Contudo, na prática, o ciclo de feedback normalmente depende das relações entre os funcionários da agência que entendem o valor das informações e atuam para garantir que as informações necessárias sejam fornecidas em tempo hábil.

2.1.3 O Sistema de Gerência de Pavimentos do DNIT

O Sistema de Gerência de Pavimentos do DNER/DNIT foi implantado no ano de 1982 quando a direção da autarquia formalizou a criação da Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos – CPGP. Tal comissão era presidida pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR e contava com representantes dos demais setores técnicos do DNER (VISCONTI, 2000).

Contudo, antes da criação da CPGP estudos e trabalhos relacionados ao modelo HDM (*Highway Development and Management*) e à Gerência de Pavimentos já vinham sendo desenvolvidos pelo grupo do HDM (GHDM), que foram os pioneiros no Brasil ao utilizar o

modelo nas suas versões iniciais , HDM-1 e HDM-2, para análise de projetos isolados e para a definição das prioridades de investimentos na rede federal pavimentada (DNIT, 2011).

Segundo DNIT (2011), naquela época (a partir de 1980), ocorria um crescente interesse por parte de vários órgãos rodoviários no desenvolvimento e aplicação de Sistemas de Gerência de Pavimentos, devido à fatores como:

- a) Maior evidência da necessidade de manutenção oportuna e adequada na rede rodoviária, em virtude de envelhecimento do pavimento;
- b) As exigências dos órgãos financiadores como o BIRD, que passaram a estimular o emprego de técnicas racionais, visando melhores resultados na aplicação dos programas utilizando os empréstimos financeiros;
- c) A exiguidade dos recursos a serem aplicados no setor rodoviário, face às crescentes necessidades motivadas pela deterioração progressiva da rede;
- d) O reconhecimento do efeito direto da condição do pavimento nos custos operacionais dos veículos, principalmente no consumo de pneus e combustíveis, nos custos de manutenção e tempo de viagem;
- e) A utilização em nosso país de avançada tecnologia, envolvendo métodos e equipamentos para avaliação de pavimentos, com o emprego de processos informatizados. Destaca-se a formulação de novas equações de custos operacionais de veículos e de modelos de previsão de desempenho dos pavimentos, desenvolvidos principalmente na Pesquisa de Inter-Relacionamentos de Custos Rodoviários – PICR, conduzida pelo GEIPOT, entre os anos de 1975 e 1984, por meio de convênio entre o Governo do Brasil e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). Os resultados da pesquisa foram incorporados ao HDM-III, sistema de avaliação econômica utilizado pelo Sistema de Gerência de Pavimentos do DNER.

Em 1983, a CPGP concluiu a norma DNER – ES 128/83 que indicava a metodologia e instruções para o levantamento de Condições de superfície dos pavimentos flexíveis para gerência de pavimentos a nível de rede. Posteriormente, em 1986, a norma foi complementada com a elaboração das “Instruções para caracterização de subtrechos homogêneos de rodovias do PNV”. Assim, além dos dados referentes à condição do pavimento, também era possível caracterizar o subtrecho homogêneo com informações de caráter funcional e estrutural do pavimento (VISCONTI, 2000).

Segundo Visconti (2000), nesses anos iniciais se tinha a necessidade da definição das prioridades de obras de restauração através de critérios técnicos, para a obtenção de financiamentos do Banco Mundial. Então, a Comissão Permanente de Gerência de Pavimentos criou um Índice de Suficiência que, mesmo não levando em conta ainda fatores de ordem econômica, já considerava informações que refletiam as condições de conservação e utilização da rodovia. Na época, o índice foi aceito pelo Banco Mundial, embora recomendasse o desenvolvimento de modelos que considerassem também a avaliação econômica.

Posteriormente, segundo DNIT (2011), no período de 1985/1986, foram estabelecidos a metodologia e os procedimentos para a utilização dos resultados dos levantamentos de campo no sistema HDM-III, selecionado para avaliar economicamente as alternativas de manutenção para todos os trechos da rede federal pavimentada. A partir deste momento, o sistema HDM-III passou a ser utilizado no Sistema de Gerência de Pavimentos para a avaliação da rede federal e para a definição das prioridades de restauração.

Entre os anos de 1984 e 1989, foram realizadas quatro etapas de levantamento de campo, com a finalidade de caracterizar as condições de todos os subtrechos homogêneos da rede federal pavimentada (VISCONTI, 2000).

Já em 1991, de acordo com DNIT (2011), foram realizadas significativas mudanças na metodologia utilizada até o momento, tendo como principais motivações:

- a) A redução da capacidade de execução do DNER, implicando, como consequência, na necessidade de contratação de diversas etapas do processo, antes realizadas pelo próprio órgão;
- b) As alterações na metodologia sugeridas pelo Banco Mundial que apontou a necessidade de realização de um levantamento visual contínuo para a condição dos pavimentos e a necessidade de incorporação de novos parâmetros (estrutura e idade dos pavimentos) para a definição dos subtrechos homogêneos;
- c) A necessidade de utilização de modelo para avaliar as estratégias de manutenção rodoviária em condição de restrição orçamentária, em complementação à avaliação econômica com o HDM-III.

No final da década de 1990, o órgão passou a utilizar o sistema HDM-4 para novas avaliações econômicas da rede federal pavimentada, priorizando na coleta de dados as informações verificadas

como aquelas para os quais o modelo apresentava maior sensibilidade, ou seja, volume de tráfego, quociente de irregularidade e deflexão DNIT (2011).

Contudo, conforme mencionado por DNIT (2011), apesar da identificação dos subtrechos homogêneos abranger toda a malha rodoviária federal, com os diversos tipos de superfície (pavimentos flexíveis, rígidos e semirrígidos), as análises técnicas e econômicas realizadas com o auxílio do modelo HDM-4 e a aplicação de catálogos de soluções técnicas restringem-se aos pavimentos flexíveis e semirrígidos. Isto se deve à ausência, até o momento, de metodologias e catálogos específicos para a análise de pavimentos rígidos.

Finalmente, após poucos avanços nas últimas duas décadas, o DNIT celebra em setembro de 2021 o Contrato nº PP-506/2021 com a finalidade de gerenciar seus ativos de infraestrutura. Em seu escopo, o produto de gerência de pavimentos prevê atividades no âmbito de duas esferas de atuação: a primeira é o sistema de informação da Gerência de Pavimentos, cujo objetivo é a organização e estruturação dos dados e informações necessárias para a tomada de decisões utilizando ferramentas computacionais. Já a segunda é a gestão e operacionalização da Gerência de Pavimentos, que consiste do gerenciamento das necessidades de novos levantamentos, atualização de custos da Gerência de Pavimentos, modelagem do desempenho do pavimento e criação e avaliação de cenários e opções alternativas em consonância com a previsão de condição do pavimento, processamento de dados e elaboração de relatórios, e treinamento para os colaboradores e servidores da autarquia. O citado contrato, ainda em fase inicial de execução, representa um marco ao DNIT na retomada do seu Sistema de Gerência de Pavimentos.

2.1.4 Modelos de previsão de desempenho

2.1.4.1 *Considerações gerais*

No processo de gerenciamento de pavimentos os modelos de previsão desempenham diversas funções importantes, dentre elas (AASHTO, 2012):

- Estima as condições futuras do pavimento;
- Identifica o momento apropriado para as intervenções de manutenção e reabilitação do pavimento;
- Identifica a estratégia de tratamento mais econômica para a rede de pavimentos;
- Estimar as necessidades de pavimentação necessárias para atender às metas, objetivos e restrições especificados pela agência;

- Demonstrar as consequências de diferentes estratégias de investimento em pavimentos.;
- Estabelecer critérios de desempenho para especificações de desempenho e garantias contratuais;
- Fornecimento de *feedbacks* sobre projetos ou sobre a eficácia de diferentes estratégias de manutenção.

Os principais requisitos para a obtenção de confiáveis modelos de previsão de desempenho são (DARTER, 1980):

- a) Uma adequada base de dados;
- b) A inclusão das variáveis mais significativas que afetam o desempenho do pavimento;
- c) Uma função adequada ao modelo;
- d) Satisfação de critérios estatísticos relativos à precisão do modelo.

Com relação à inclusão das variáveis mais significativas, existem muitas variáveis que podem ter um impacto sobre o desempenho dos pavimentos ao longo do tempo, incluindo clima, tráfego, espessura das camadas e propriedades do material. Embora uma agência possa querer incorporar todas essas variáveis em seus modelos de desempenho do pavimento, geralmente é impraticável fazer isso porque a maioria dos bancos de dados de gerenciamento de pavimento não possui registros adequados para suportar o uso de múltiplas variáveis independentes (AASHTO, 2012).

Inicialmente, antes da elaboração do modelo é preciso definir qual índice o modelo irá prever. Geralmente, os Sistemas de Gerência de Pavimentos preveem um dos seguintes índices que representam a condição do pavimento ao longo do tempo (AASHTO, 2012):

- Severidade e extensão de patologias: inclui mudanças na quantidade e severidade de uma patologia específica;
- Índices individuais de condição do pavimento: os índices individuais são normalmente usados apenas para decisões de tratamento e para calcular um índice composto geral. Podem ser, por exemplo, um índice de trincamento estrutural, índice de rugosidade, etc.
- Índices compostos: agregam vários tipos de dados de condição em um único índice que é representativo da condição geral de um pavimento. Geralmente estão vinculados à classificações descritivas como bom, razoável ou ruim. O ICP – Índice de Condição do Pavimento é um dos principais exemplos dentro dessa categoria.

2.1.4.2 *Tipos de modelos de desempenho*

Existem dois tipos básicos de modelos de desempenho: os determinísticos e os probabilísticos. Enquanto os modelos determinísticos predizem um único número para a vida de um pavimento ou seu nível de desgaste ou outra medida de sua condição, o modelo probabilístico prediz uma distribuição de tais eventos. Os modelos determinísticos incluem resposta primária, desempenho estrutural, desempenho funcional e modelos de deterioração. Modelo probabilístico, inclui curvas de sobrevivência e modelos de processo de markov (LYTTON, 1987).

Os Modelos de resposta primária preveem as respostas primárias do pavimento às cargas impostas e às condições climáticas, como deflexões, tensões, deformações, tensões térmicas, temperatura, etc. Esses modelos podem ser tanto mecanísticos, empíricos ou mecanísticos-empíricos (aqueles calibrados com dados de campo observados) (LYTTON, 1987).

Já os modelos de desempenho estrutural preveem o desgaste de pavimentos de todos os tipos e medidas compostas da condição do pavimento, como o índice de condição do pavimento. Esses modelos podem ser empíricos ou empíricos – mecanísticos (LYTTON, 1987).

Os modelos de desempenho funcional preveem o índice de manutenção atual, o atrito da superfície do pavimento e o índice de segurança em tempo chuvoso. São parâmetros que visam oferecer conforto e segurança aos usuários das vias (LYTTON, 1987).

Já os modelos de danos são derivados dos modelos de desempenho estrutural ou funcional, e é a partir dos modelos de dano que o fator de equivalência de carga é determinado. O “Dano” é o índice que define a perda da capacidade de serviço. O índice começa em zero e torna-se 1,0 quando um nível inaceitável da capacidade de serviço é atingido (LYTTON, 1987).

Uma curva de sobrevivência é um gráfico de probabilidade em função do tempo. A probabilidade cai com o tempo (ou tráfego) do valor 1,0 para zero e expressa a porcentagem de pavimento que permanece em serviço após vários anos (ou passagens de uma carga padrão) sem exigir grande manutenção ou reabilitação. As curvas de sobrevivência são usadas para planejar alternativas de manutenção e reabilitação em redes de pavimentação. Os registros históricos de construção, manutenção e reabilitação são fontes valiosas para o desenvolvimento de curvas de sobrevivência (LYTTON, 1987).

A abordagem probabilística de Markov é baseada na condição atual do pavimento e assume que a probabilidade de mudança de um estado de condição para outro é independente

do tempo. Uma vez que os modelos dependem apenas do estado atual da condição, não há oportunidade de incluir outras variáveis (como carga de tráfego ou fatores ambientais) que muitas vezes contribuem para o desempenho e que muitas vezes mudam ao longo do tempo, a menos que famílias sejam criadas e matrizes de transição separadas sejam desenvolvidas para cada família. A abordagem semi-Markov é projetada para superar a independência da suposição de tempo usada ao mudar de um estado de condição do pavimento para outro estado de condição do pavimento (AASHTO, 2012).

A Tabela 1 apresenta os tipos de modelos de desempenho e variáveis utilizadas para os respectivos níveis de Gerência de Pavimento.

Tabela 1 – Tipos de modelos de desempenho.

Níveis do Gerenciamento de Pavimentos	Tipos de modelo de desempenho						
	Modelos Determinísticos				Modelos Probabilísticos		
	Resposta primária	Estrutural	Funcional	Dano	Curvas de sobrevivência	Modelos de processo de transição	
	Deflexão, deformação, temperatura, tensão, etc	Degradação, Índice de Condição do Pavimento	facilidade de manutenção, segurança, etc.	carga equivalente		Markov	Semi-Markov
Redes Nacionais				✓	✓	✓	✓
Redes Estaduais		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Redes Municipais		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Projeto	✓	✓	✓	✓			

Fonte: (LYTTON, 1987)

Os modelos determinísticos e probabilísticos podem ainda ser subdivididos, de acordo com a sua natureza, em (HAAS; HUDSON; ZANIEWSKI, 1994):

- Puramente mecanísticos: são aqueles baseados em parâmetros de resposta primária com tensão, deformação ou deflexão.
- Mecanístico-empírico: são aqueles onde o parâmetro de resposta é relacionado com a deterioração estrutural ou funcional medida, obtido por meio de equações de regressão.
- Regressão: são aqueles onde as variáveis dependentes de deterioração, estruturais ou funcionais, são relacionadas a uma ou mais variáveis independentes, como o suporte do subleito, aplicações de cargas por eixos,

espessuras e propriedades das camadas do pavimento, fatores ambientais e suas interações.

- d) Subjetivo: são aqueles onde a experiência de técnicos é considerada em um formalizado ou estruturado caminho, utilizando modelos de processos de transição (Markov e Semi-markov).

2.1.4.3 Modelos em famílias e específicos locais

As taxas de deterioração podem ser representadas por modelos de famílias de pavimentos, que são grupo de seções de pavimentos com características semelhantes, ou por modelos específicos locais, que são aqueles baseados nas características exclusivas de uma seção específica do pavimento.

Acerca dessas duas formas de modelagem, a AASHTO (2012) apresenta as seguintes distinções:

- Modelos de famílias de pavimentos:

Este método simplifica o processo de modelagem, reduzindo o número de variáveis independentes no modelo de desempenho a uma única variável independente (geralmente idade do pavimento ou tráfego) que é usada para prever as condições futuras do pavimento.

A título de exemplo, uma abordagem de modelagem familiar pode ser usada para dividir pavimentos com superfície de asfalto e concreto, por exemplo, para refletir as diferenças em suas taxas de deterioração. Para refletir as diferenças de desempenho com base nas características do tráfego, a família com revestimento asfáltico pode ser posteriormente separada em famílias para rodovias interestaduais revestidas com asfalto e rodovias não interestaduais revestidas com asfalto.

- Modelos específicos locais:

Algumas agências preferem usar as características exclusivas de cada seção do pavimento para prever as condições futuras. As equações de regressão de múltiplas variáveis são um exemplo de modelos específicos do local nos quais o desempenho previsto é baseado nos dados específicos armazenados no banco de dados para aquela seção. As previsões são consideradas específicas do local porque duas seções do pavimento com informações de

condição idênticas não deverão se deteriorar na mesma taxa se outras variáveis usadas no modelo forem diferentes (por exemplo, clima, espessura do pavimento ou tráfego).

2.1.4.4 Avaliação da confiabilidade dos modelos

Os métodos estatísticos utilizados para explicar o quão bem os modelos desenvolvidos por regressão se ajustam aos dados, de acordo com a AASHTO (2012), são:

- Coefficiente de determinação: O R^2 é o parâmetro estatístico mais utilizado para explicar a qualidade do ajuste. Ele representa a quantidade de variabilidade que pode ser explicada pelo modelo e fornece uma estimativa de quão bem as condições futuras podem ser previstas pelo modelo. É dado pela Equação (1):

$$R^2 = 1 - (SS_{err}/SS_{tot}) \quad (1)$$

Onde:

R^2 é o coeficiente de determinação;

SS_{err} é a soma dos quadrados dos resíduos; e

SS_{tot} é a soma total dos quadrados.

- Erro padrão da estimativa: Esta é uma medida da precisão de uma previsão. É dado pela Equação (2):

$$SE_x = s/\sqrt{n} \quad (2)$$

Onde:

SE_x é o Erro Padrão da Estimativa;

s é o desvio padrão da amostra; e

n é o tamanho da amostra.

- Gráfico dos resíduos: Fornece uma boa indicação da relação entre o modelo e a variável independente. Esses gráficos são úteis para mostrar se o modelo representa com precisão os dados sobre todos os limites da variável.

- Erro quadrático médio (RMSE): Este é o desvio padrão dos valores "y" previstos para um valor específico de "x".
- Teste T: Para pequenas amostras, o teste t (ou distribuição t) pode ser usado na análise Bayesiana para determinar a significância estatística entre duas médias de amostra.
- Teste F: Este teste é usado com uma análise de regressão de mínimos quadrados para comparar modelos estatísticos e determinar qual deles se ajusta melhor aos dados.
- Utilização de dados extraídos do conjunto de dados do modelo: A confiabilidade do modelo também pode ser avaliada usando dados extraídos do conjunto de dados do modelo para uso na verificação da robustez dos modelos desenvolvidos. Uma porcentagem aleatória dos dados pode ser removida do conjunto de dados original antes do desenvolvimento do modelo.

2.1.4.5 *Alguns exemplos de modelos de previsão de desempenho*

A seguir são apresentados alguns exemplos de modelos empíricos existentes na literatura para pavimentos rígidos. Contudo, é importante mencionar que tais modelos, embora muito importantes para a gerência de pavimentos e a análise de custos, tal qual realiza o programa HDM-4, são modelos empíricos, cujo campo de aplicação e validade está atrelado às condições locais para os quais foram desenvolvidos, não sendo aplicáveis de imediato em regiões com diferentes condições climáticas e pedológicas, bem como distintas políticas de cargas rodoviárias. Dessa forma, uma criteriosa avaliação das premissas de fundo desses modelos se faz necessária antes de sua aplicação (BALBO, 2009).

- Índice de Condição do Pavimento:

SHAHIN & BECKER (1984) desenvolveram modelos de previsão de desempenho para pavimentos de aeroportos, utilizando como parâmetro de desempenho adotado foi o Índice de Condição do Pavimento – ICP. Os dados foram obtidos de 12 bases da Força Aérea Americana, localizadas nos Estados Unidos.

Foi desenvolvido um modelo para pavimentos flexíveis e outro para pavimentos rígidos. Este último, apresentado na Equação (3), obteve um coeficiente de determinação de 0,72155 e erro padrão estimado de 8,77083.

$$\begin{aligned}
 PCI = & 99,503 - 2,4837 \cdot AGE^{0,55857} \cdot LDAMAGE^{0,6} - 0,00020334 \cdot AGE^{0,5} \\
 & \cdot FATAGE^{0,74987} - 0,0028494 \cdot AGE^{1,0} \cdot AAPREC^{1,2188} \\
 & - 0,028872 \cdot AGE^{1,7366} \cdot FTC - 0,076824 \\
 & \cdot \left(\frac{AGE^5 \cdot AGECOL^{0,76544} \cdot LDAMCOL^{1,0}}{THICK^{1,6035}} \right)
 \end{aligned} \tag{3}$$

Onde:

AAPREC: precipitação média anual, em polegadas;

FTC: uma variável discreta do ciclo de congelamento e degelo que é igual a 1 quando o número de ciclos de congelamento e degelo em um pavimento de PCC a 2 polegadas de profundidade é maior ou igual a 10 e é igual a 0 quando o número de ciclos de congelamento e descongelamento em um pavimento de PCC a 2 polegadas de profundidade é menor que 10 ou se a superfície existente for uma sobreposição de asfalto;

THICK: espessura do pavimento de concreto ou, se for sobreposto, a mais recente espessura do revestimento, em polegadas;

LDAMAGE: $\log_{10} (DAMAGE + 10)$. Por meio de procedimento específico, é definido o número de passadas que cada aeronave pode realizar em cada pavimento antes que ocorram danos estruturais. A variável DAMAGE registra esse número de passadas já realizadas.

LDAMCOL: $\log_{10} (DAMCOL + 10)$. Igual ao DAMAGE, mas a variável DAMCOL representa o dano acumulado antes da última sobreposição;

PCI: índice de condição do pavimento;

AGE: idade do pavimento de concreto, em anos;

AGECOL: idade da laje do pavimento de concreto, em anos, no momento em que é sobreposta; se não houver sobreposição, AGECOL é zero;

FATAGE: uma variável de entrada mecanicista usada no modelo de previsão de PCI. Representa o total de tensões críticas às quais o pavimento foi submetido;

- Irregularidade longitudinal em placas de concreto simples:

OWUSU-ANTWI & DARTER (1994) *apud* Balbo (2009) desenvolveram um modelo que indica a evolução da irregularidade longitudinal em placas de concreto simples, conforme apresentado na Equação (4).

$$IRI = -141 + 0,849 \cdot AGE + 0,347 \cdot P + 1390 \cdot \left(1/k\right) + 21,2 \cdot T + 15,1 \cdot SHOU \quad (4)$$

Onde:

IRI: irregularidade longitudinal do pavimento;

AGE: idade do pavimento;

P: índice pluviométrico médio anual;

K: módulo de reação do subleito estático;

T: espessura da placa de concreto;

SHOU: condições do acostamento. É igual a 1 para acostamentos de concreto e igual a 0 para outros tipos.

- Evolução do escalonamento nas juntas transversais dos pavimentos de concreto:

OWUSU-ANTWI & DARTER (1994) *apud* Balbo (2009) apresentaram modelos que apontam a evolução do escalonamento nas juntas transversais dos pavimentos de concreto com (Equação (5)) e sem (Equação (6)) barras de transferência.

$$FAULT = \sqrt[4]{N} \cdot \left[0,0238 + 0,0006 \cdot \left(JT/10\right)^2 + 0,0037 \cdot \left(100/k\right)^2 + 0,0039 \cdot \left(AGE/10\right)^2 - 0,0037 \cdot SHOU - 0,0218 \cdot \Phi_{BT} \right] \quad (5)$$

$$FAULT = \sqrt[4]{N} \cdot \left[-0,0757 + 0,0251 \cdot \sqrt{AGE} + 0,0013 \cdot \left(P/10\right)^2 + 0,0012 \cdot \left(\frac{IF \cdot P}{1000}\right) - 0,0378 \cdot D \right] \quad (6)$$

Onde:

FAULT: escalonamento nas juntas de concreto, em polegadas;

N: número de repetições do eixo padrão (eixo simples com roda dupla) de 80 KN;

JT: espaçamento entre as juntas transversais, em pés;

k: módulo de reação do subleito estático, em lb/pol³;

AGE: idade do pavimento, em anos;

SHOU: é igual a 1 quando o acostamento é de concreto e existem barras de ligação, e igual a zero nos demais casos;

Φ_{BT} : diâmetro da barra de transferência, em polegadas;

P: precipitação média anual, em polegadas;

IF: índice de congelamento médio, em ° F/dia;

D: é igual a 1 quando o pavimento possui drenos longitudinais e é igual a zero nos demais casos;

2.1.4.5.1 Modelos de previsão de deterioração previstos no HDM-4

De acordo com HDM-4 (2000), os modelos de previsão de deterioração do pavimento de concreto incluídos no HDM-4 são baseados nas pesquisas realizadas pela Latin American Study Team, no Chile (1996). Os modelos implementados são baseados principalmente nos trabalhos realizados por SHRP (1993), Al-Omari & Darter (1994), Lee & Darter (1994) e ERES Consultants (1995). A seguir são apresentados alguns destes modelos:

- Números de trincas transversais deterioradas por milha (ERES Consultants, 1995 *apud* HDM-4, 2000):

$$DCRACK = K_{JRC} \cdot AGE^{2,5} \cdot \left[6,88 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{FI}{SLABTHK} + NE4 \cdot (0,116 - 0,073 \cdot BASE) \cdot (1 - \exp(-0,032 \cdot MI)) \cdot \exp[7,5518 - 66,5 \cdot PSTEEL - (1 - 5 \cdot PSTEEL) \cdot E_c] \cdot 10^{-6} \right] \quad (7)$$

Onde:

DCRACK: número de trincas transversais deterioradas por milha;

AGE: número de anos desde a construção do pavimento;

FI: índice de congelamento (°F-dias);

SLABTHK: espessura da laje do pavimento (polegadas);

NE4: número de repetições do eixo padrão acumulados desde a construção do pavimento (milhões de eixos de 18 kip por faixa);

BASE: tipo de base, sendo 0 se não estabilizada e sendo 1 se estabilizada;

MI: Índice de umidade Thornthwaite;

PSTEEL: percentual de reforço longitudinal de aço;

Ec: Módulo de elasticidade do concreto (psi);

Kjrc: fator de calibração (padrão =1).

O modelo destaca que:

- ✓ A deterioração das trincas aumenta com a idade do pavimento e o tráfego;
- ✓ Um aumento significativo na quantidade de armadura de aço longitudinal reduz o número de fissuras deterioradas;
- ✓ Deterioração da trinca ocorre em uma taxa mais alta em climas frios e úmidos (valores mais altos de MI);
- ✓ As bases estabilizadas apresentam menos fissuras do que as bases não estabilizadas;

- ✓ A deterioração da trinca pode ser reduzida usando concreto de maior resistência ou aumentando espessura da laje.

- Perda da serventia do pavimento:

A Avaliação da Serventia Atual (PSR) se trata de uma avaliação subjetiva da qualidade existente da condição do pavimento. Ele pode ser correlacionado com indicadores de irregularidade, como o IRI. É um reflexo da resposta do usuário às condições do pavimento (HDM-4, 2000).

Para pavimentos de concreto armado com juntas, os valores de PSR são dados por (ERES Consultants, 1995 *apud* HDM-4, 2000):

$$PSR = 4,165 - 0,06694 \cdot TFAULT^{0,5} - 0,00003228 \cdot DCRACK^2 - 0,1447 \cdot SPALL^{0,25} \quad (8)$$

Onde:

PSR = avaliação da serventia atual;

TFAULT = total de juntas transversais falhas, por milha, calculado por equação específica;

DCRACK = número de trincas transversais deterioradas, por milha;

SPALL = percentual de juntas esborcinadas.

Já para pavimentos de concreto armado sem juntas (contínuos), os valores de PSR são dados por (Lee et al., 1991 *apud* HDM-4, 2000):

$$\begin{aligned} \log_{10}(PSR_0 - PSR_t) \\ = [0,79 - 1,3121 \cdot \log_{10}(SLABTHK) + 0,1849 \cdot \log_{10}(AGE) \\ + 0,2634 \cdot \log_{10}(NE4)] \end{aligned} \quad (9)$$

Onde:

PSR₀: PSR inicial no momento da construção do pavimento (padrão=4,5);

PSR_t: valor de PSR previsto no tempo t;

SLABTHK: espessura da laje do pavimento (pol);

AGE: idade do pavimento, em anos, desde a sua construção;

NE4: número de repetições do eixo padrão acumulados desde a construção do pavimento (milhões de eixos de 18 kip por faixa);

- Irregularidade longitudinal do pavimento:

Para pavimentos de concreto simples com juntas, a irregularidade longitudinal é dada por (ERES Consultants, 1995 *apud* HDM-4, 2000):

$$RI_t = K_{jpr} \cdot (RI_0 + 2,6098 \cdot TFAULT + 1,8407 \cdot SPALL + 2,2802 \cdot 10^{-6} \cdot TCRACKS^3) \quad (10)$$

Onde:

RI_t : irregularidade no tempo t (pol/milha);

RI_0 : irregularidade inicial, no momento da construção do pavimento (pol/milha), (padrão= 98,9);

TFAULT: total de juntas transversais falhas, por milha, calculado por equação específica;

SPALL: percentual de juntas esborcinadas.

TCRACKS: número total de lajes fissuradas por milha, calculado por equação específica;

K_{jpr} = fator de calibração (padrão =1).

Para pavimentos de concreto armado com juntas, a irregularidade longitudinal do pavimento é dada por (Al-Omari &Darter, 1994 *apud* HDM-4, 2000):

$$RI_t = K_{jr} \cdot \left[-\log_e \left(\frac{0,2 \cdot PSR_t}{0,0043} \right) \right] \quad (11)$$

Onde:

RI_t: irregularidade no tempo t (pol/milha);

PSR_t: avaliação da serventia atual no tempo t;

K_{jrr}: fator de calibração (padrão=1,0).

Já para pavimentos de concreto armado sem juntas (contínuos), a irregularidade é dada por (Al-Omari &Darter, 1994 *apud* HDM-4, 2000):

$$RI_t = Kcr_r \cdot \left[-\log_e \left(\frac{0,2 \cdot PSR_t}{0,0043} \right) \right] \quad (12)$$

Onde:

RI_t: irregularidade no tempo t (pol/milha);

PSR_t: avaliação da serventia atual no tempo t;

K_{jrr}: fator de calibração (padrão=1,0).

Finalmente, apresentados alguns modelos de previsão de desempenho já desenvolvidos e os principais conceitos de um Sistema de Gerenciamento de Pavimento (SGP), tratemos a seguir dos pavimentos de concreto de cimento Portland, abordando sua definição, tipos e um breve histórico da sua utilização.

2.2 Pavimentos de concreto de cimento Portland

2.2.1 Definição

Os pavimentos de concreto são aqueles cuja camada de rolamento (ou revestimento) é feita com concreto (produzido com agregados e ligantes hidráulicos), que pode ser realizado com diversas técnicas de manipulação e elaboração do concreto – como pré-moldados ou produção in loco -, e que apresentam suas particularidades de projeto, execução, operação e manutenção (BALBO, 2009).

Basicamente as camadas que compõem o pavimento de concreto são:

- Placa de concreto: tem a função de revestimento e base no pavimento, ou seja, tanto tem relação com o conforto e segurança da superfície de rolamento como também é camada estrutural do pavimento;
- Sub-base: a função das sub-bases sob placas de concreto é, em síntese, o de uniformizar e aumentar o suporte disponível, bloquear as pressões que possam ocorrer por força da variabilidade volumétrica do solo do subleito e, mais importante, evitar a ocorrência do bombeamento – esta, causa primordial da ruína da maior parte dos antigos pavimentos de concreto (PITTA, 1998b).

Os pavimentos de concreto de cimento Portland são pavimentos rígidos. Então, quando comparados com os pavimentos flexíveis (pavimentos de concreto asfáltico) apresentam maiores módulos de elasticidade e a transferência de esforços para o subleito é praticamente inexistente, pois são absorvidos pelas placas de concreto.

2.2.2 Tipos de pavimento de concreto

Os tipos de pavimentos de concreto mais utilizados são os de concreto simples, de concreto armado, de concreto protendido, de concreto pré-moldado, os pavimentos com armadura contínua, o *whitetopping* e o *whitetopping* ultradelgado. Cada um deles será discutido a seguir.

2.2.2.1 Pavimento de concreto simples (PCS):

É aquele constituído por placas de concreto de cimento Portland, não armadas ou eventualmente com armadura sem função estrutural, que desempenham simultaneamente as funções de base e revestimento (DNIT, 2004e).

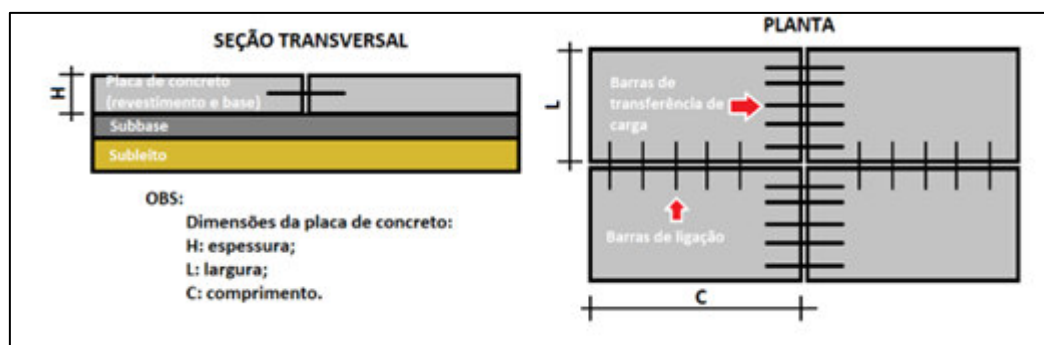
As placas são delimitadas pelas juntas de retração transversais e longitudinais, executadas por serragem logo após a moldagem do concreto.

O comprimento das placas (distância entre as juntas transversais) comumente utilizado neste tipo de pavimento é em torno de 4,5m a 6,0m (BALBO, 2009).

Barras de aço podem ou não ser previstas nestas juntas. As Barras de transferência de carga, localizadas nas juntas transversais, tem a função de transferir parte dos esforços para a placa subsequente, fazendo que placas sucessivas trabalhem solidariamente naquela região. Já

as barras de ligação, localizadas nas juntas longitudinais, tem a função de evitar o deslocamento horizontal relativo entre placas lateralmente dispostas, que ocorre pelo engastamento da armadura em ambas as placas de concreto (BALBO, 2009).

Figura 2 – Pavimento de concreto simples



Fonte: Produção do próprio autor.

2.2.2.2 Pavimento de concreto armado (PCA):

Neste pavimento, estão presentes armaduras nas placas de concreto com função estrutural que resistem aos esforços de tração.

As armaduras permitem que o comprimento das placas de concreto seja bem maior que nos pavimento de concreto simples. Segundo Balbo (2009), são de 2 a 3 vezes maiores. Consequentemente, exigem uma menor quantidade de barras de transferência e barras de ligação na sua construção.

2.2.2.3 Pavimento de concreto com armadura contínua (PCAC):

Consiste da utilização de armadura posicionada acima da linha neutra da seção do pavimento com a finalidade de inibir a propagação de fissuras oriundas da retração. Dessa forma, as únicas juntas existentes nestes pavimentos são as construtivas, definidas ao final de cada concretagem.

2.2.2.4 Pavimento de concreto protendido (PCPRO):

Consiste da utilização de placas de concreto protendido na construção do pavimento, em conjunto ou não com armaduras convencionais. São muito utilizados na construção de pavimentos de aeroportos e pisos industriais, sujeitos ao tráfego pesado.

De acordo com Balbo (2009), esses pavimentos permitem a execução de grandes placas de concreto sem necessidade de juntas, inclusive com o emprego de placas de espessura bastante inferior em relação aos pavimentos de concreto simples.

2.2.2.5 Pavimento de concreto pré-moldado (PCPM):

Consiste da utilização de placas previamente fabricadas e transportadas ao local de aplicação. A técnica pode ser empregada tanto na construção de novos pavimentos como também na manutenção de pavimentos existentes, com a substituição de placas danificadas.

De acordo com Balbo (2009), embora não se trate de método mais barato que a moldagem convencional em pista, as placas pré-moldadas apresentam diversas vantagens, dentre elas, a perfeita elaboração, nas medidas requeridas e nas mais favoráveis condições de cura, o que evita, de imediato, o surgimento de defeitos por processos de retração no concreto.

Tendo em vista a necessidade de transporte, as placas devem ser armadas. Dependendo da necessidade, também podem ser protendidas.

2.2.2.6 Whitetopping (WT):

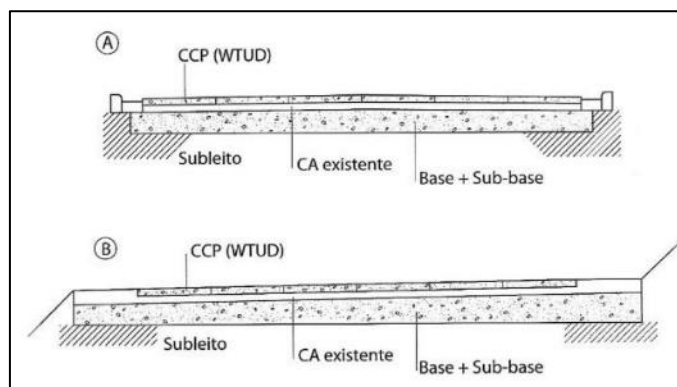
O *whitetopping*, ou “cobertura branca”, consiste da aplicação de uma nova camada de revestimento com concreto de cimento Portland sobre o pavimento existente, normalmente com espessuras superiores a 100mm.

De acordo com Balbo (2009), o WT pode ser executado como pavimento de concreto simples, armado, protendido, pré-moldado ou com armadura contínua.

2.2.2.7 Whitetopping ultradelgado (WTUD):

Segundo Balbo (2009), WTUD se refere à camada delgada de concreto (não superiores a 100mm) 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. A moldagem do concreto em pequena espessura sobre o revestimento asfáltico preexistente poderá ser executada no sistema sobreposto e no sistema encaixado, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Whitetopping ultradelgado: moldagem sobreposta (A) e encaixada (B)



Fonte: Balbo (2009).

2.2.3 Breve histórico sobre os pavimentos de concreto

O uso do concreto na pavimentação teve início no final do século XIX, motivado pela invenção do automóvel, que ocorreu em 1886.

Sendo fortes adeptos aos pavimentos de concreto, os países europeus foram grandes colaboradores para o desenvolvimento da sua tecnologia, dentre eles destacamos as escolas Alemãs e Suíças.

Apesar disso, certa incerteza ainda paira no ar sobre onde foi construído o primeiro pavimento de concreto no mundo. Balbo (2009) cita que o primeiro pavimento de concreto que se tem registro foi construído na avenida *Main Street*, em Bellafontaine, Ohio, EUA, em 1891. Contudo, o mesmo autor relata: “*de certa forma, a dúvida continua a me perseguir, pois os europeus eram os usuários compulsivos do concreto, e não os americanos*”.

De qualquer forma, é indiscutível a grande contribuição que a Alemanha, Suíça e EUA deram para o desenvolvimento da tecnologia dos pavimentos de concreto em todo o mundo. Para se ter uma ideia, em 1999, segundo Balbo (2009), em termos percentuais de extensão de rodovias de concreto, os números da Associação Rodoviária Mundial apontavam que 20% se situavam nos EUA e 40% na Alemanha.

No que se refere aos pavimentos de concreto das rodovias alemãs na década de 1930, a Tabela 2 apresenta suas características comumente utilizadas, de acordo com Balbo (2009).

Tabela 2 – Algumas características dos pavimentos de concreto das rodovias Alemãs na década de 1930.

Item de construção	Especificações gerais
Base do pavimento	Em geral, construída com areia branca fina ou pedregulho bastante arenoso, com 20cm de espessura e compactados por impacto.
Espessura da placa	Espessuras de 20 ou 25cm, nas faixas de rolamento. Nos acostamentos, as placas possuíam 18cm de espessuras, recobertas em muitos casos com 7cm de mistura asfáltica, para dar contraste com a pista de rolamento.
Bordas espessadas	A espessura da placa era uniforme. Os alemães não utilizavam bordas espessadas nas placas de concreto, como era comum nos EUA naquele período.
Juntas transversais	Distanciadas a cada 8m nos pavimentos de concreto simples e a cada 12m a 30m nos pavimentos com tela de reforço.
Barras de transferência de carga	Em juntas transversais, com aço de seção circular de 22mm de diâmetro e 35cm de comprimento, espaçadas a cada 30cm.
Tela de aço	Malhas com cerca de 2,5 kg/m ² colocadas a 1/3 da espessura da placa.
Cimentos empregados	Preferencialmente, <i>Eisenportland zement</i> (70% de clínquer e 30% de escória granulada)

	ao <i>Hochofen zement</i> (15% de clínquer e 85% de escória granulada).
Consistência do concreto	Abatimento zero (seco)
Consumo de cimento	De 300 a 350 kg/m ³
Resistência à tração na flexão	Em média, 4,5 MPa
Resistência à compressão	Em média, 40 MPa
Relação água/cimento	De 0,35 a 0,50

Na Suíça, até 1964, haviam sido executados mais de 9 milhões de metros quadrados de estradas em concreto. Suas características eram relativamente semelhantes às da Alemanha, porém com um diferencial marcante: a utilização de bases cimentadas, aspecto no qual a tecnologia suíça avançou bastante (BALBO, 2009).

Já nos EUA, até 1925, haviam sido construídos cerca de 70 mil quilômetros de rodovias em concreto (Shüepp, 1966 *apud* Balbo, 2009).

Na década de 1920, o engenheiro dinamarquês Harald Malcam Westergaard, que em 1916 havia defendido na Universidade de Illinois a tese de doutorado *Tests and Analysis relating to the strength and elasticity of concrete and reinforced concrete under bi-axial stress*, propôs modelos analíticos para o cálculo de tensões e deflexões em placas de concreto oriundas dos carregamentos de veículos e de diferenciais térmicos, que se tornariam padrão em todo o planeta. Assim, a escola americana viria a se diferenciar das europeias pela formulação teórica e pela experimentação com instrumentação em pista para medidas de deformação (BALBO, 2009).

Outra diferença da escola americana em relação à escola europeia foi o avanço no emprego de pavimentos de concreto simples (sem uso de armaduras) e pavimentos de concreto continuamente armados (sem juntas além das construtivas). No início dos anos 1990, liderou a utilização do *whitetopping* (reforço em pavimentos asfálticos), a reciclagem dos pavimentos de concreto de concreto antigos e, na virada do século, o desenvolvimento de tecnologia de placas de concreto pré-fabricadas para a reposição de antigos pavimentos deteriorados. Em paralelo às obras do Império Romano, pode-se reconhecer nos EUA a grande escola do rodoviarismo internacional (BALBO, 2009).

2.2.3.1 Estradas no Brasil com pavimentos de concreto

No Brasil, a pavimentação asfáltica ainda é a mais tradicional e difundida desde os anos 1950. A extensão de estradas e rodovias pavimentadas em concreto, até 2009, não ultrapassava os dois mil quilômetros (BALBO, 2009).

A primeira estrada pavimentada com concreto no Brasil e na América Latina foi o trecho de serra da Estrada Velha de Santos ou Caminho do Mar, entre 1925 e 1926 (ABCP, 2009).

Figura 4 – Caminho do Mar: Primeira estrada pavimentada com concreto na América Latina, entre 1925 e 1926.



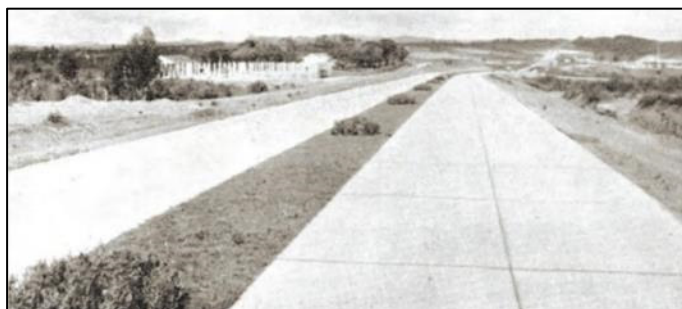
Fonte: ABCP, 2009

Em 1929, era iniciado o revestimento de concreto de Cimento Portland das estradas Rio-Petrópolis e Rio-São Paulo. Na primeira, foram pavimentados 50km de extensão com 8m de largura. Já a Rio-São Paulo, com 8m de largura recebeu a extensão de 7km (PREGO, 2001).

Em 1938, é iniciada a construção da rodovia BR-232/PE em Pavimento de Concreto Simples (PCS), entre Recife e Caruaru, com aproximadamente 120 quilômetros. Já em 2002, sua duplicação também foi executada em PCS com 22cm de espessura de placa de concreto sobre 10cm de sub-base de Concreto Compactado a Rolo – CCR (BALBO, 2009).

Em 1939, é iniciada a construção em concreto da Via Anchieta, ligando São Paulo à Baixada Santista, com pistas duplas de 6m de largura cada uma, totalizando 62 km de extensão. O pavimento seguiu o padrão alemão com placas de 20cm sobre camada de areia compactada (BALBO, 2009).

Figura 5 –Via Anchieta/SP, em 1944.



Fonte: ABCP, 2009

A Tabela 3 diversos pavimentos rodoviários construídos no Brasil entre os anos de 1926 e 1949, de acordo com Prego (2001).

Tabela 3 – Pavimentos rodoviários construídos em concreto entre os anos de 1926 e 1949.

Descrição	Área pavimentada (m²)
DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem	
Estrada Rio - Petrópolis (RJ)	400.000
Estrada Rio - São Paulo (RJ)	56.000
Estrada Itaipava - Teresópolis (RJ)	192.000
Subtotal:	648.000
DAER - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do Estado do Rio Grande do Sul	
Estrada Canoas - São Leopoldo	71.280
Estrada Ponte Cachoeirinha - Gravataí	43.230
Estrada São Borja - Rio Uruguai	30.000
Estrada Pelotas - Retiro	45.600
Subtotal:	190.110

Prefeitura do Distrito Federal (PDF)	
Avenida Brasil (3 trechos)	67.550
Avenida Tijuca	42.120
Estrada da Gávea (entre estrada Santa Marina e Av. Niemeyer)	26.336
Estrada da Gávea (entre Praça de São Conrado e o Alto de Joá)	18.200
Subtotal:	154.206
Departamento de Estradas de Rodagem de São Paulo (DER/SP)	
Estrada do Mar	42.000
Via Anchieta	26.028
Subtotal:	68.028
Diretoria de Estradas de Rodagem do Estado da Bahia	
Estrada Santo Amaro – Tanque Senzala	36.700
Estrada Salvador – Feira de Santana	30.000
Subtotal:	66.700
Diretoria de Viação e Obras Públicas do Estado de Pernambuco	
Estrada Recife – Jaboatão	39.650
Prefeitura Municipal de Pelotas (RS)	
Estrada Pelotas - Guaíba	34.020
Prefeitura Municipal de São Paulo	
Auto Estrada (Aeroporto de Congonhas – rua Mangueiras)	19.200
Estrada de São Miguel	4.320
Subtotal:	6.920 (p/pavim. Urbana)
Diretoria de Viação e Obras Públicas do Estado do Ceará	
Estrada Fortaleza - Porongaba	24.000
Prefeitura de Porto Alegre (RS)	
Estrada passo da Areia	6.686
Estrada da Pedreira	5.484

Subtotal:	12.170
Departamento de Portos, Rio e Canais	
Ligação Santa Vitória - Porto (Santa Vitória do Palmar, Est. Do Palmar, Est. Do Rio Grande do Sul	30.270

Fonte: (PREGO, 2001)

Na década de 1950 foi construído na Via Dutra, trecho de saída da cidade do Rio de Janeiro, 60 km de PCS com 20cm de espessura sobre sub-base de macadame hidráulico. (BALBO, 2009). A construção da rodovia Presidente Dutra foi a obra que marcou a história da técnica da pavimentação na construção de rodovias no país (ABCP, 2009).

Outras importantes obras, citadas por Balbo (2009), foram construídas pelo país em pavimento de concreto entre as décadas de 1970 e 1990:

- Em 1973, a rodovia de ligação entre a Via Anchieta e a rodovia dos Imigrantes foi construída em PCS, na cabeceira da Serra do Mar, com 22cm de espessura de placa sobre sub-base de brita graduada tratada com cimento – BGTC;
- Em 1974, a rodovia dos Imigrantes foi aberta ao tráfego. Cerca de 13 quilômetros foram construídos em PCS no trecho na Serra do Mar. O pavimento era composto por placas de concreto com 22cm de espessura sobre sub-bases de BGTC na maior parte do trecho;
- Em 1986, cerca de 7 quilômetros da rodovia da Serra do Rio de Rastro, trecho de Criciúma à São Joaquim, em Santa Catarina, foram executados em PCS, com espessuras de placas de 20cm e CCR de 10cm;
- Em 2002, iniciou-se no Mato Grosso a pavimentação da rodovia MT-130, trecho entre Primavera do Leste e Paranatinga. Foram executados 110km em PCS com sub-base de solo cimento;
- Também no ano de 2002, entrou em operação o Rodoanel Metropolitano Mário Covas, construído em PCS com 24cm de espessura de placa sobre 15cm de CCR e 10cm de BGS.

Já no ano de 2006, é iniciada a primeira etapa das obras de adequação de capacidade do corredor Nordeste da rodovia BR-101 nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. A nova pista construída na duplicação foi de PCS, em sua maioria com 22cm de

espessura sobre 10cm de CCR. Já no ano de 2011 foram iniciadas a segunda etapa das obras, abrangendo os estados de Alagoas, Sergipe e Bahia. Tais obras se encontram em fase de conclusão no ano de 2022.

Por fim, concluída a definição, tipos e histórico dos pavimentos de concreto de cimento Portland, abordaremos a seguir sua durabilidade, apontando alguns fatores ambientais que podem influenciar na sua deterioração e os seus principais defeitos observados. Será explanado ainda o Índice de Condição do Pavimento (ICP) que é o parâmetro de desempenho adotado nesta pesquisa.

2.3 Durabilidade dos pavimentos de concreto de cimento Portland

2.3.1 Definição

Uma obra de engenharia deve resistir a diversas agressões ou solicitações (físicas, mecânicas, químicas) ao longo do tempo, isto é, às cargas às quais está submetida e as ações diversas como vento, chuva, frio, calor, e outras variações do ambiente, conservando sua estética e satisfazendo os requisitos dos usuários (OLLIVIER & VICHOT, 2014).

Nos pavimentos de concreto isso não é diferente. Busca-se a construção de pavimentos com a maior vida longa possível. Para isso, os pavimentos devem resistir às agressões ambientais (chuvas, ventos, gelo-degelo, etc) e aos esforços oriundos do tráfego, mantendo a condição do rolamento em níveis satisfatórios de conforto e segurança.

Já com o foco nos materiais, Mehta & Monteiro (2014) definem durabilidade como a vida útil de um material sob determinadas condições ambientais.

Os principais fatores causadores da degradação de um pavimento rígido, segundo DNIT (2010), são:

- Deficiência da capacidade de suporte da fundação;
- Drenagem mal projetada ou mal executada;
- Excesso de carga dos veículos comerciais;
- Execução deficiente ou falta de manutenção do material selante das juntas.

2.3.2 Fatores ambientais

O ambiente no qual o pavimento está inserido também é um fator influenciador na sua durabilidade. Chuvas, ventos, variações térmicas, radiação solar podem reduzir a vida útil de uma obra, a depender de sua intensidade e frequência.

Dentre esses fatores naturais, detalhemos um pouco mais a pluviosidade e a radiação solar.

2.3.2.1 Pluviosidade

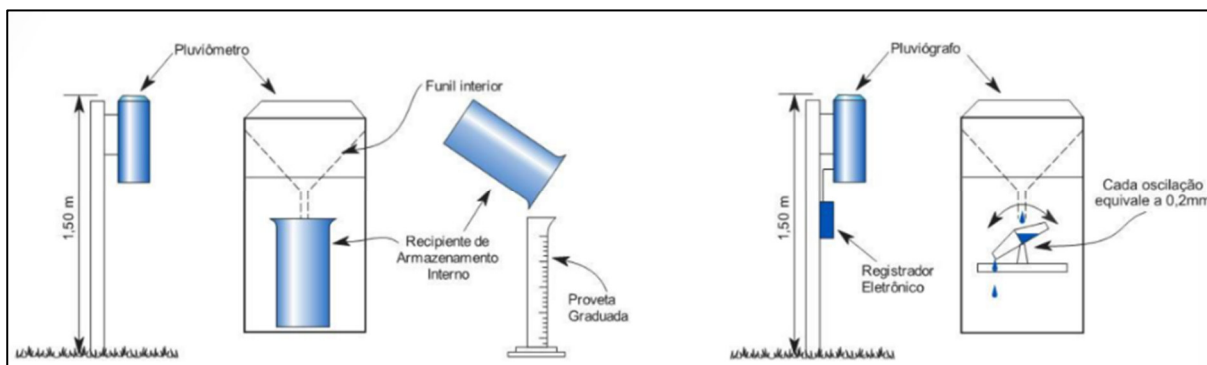
De acordo com ROLIM (2004), a ocorrência de precipitação está geralmente relacionada à ascensão de ar úmido, após o qual se dá o processo de condensação sobre os núcleos e de crescimento das gotas. Mas há diferentes mecanismos agindo no sentido de causar a referida ascensão do ar úmido e, conforme o tipo de mecanismo, as precipitações são classificadas em:

- Convectivas: a ascensão do ar úmido e quente é decorrente de uma elevação excessiva de temperatura. Como o ar quente é menos denso, ocorre uma brusca ascensão desse ar que, ao subir, sofre um resfriamento rápido, gerando precipitações intensas com pequena duração, cobrindo pequenas áreas;
- Orográficas: a ascensão do ar quente e úmido, proveniente do oceano, ocorre devido a obstáculos orográficos, como montanhas e serras. Ao subir, ocorre o resfriamento e em seguida a precipitação. São caracterizadas por serem de pequena intensidade, mas longa duração, cobrindo pequenas áreas;
- Frontais: a ascensão do ar decorre do “encontro” entre massas de ar frias e quentes. Como resultado, o ar mais quente e úmido sofre ascensão, resfria-se e ocorre a precipitação, caracterizada por longa duração e intensidade média, cobrindo grandes áreas.

2.3.2.1.1 Medições das precipitações:

Os instrumentos comumente utilizados para medição da precipitação são os pluviômetros e os pluviógrafos (ou pluviômetros automáticos), ilustrados na Figura 6.

Figura 6 – Características de um pluviômetro de leitura manual (esq.) e de um pluviógrafo (dir.).



Fonte: COLLISCHONN & DORNELES (2015).

Os pluviômetros são constituídos por um recipiente metálico dotado de funil com anel receptor, geralmente com uma proveta graduada para leitura direta da lâmina de água precipitada. Esse instrumento armazena a água da chuva e, fazendo-se a leitura da proveta, tem-se a lâmina precipitada (P). Normalmente, a leitura é feita diariamente (Rolim ,2004).

Já os pluviógrafos ou pluviômetros automáticos são equipamentos que registram os dados medidos em intervalos de tempo inferiores a um dia. Assim, eles permitem analisar detalhadamente os eventos de chuva e sua variação ao longo do dia, o que se configura como sua principal vantagem diante do pluviômetro manual (Collischonn & Dorneles, 2015).

2.3.2.1.2 Métodos para determinação das precipitações médias sobre uma área

Os dados de chuva dos pluviômetros e pluviógrafos se referem a uma área de coleta de 400cm². Com a área de uma bacia hidrográfica, esta é uma estimativa pontual da chuva. Por outro lado, o maior interesse da hidrologia é por chuvas médias que atingem uma região (Collischonn & Dorneles, 2015).

A determinação da precipitação média em uma área pode ser realizada utilizando os seguintes métodos de cálculo (Collischonn & Dorneles, 2015):

- Método da média aritmética: é o método mais simples e também o mais sujeito a erros. Se calcula a média das chuvas ocorridas em todos os pluviômetros localizados no interior de uma bacia;

- Método dos polígonos de Thiessen: O método de Thiessen, ou do vizinho mais próximo, está baseado na hipótese que a chuva que atinge um ponto qualquer dentro de uma

bacia é exatamente igual à chuva que atinge o pluviômetro mais próximo. Assim, pelo critério da menor distância é definida a área de influência de cada posto, e a precipitação média da bacia é calculada por uma média ponderada da precipitação nas áreas de influência.

- Método das isoietas: o método parte de um mapa de isoietas e calcula a área da bacia que corresponde ao intervalo entre as isoietas. Assim, considera-se que a área entre as isoietas de 1200 e 1300 mm receba 1250 mm de chuva. Em todo o resto, ele é semelhante ao método de Thiessen.

- Método da interpolação ponderada pela distância: a chuva média em uma bacia hidrográfica pode ser calculada facilmente em um computador se a bacia for dividida em um grande número de células quadradas. A partir daí é possível fazer uma estimativa de chuva para cada uma das células localizadas internamente a uma bacia, por método de interpolação espacial, e a média dos valores de precipitação de todas as células localizadas dentro da bacia corresponde à chuva média na bacia.

2.3.2.2 *Radiação solar*

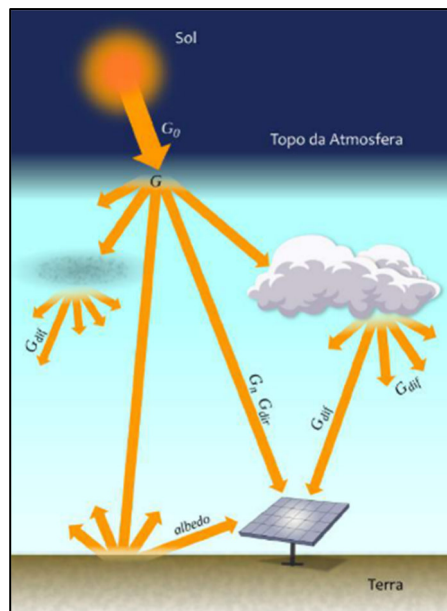
Segundo Pereira et. al (2017), a irradiância solar (w/m^2) que incide sobre uma superfície é composta por suas componentes direta e difusa. A direta apresenta direção de incidência na linha imaginária entre a superfície do sol e representa a parcela que não sofreu os processos radiativos de absorção e espalhamento que ocorrem na atmosfera. Já a componente difusa se refere a radiação proveniente de todas as demais direções que são decorrentes dos processos de espalhamento pelos gases e particulados presentes na atmosfera.

O atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et.al, 2017) adota a seguinte terminologia para a irradiância solar, ilustradas na Figura 7:

- Irradiância extraterrestre (G_0): é a taxa de energia incidente por unidade de área em um plano horizontal imaginário situado no topo da atmosfera.
- Irradiância direta normal (G_n): é a taxa de energia por unidade de área proveniente diretamente do sol que incide perpendicularmente à superfície.
- Irradiância difusa horizontal (G_{dif}): é a taxa de energia incidente sobre uma superfície horizontal por unidade de área, decorrente do espalhamento do feixe solar direto pelos constituintes atmosféricos (moléculas, material particulado, nuvens, etc).

- Irradiância direta horizontal (G_{dir}): é a taxa de energia por unidade de área do feixe solar direto numa superfície horizontal. Pode ser determinada como o produto entre a irradiância direta normal e o cosseno do ângulo zenital solar.
- Irradiância global horizontal (G): é a taxa de energia total por unidade de área incidente numa superfície horizontal. A irradiância global é dada pela soma $G = G_{dif} + G_{dir}$.
- Irradiância no plano inclinado (G_i): é a taxa de energia total por unidade de área incidente sobre um plano inclinado na latitude do local em relação à superfície da terra.

Figura 7 – Componentes da radiação solar.



Fonte: Pereira et. al (2017)

2.3.3 Principais defeitos dos pavimentos de concreto

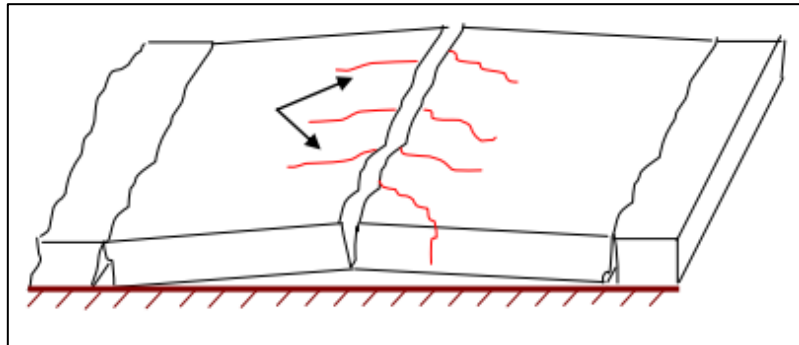
Um defeito em um pavimento rígido pode ser definido, segundo DNIT (2004a), como uma anomalia observada no pavimento, decorrentes de problemas na fundação, de má execução ou do uso do pavimento.

De acordo com DNIT (2010), os defeitos mais comuns nos pavimentos rígidos estão normalmente associados ao emprego de técnicas executivas e materiais inadequados, aliados à ausência de uma manutenção rotineira requerida por esse tipo de estrutura.

Os defeitos mais comumente observados nos pavimentos de concreto são:

- a) Alçamento de placas: desnivelamento das placas nas juntas ou fissuras transversais e, eventualmente, na proximidade de canaletas de drenagem e obstáculos fixos, tais como encontros de ponte, fundações de prédios ou intervenções feitas no pavimento (DNIT, 2004b).

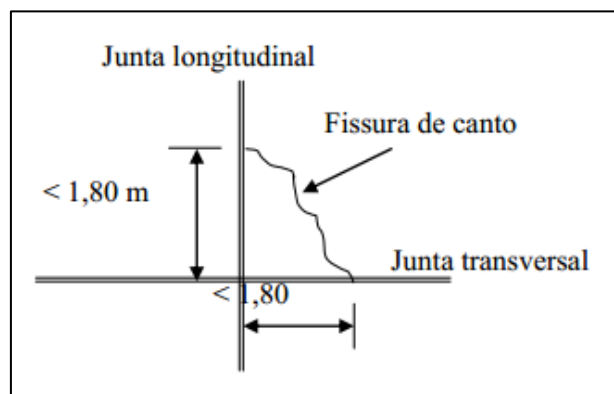
Figura 8 – alçamento de placas



Fonte: DNIT (2010).

- b) Fissura de canto: é a fissura que intercepta as juntas a uma distância de, no máximo 1,80m das bordas ou juntas do pavimento (longitudinal e transversal), medindo-se a partir de seu canto (DNIT, 2010). Está associada ao vencimento da resistência por fadiga do concreto na região ou à espessura insuficiente de placa em relação ao tráfego real (BALBO, 2009).

Figura 9 – Fissura de canto



Fonte: DNIT (2010).

- c) Placa dividida: é a placa que apresenta fissuras dividindo-a em quatro ou mais partes (DNIT, 2004b). Normalmente está associado à evolução de outros defeitos previamente existentes como fissuras lineares.

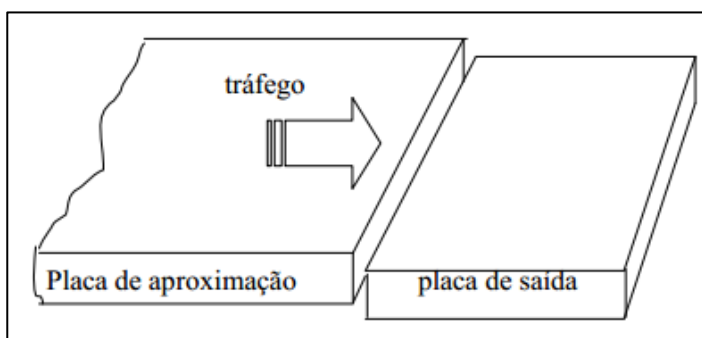
Figura 10 – Placa dividida



Fonte: Produção do próprio autor.

- d) Escalonamento ou degrau nas juntas: defeito em que duas placas sucessivas não estão niveladas nas juntas, o que causa um degrau, bastante inconveniente ao rolamento dos veículos. Normalmente está associado a perda de suporte da placa ou recalque diferencial entre duas placas (BALBO, 2009).

Figura 11 – Escalonamento ou degrau nas juntas



Fonte: DNIT (2010).

- e) Falha na selagem das juntas: é qualquer avaria no material selante que possibilite o acúmulo de material incompressível na junta ou que permita a infiltração de água. As principais falhas observadas no material selante são: rompimento, por tração ou compressão; extrusão do material; crescimento de vegetação; endurecimento do material; perda de aderência às placas de concreto; quantidade deficiente de selante nas juntas (DNIT, 2004b).
- f) Desnível entre pavimento e acostamento: É o degrau formado entre o acostamento e a borda do pavimento, geralmente acompanhado de uma separação dessas bordas (DNIT, 2010). Geralmente ocorre por falha na construção, na execução do nivelamento entre o pavimento e o acostamento, ou ainda, por perda de material de suporte do acostamento ou do pavimento por bombeamento de finos.

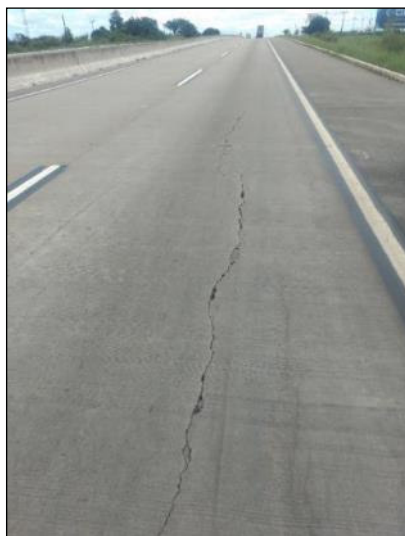
Figura 12 – Desnível entre acostamento e pista



Fonte: Produção do próprio autor.

- g) Fissuras lineares: São fissuras que atingem toda a espessura da placa de concreto, dividindo-a em duas ou três partes. Quando a fissura divide a placa em quatro ou mais partes, o defeito é denominado “placa dividida” (DNIT, 2010).

Figura 13 – Fissura linear longitudinal.



Fonte: Produção do próprio autor.

- h) Grandes reparos: De acordo com DNIT (2004a), refere-se a uma área do pavimento original maior que $0,45\text{m}^2$, que foi removida e posteriormente preenchida com um material de enchimento.
- i) Pequenos reparos: Segundo a DNIT (2004a), refere-se a uma área do pavimento original menor ou igual a $0,45\text{m}^2$, que foi removida e posteriormente preenchida com um material de enchimento.
- j) Desgaste superficial: Caracteriza-se pelo descolamento de argamassa superficial, fazendo com que os agregados graúdos aflorem na superfície do pavimento e, com o tempo fiquem com sua superfície polida (DNIT, 2010).
- k) Bombeamento: Consiste na expulsão de finos plásticos existentes no solo de fundação do pavimento, através das juntas, bordas ou trincas, quando da passagem das cargas solicitantes. Os finos bombeados têm a forma de uma lama fluida, sendo identificados pela presença de manchas terrosas ao longo das juntas, bordas ou trincas (DNIT, 2004b).

Figura 14 – Bombeamentos de finos na junta entre a pista e o acostamento.



Fonte: Produção do próprio autor.

- l) Quebras localizadas: De acordo com o DNIT (2010), são áreas das placas que se mostram trincadas e partidas, em pequenos pedaços, tendo formas variadas, situando-se geralmente entre uma trinca e uma junta ou entre duas trincas próximas entre si (em torno de 1,5m).
- m) Passagens de nível: são defeitos que ocorrem em passagens de nível, consistindo de depressões, ou elevações próximas aos trilhos (DNIT, 2004b).
- n) Rendilhamento e escamação: o rendilhamento consiste de fissuras superficiais capilares, que ocorrem apenas na superfície da placa, tendo profundidade entre 6mm e 13mm, que apresentam tendência a se interceptarem, formando ângulos de 120° (DNIT, 2010). A escamação caracteriza-se pelo descolamento da camada superficial fissurada, podendo, no entanto, ser proveniente de outros defeitos, tais como o desgaste superficial (DNIT, 2010)).
- o) Fissuras de retração plástica: Trata-se de fissuras finas, pequenas e interligadas entre si sobre a superfície da placa de concreto. Ocorrem por falhas de construção (BALBO, 2009).
- p) Quebra de canto: são quebras que aparecem nos cantos das placas, tendo forma de cunha, que ocorrem em uma distância não superior a 60cm do canto. Este defeito difere da fissura de canto pelo fato de interceptar a junta num determinado

ângulo (quebra em cunha), ao passo que a fissura de canto ocorre verticalmente em toda a espessura da placa (DNIT, 2004b).

Figura 15 – Quebra de canto.



Fonte: Produção do próprio autor.

- q) Esborcinamento de juntas: Se caracteriza pela quebra das bordas da placa de concreto (quebra em cunha) nas juntas, com o comprimento máximo de 60cm, não atingido toda a espessura da placa (DNIT, 2010). É um defeito ligado à ação do tráfego nas proximidades das juntas, mais comum quando há problemas de serragem ainda verde, causa de pequenas quebras que tendem a progredir com o tempo. Também por excesso de argamassa no local ou pela ausência de agregados resistentes nessas regiões da placa (BALBO, 2009).

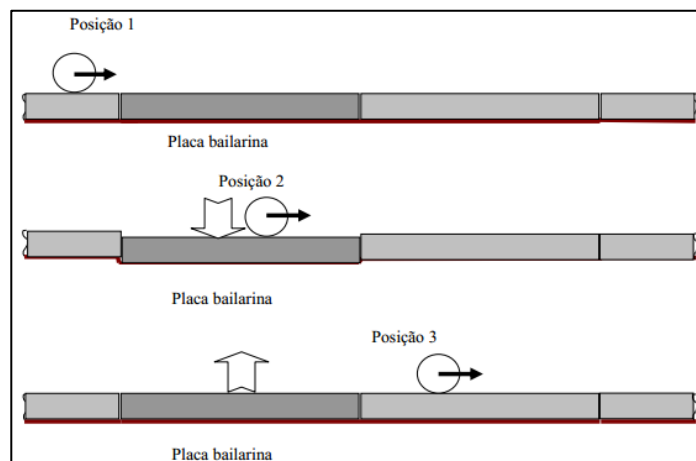
Figura 16 – Esborcinamento de junta



Fonte: Produção do próprio autor.

- r) Placa bailarina: De acordo com o DNIT (2010), é a placa cuja movimentação vertical é visível sob a ação do tráfego, principalmente na região das juntas, conforme ilustrado na Figura 17.

Figura 17 – Placa bailarina.



Fonte: DNIT (2010)

- s) Assentamento: Caracteriza-se pelo afundamento do pavimento, criando ondulações superficiais de grande extensão, podendo ocorrer que o pavimento permaneça íntegro (DNIT, 2004b).
- t) Buracos: são reentrâncias côncavas observadas na superfície da placa, caracterizadas pela perda de concreto no local, apresentando área e profundidade bem definidas (DNIT, 2004b).

Figura 18 – buraco no pavimento.



Fonte: Produção do próprio autor.

2.3.4 O Índice de Condição do Pavimento - ICP

O Índice de Condição do Pavimento (ou *PCI – Pavement Condition Index*) trata-se de uma metodologia desenvolvida pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano (SHAHIN & KOHN, 1979). É amplamente empregado nos EUA para a avaliação e determinação de padrões de restauração e manutenção de pavimentos, por mais de duas décadas (BALBO, 2009). É reconhecido como índice padrão da norma ASTM D6433-18, que define o procedimento padrão para pesquisas do índice de condição do pavimento de rodovias e estacionamentos.

O ICP é definido a partir do levantamento dos defeitos do pavimento e do grau de severidade destes defeitos, identificados em inspeção visual. A metodologia pode ser empregada tanto para pavimentos flexíveis como para pavimentos rígidos.

No Brasil, para a determinação do ICP de pavimentos rígidos, o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) oferece as seguintes normas:

- DNIT 060/2004 – PRO – Pavimento Rígido – inspeção visual – procedimento (DNIT, 2004a);
- DNIT 061/2004 – TER – Pavimento Rígido – defeitos – terminologia (DNIT, 2004b);
- DNIT 062/2004 – PRO – Pavimento Rígido – avaliação objetiva – procedimento (DNIT, 2004c).

O Índice da Condição do Pavimento, de acordo com a Norma DNIT 060/2004 – PRO (DNIT, 2004a), é a medida da condição estrutural do pavimento, capaz de fornecer ao engenheiro de pavimentação informações para a verificação das condições da rodovia e para o estabelecimento de política de manutenção, prevenção e de recuperação. De acordo com DNIT (2010), pavimentos com ICP igual ou superior a 70 não necessitam de um programa imediato de recuperação. Já aqueles com ICP inferior ou igual a 40 são considerados deficientes ou praticamente já destruídos. Os pavimentos com ICP entre 40 e 70 devem ser recuperados os defeitos mais graves de modo a elevar o ICP para um valor igual ou superior a 70.

A inspeção no pavimento rígido de identificação dos defeitos e do grau de severidade destes defeitos é composta das seguintes fases, segundo a norma DNIT 060/2004 – PRO (DNIT, 2004a):

- a) Definição dos trechos da rodovia;
- b) Determinação do tipo de inspeção;
- c) Levantamento dos defeitos visíveis;
- d) Catálogo dos dados coletados na inspeção.

Um trecho escolhido para a inspeção deverá ser dividido em partes denominadas amostras. Cada amostra será composta por 20 placas de concreto com, no máximo, nove metros de comprimento (DNIT 060/2004 – PRO) (DNIT, 2004a).

Com relação ao tipo de inspeção, pode-se realizar:

- Inspeção em todo o trecho: é bastante dispendiosa em relação a pessoal e tempo. Só é executada em rodovias de pequena extensão ou quando se tratar de estabelecimento de contrato de manutenção.
- Inspeção por amostragem: é realizada inspeção em um determinado número de amostra do trecho. O número mínimo de amostras é determinado pela Equação (13), onde n é o número mínimo de amostras, N é o total de amostras do trecho, e é o erro admissível e S é o desvio padrão. O número mínimo de amostras a serem inspecionadas em um trecho nunca deverá ser menor que cinco (DNIT 060/2004 – PRO) (DNIT, 2004a).

$$n = \frac{N \cdot S^2}{\frac{e^2 \cdot (N - 1)}{4} + S^2} \quad (13)$$

Pode-se verificar durante o levantamento a ocorrência de defeitos atípicos (defeitos pouco comuns no trecho). Nestes casos, quando um defeito atípico ocorrer em uma amostra selecionada, esta passará a ser classificada como “amostra adicional”. Para cada amostra assim, será escolhida no trecho, aleatoriamente, uma nova amostra para ser inspecionada.

No levantamento dos defeitos visíveis, cada defeito deve ser identificado de acordo com a Norma DNIT 061/2004 – TER e o grau de severidade de cada defeito definido de acordo com a norma (DNIT 060/2004 – PRO).

De posse dos levantamentos, é feito o cálculo do ICP de cada amostra inspecionada. Uma amostra sem nenhum defeito visível terá um Índice de Condição de Pavimento de 100. Para amostras defeituosas, subtrai-se desse valor um somatório de “valores deduzíveis” (CVD), que é uma função dos tipos dos graus de severidade e das densidades de defeitos das placas defeituosas visíveis, registradas na ficha de inspeção da amostra. Contudo, antes desse valor ser subtraído, ele deve ser corrigido (VDC), de acordo com o número de valores deduzíveis e sua influência na condição estrutural do pavimento (DNIT 062/2004 – PRO).

A determinação dos valores deduzíveis e a correção do seu somatório é feita com a utilização de curvas presentes na norma DNIT 062/2004 – PRO (DNIT, 2004c), apresentadas a seguir no item 2.3.4.1.

Por fim, em função do valor calculado do ICP de cada amostra, é atribuído um conceito a cada amostra e, ao final, ao trecho todo (Figura 19).

Figura 19 – Conceito da amostra ou trecho em função do ICP, de acordo com a Norma DNIT 062/2004 – PRO.

Conceito em função do ICP							
Excelente	Muito bom	Bom	Razoável	Ruim	Muito Ruim	Destruído	
100	85	70	55	40	25	10	0

Fonte: Produção do próprio autor.

O cálculo do ICP de todo o trecho analisado será determinado, no caso de não haver amostras adicionais, pela média aritmética dos valores dos ICPs de cada amostra. Caso existam

A Figura 20 apresenta um exemplo de ficha de inspeção e cálculo do ICP da amostra.

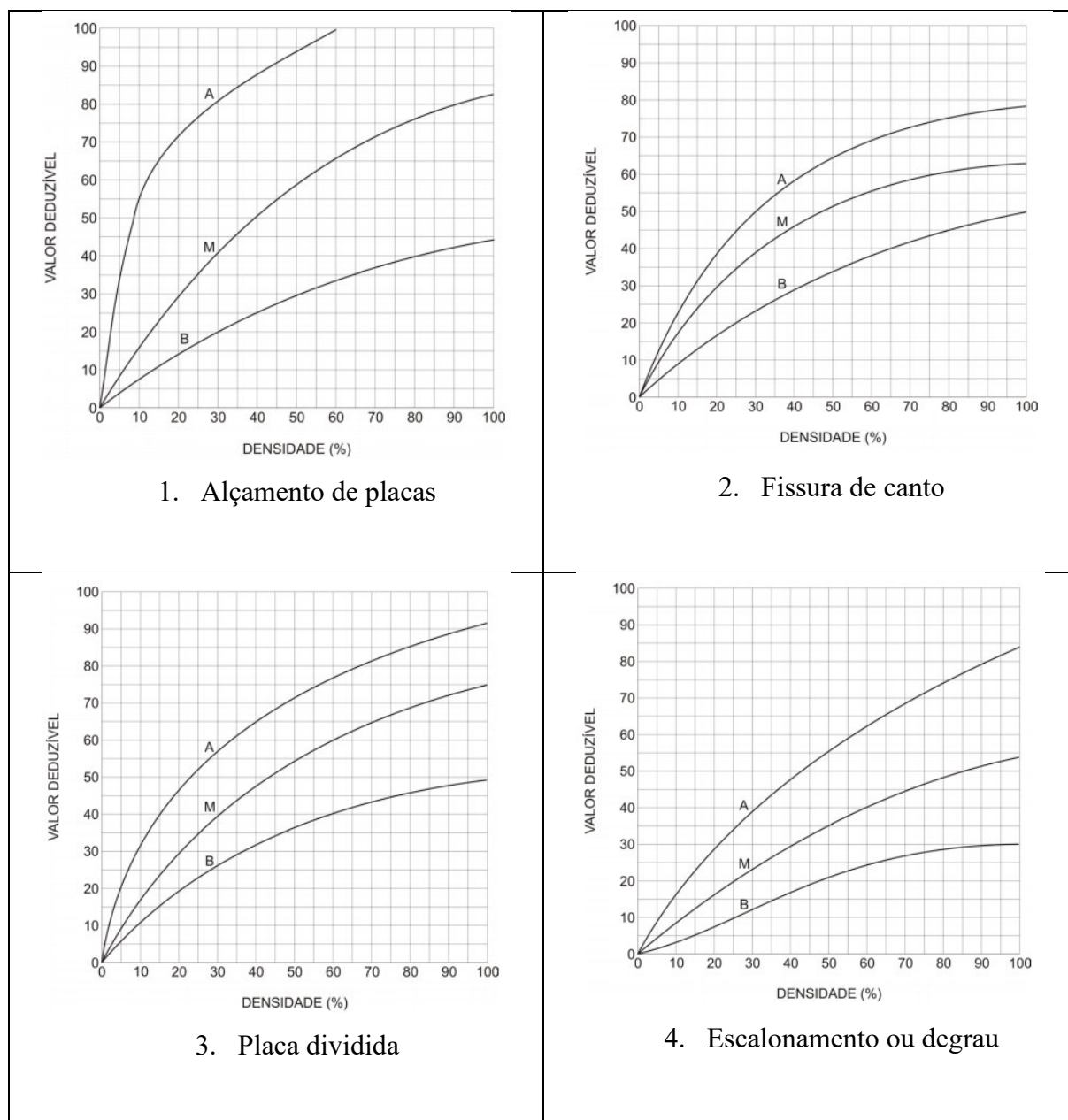
PAVIMENTO : RODOVIA SP - 41 TRECHO: _____ 1 (Km 20 - Km 22) DATA _____ 10 / 10 / 80					
AMOSTRA ADICIONAL ? (SIM) (NÃO) AMOSTRA Nº _____ MEDIDA / PLACA (m) _____ 3,8 X 6,0					
Nº PÁGINAS : _____ 3 Nº DE ANEXOS : _____ 4 CHEFE DA EQUIPE : _____ FAUSTO					
ASSINATURA DO ENGº RESPONSÁVEL : _____ J. C. F.					
				TIPOS DE DEFEITOS (VER DNIT 061/2004 - TER)	
10	10	15		1 . Alçamento de placas 2 . Fissura de canto 3 . Placa dividida 4 . Degrau de junta 5 . Defeito na selagem das juntas 6 . Desnível pavimento-acostamento 7 . Fissuras lineares 8 . Grandes reparos 9 . Pequenos reparos 10 . Desgaste superficial 11 . Bombeamento 12 . Quebras localizadas 13 . Passagem de nível 14 . Rendilhado e escamação 15 . Fissuras de retração plástica 16 . Quebra de canto 17 . Esborcinamento de juntas 18 . Placa bailarina	
7	1B 13 M 10	1 B 13 M		TIPOS DE DEFEITOS	GRAUS DE SEVERIDADE
				5	M
6	1B 13 M 2 A 10	1 B 13 M		10	
				11	
				15	
				1	B
5	11 2 B 10	11		2	B
				2	A
				13	M
4	2 B 10			18	B
3	2 A 10				
2	10	15		VALOR DEDUZÍVEL TOTAL	
				97	
1	18 B 10			VALOR DEDUZÍVEL CORRIGIDO (VDC)	
				48	
IPC = 100 - VDC = 52 CONCEITO RAZOÁVEL *					
1	2	3	4		

71

2.3.4.1 Curvas para determinação dos valores deduzíveis dos defeitos e do valor deduzível corrigido:

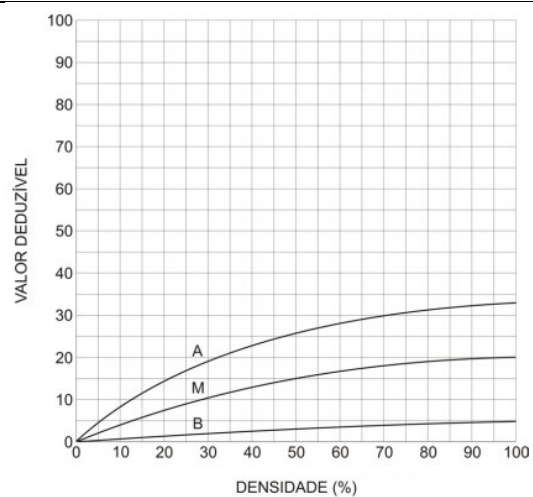
Para a determinação do valor deduzível de cada defeito a norma DNIT 062/2004 – PRO estabelece o uso das curvas indicadas na Figura 21, a partir do grau de severidade e da densidade do defeito na amostra (percentual de placas afetadas).

Figura 21 – Curvas para determinação dos valores deduzíveis dos defeitos.

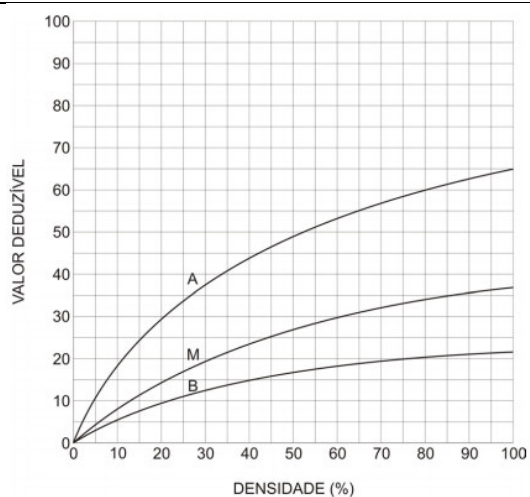


Grau de severidade	Valores deduzíveis
Baixo	2 pontos
Médio	4 pontos
Alto	8 pontos

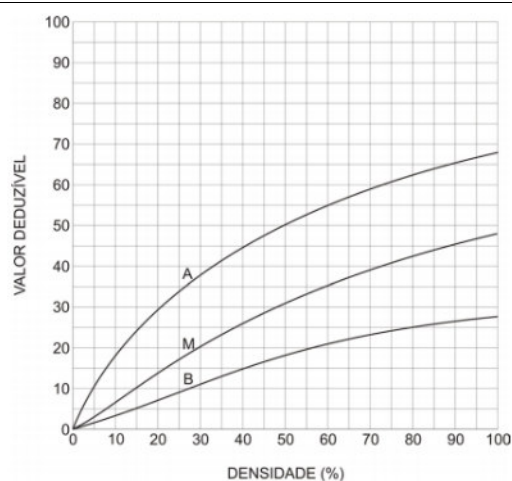
5. Defeito na selagem



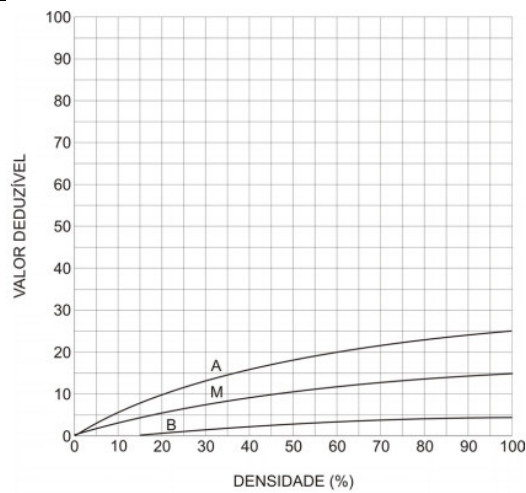
6. Desnível pavimento/acostamento



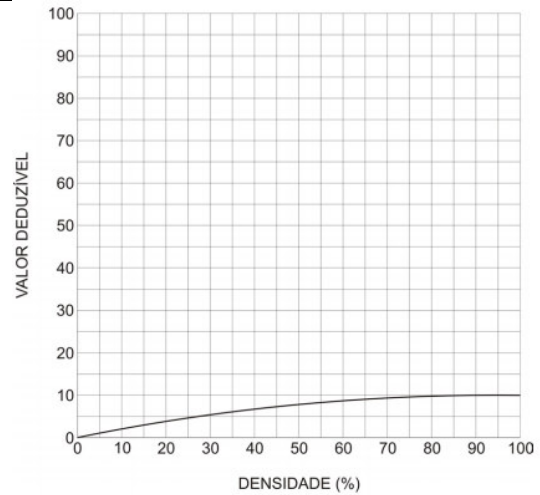
7. Fissuras lineares



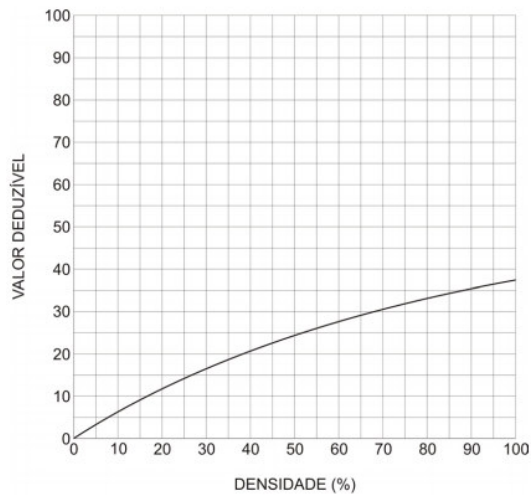
8. Grandes reparos ($> 0,45\text{m}^2$)



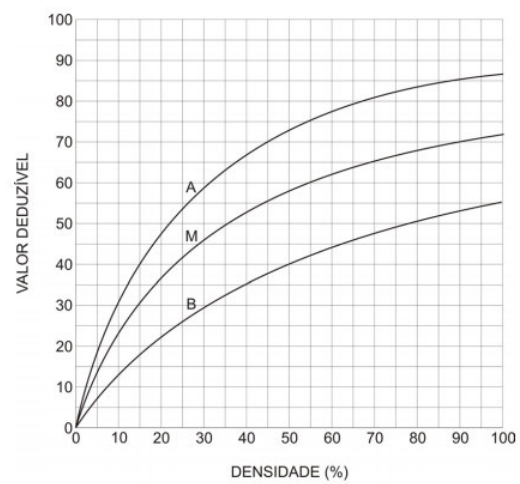
9. Pequenos reparos (< 0,45m²)



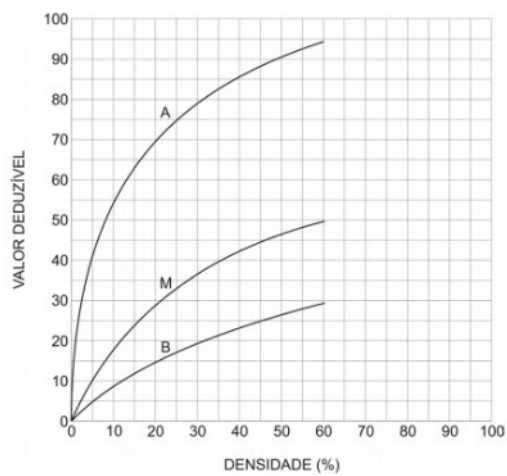
10. Desgaste superficial



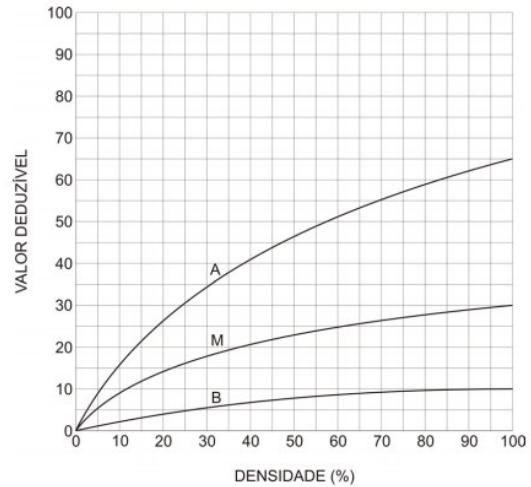
11. Bombeamento



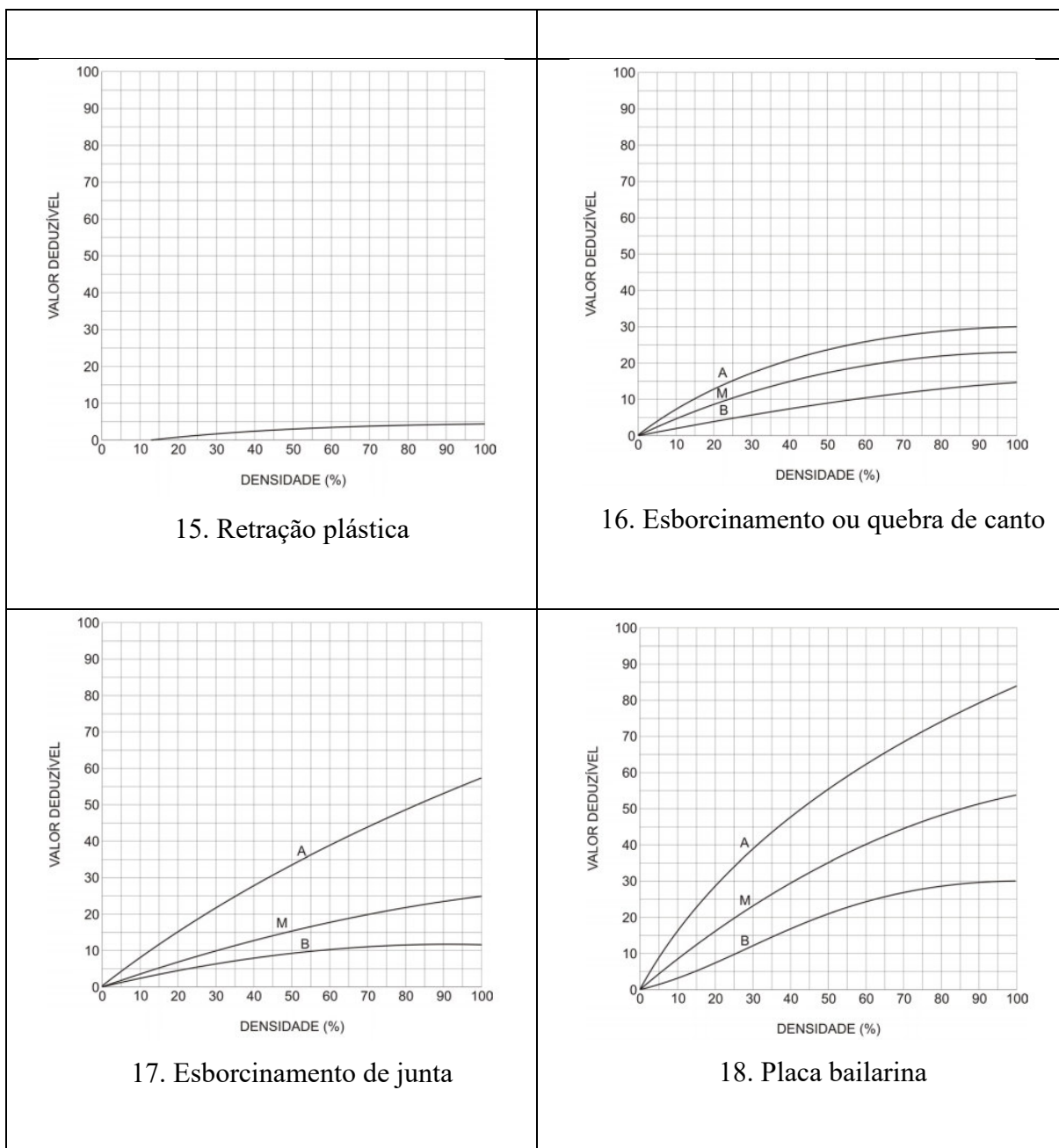
12. Quebras localizadas



13. Passagem de nível



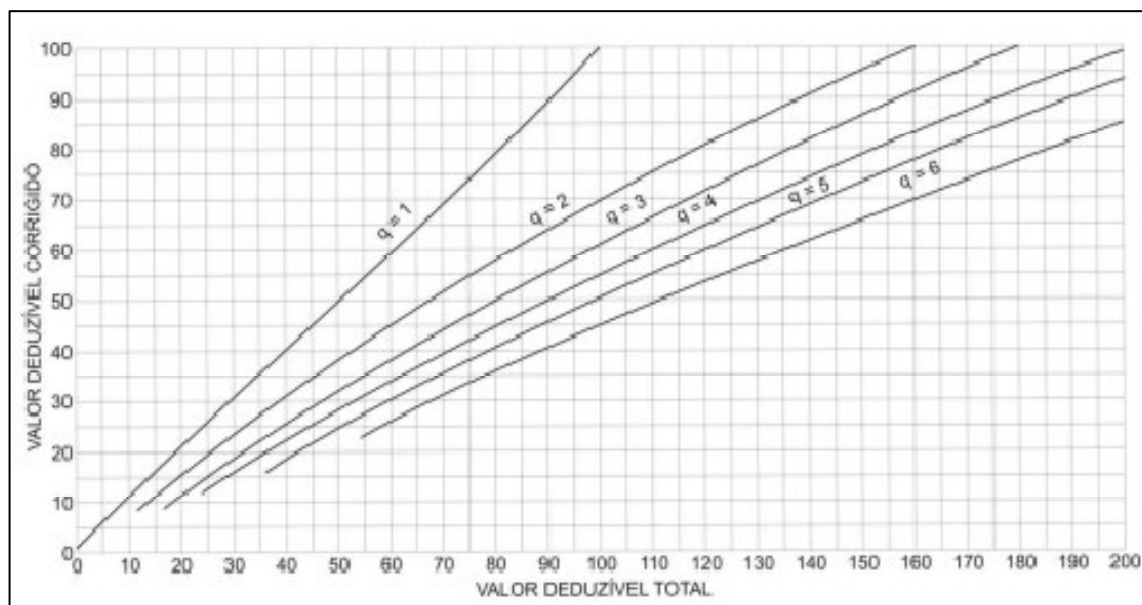
14. Rendilhamento e escamação



Fonte: CERL (1979) apud DNIT (2004c).

Já o valor deduzível corrigido é determinado a partir das curvas da Figura 22, onde q é o número de valores deduzíveis superiores a 5, considerando o maior valor para cada tipo de defeito.

Figura 22 – Valor deduzível corrigido.



Fonte: CERL (1979) apud DNIT (2004c).

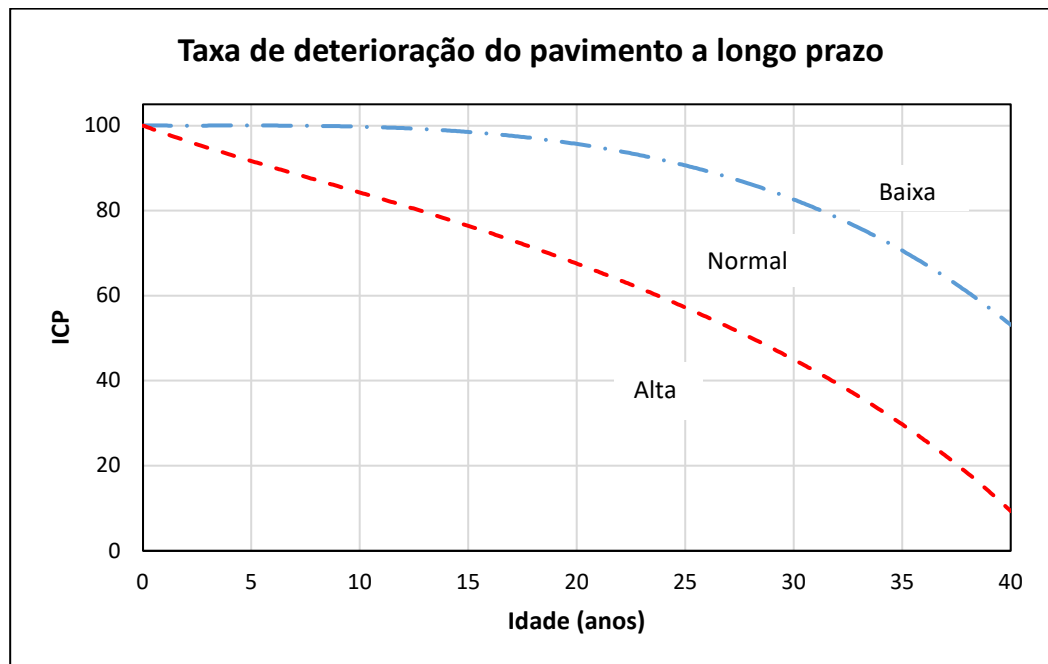
2.3.4.2 Taxa de deterioração do pavimento

A taxa de deterioração pode ser observada a partir do conhecimento do ICP e da idade do pavimento.

O USACE (1982) recomenda que seja verificada a deterioração do pavimento tanto a longo prazo como também a curto prazo.

A taxa de deterioração a longo prazo é medida a partir do momento da construção ou da última restauração do pavimento. Para a sua verificação, o USACE (1982) apresenta curvas, elaboradas a partir de dados de campo, que caracterizam se a taxa de deterioração é alta, normal ou baixa. As curvas referentes a pavimentos de concreto de cimento Portland são apresentadas a seguir na Figura 23.

Figura 23 – Taxa de deterioração do pavimento de concreto a longo prazo.



Fonte: USACE (1982)

A verificação a curto prazo consiste na queda do ICP durante o último ano. É importante porque uma alta deterioração pode indicar uma falha iminente no pavimento. De maneira geral, segundo de acordo com o USACE (1982), uma redução de sete ou mais ponto de ICP em um ano indica uma taxa de deterioração alta. Já uma redução de quatro a seis pontos de ICP, nesse mesmo período, caracteriza uma deterioração considerada normal a curto prazo.

Por fim, concluída a abordagem sobre a durabilidade dos pavimentos de concreto de cimento Portland, será tratado a seguir o concreto de cimento Portland, que é o principal material em um pavimento de concreto. Será discutida a microestrutura e propriedades e características do concreto endurecido.

2.4 O concreto de cimento Portland

Uma vez que o concreto é o principal material do pavimento rígido, é importante abordar um pouco suas principais características e propriedades.

O concreto é um material compósito que consiste, essencialmente, de um meio aglomerante no qual estão aglutinadas partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de

cimento hidráulico, o aglomerante é formado de uma mistura de cimento hidráulico e água. O agregado é um material granular, como areia, pedregulho, pedrisco, rocha britada, escória de alto-forno ou resíduos de construção e de demolição, que é usado com um meio cimentício para produzir concreto ou argamassa (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

Algumas classificações podem ser feitas, de acordo com Mehta & Monteiro (2014):

a. Quanto à sua densidade:

- Concreto de densidade normal: massa específica em torno de 2400 kg/m^3 . É o concreto mais utilizado para fins estruturais.
- Concreto leve: massa específica inferior a 1800 kg/m^3 , obtido com o uso de agregados leves.
- Concreto pesado: massa específica superior a 3200 kg/m^3 , obtido com o uso de agregados de alta densidade.

b. Quanto a sua resistência à compressão:

- Concreto de baixa resistência: menor que 20 MPa ;
- Concreto de resistência moderada: de 20 MPa a 40 MPa ;
- Concreto de alta resistência: superior a 40 MPa .

2.4.1 Microestrutura do concreto

O tipo, a quantidade, o tamanho, a forma e a distribuição das fases presentes em um sólido constituem sua microestrutura. O termo *macroestrutura* é geralmente usado para a microestrutura grosseira visível a olho nu. O termo *microestrutura* é usado para a porção com grandeza microscópica da macroestrutura. É geralmente analisada com a ajuda de um microscópio (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

A microestrutura do concreto pode ser descrita como um sistema integrado constituído por agregados graúdos e miúdos, pasta de cimento hidratada e interface entre agregado e pasta de cimento hidratada, conhecida também como zona de transição interfacial (RAMACHANDRAN & BEAUDOIN, 2001).

2.4.1.1 Microestrutura da fase agregado

A fase agregado é a principal responsável pela massa unitária, pelo módulo de elasticidade e pela estabilidade dimensional do concreto. Tais propriedades dependem principalmente da densidade e da resistência do agregado, que, por sua vez, são determinadas mais por suas características físicas do que químicas. Ou seja, a composição química ou mineralógica das fases sólidas no agregado é possivelmente menos importante do que suas características físicas (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

A norma ASTM C 294-98 (ASTM, 1998) apresenta a descrição dos constituintes mineralógicos existentes nos agregados naturais:

a. Minerais de sílica:

- Quartzo: trata-se de um mineral duro muito comum composto de sílica (SiO_2). Ele riscará o vidro e não será arranhado por uma faca. Quando puro, é incolor com um brilho vítreo (vítreo). É resistente às intempéries e, portanto, um importante constituinte de muitos depósitos de areia e cascalho e muitos arenitos.
- Opala: é uma forma hidratada de sílica ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Ela pode mostrar algumas evidências de arranjo cristalino interno através do método da difração de raios X. Seu conteúdo de água varia geralmente entre 3% e 9%. A cor é variável e o brilho é resinoso a vítreo. Geralmente é encontrado em rochas sedimentares e é o principal constituinte da diatomita. O reconhecimento da opala em agregados é importante porque ela é potencialmente deletéria reativa com os álcalis na pasta de cimento hidráulico.
- Calcedônia: é considerada tanto como um mineral distinto como também uma variedade de quartzo. Frequentemente, é composto de uma mistura de fibras microscópicas de quartzo com um grande número de poros submicroscópicos preenchidos com água e ar. Suas propriedades são intermediárias entre as da opala e do quartzo.
- Tridimita e cristobalita: formas cristalinas de alta temperatura de sílica (SiO_2) às vezes encontradas em rochas vulcânicas. Eles são metaestáveis em temperaturas e pressões normais. Eles são minerais raros em agregados, exceto em áreas onde as rochas vulcânicas são abundantes.

- b. Feldspatos: são os minerais formadores de rocha mais abundantes na crosta terrestre. Eles são constituintes importantes de todos os três principais grupos de rochas, ígneas, sedimentares e metamórficas. Todos os feldspatos são ligeiramente menos duros e podem ser riscados pelo quartzo. Os vários membros do grupo são diferenciados pela composição química e propriedades cristalográficas. Os feldspatos *ortoclásio*, *sanidina* e *microclina* são silicatos de alumínio e potássio e são frequentemente chamados de feldspatos de potássio. Os feldspatos de *plagioclásio* incluem aqueles que são silicatos de alumínio e sódio e silicatos de alumínio de cálcio, ou ambos os silicatos de alumínio e sódio e cálcio. Este grupo, frequentemente referido como o grupo “cal sodada”, inclui uma série contínua, de composição química e propriedades ópticas variadas, desde a *albita*, o feldspato de alumínio e sódio, até a *anortita*, o feldspato de alumínio e cálcio, com membros intermediários da série designados *oligoclásio*, *andesina*, *labradorita* e *bytownita*. Feldspatos de potássio e feldspatos de plagioclásio ricos em sódio ocorrem normalmente em rochas ígneas, como granitos e riolitos, enquanto os feldspatos de plagioclásio de alto teor de cálcio são encontrados em rochas ígneas de baixo teor de sílica, como diorito, gabro, andesito e basalto.
- c. Minerais Ferromagnesianos: Muitas rochas ígneas e metamórficas contêm minerais verdes a pretos que geralmente são silicatos de ferro ou magnésio, ou de ambos. Eles incluem os minerais dos grupos anfibólio, piroxênio e olivina. O mineral anfibólio mais comum é a hornblenda; o mineral de piroxênio mais comum é a augita; e o mineral de olivina mais comum é a forsterita. A mica escura, como a biotita e a flogopita, também são considerados minerais ferromagnesianos. Os minerais anfibólio e piroxeno vão do marrom ao verde ao preto e geralmente ocorrem como unidades prismáticas. A olivina é geralmente verde-oliva, de aparência vítrea e geralmente alterada.
- d. Minerais micáceos: são comuns como componentes menores em muitas areias e cascalhos. Os minerais de mica do grupo da muscovita são incolores a verde claro; do grupo da biotita, marrom escuro a preto ou verde escuro; do grupo lepidolita, branco a rosa e vermelho ou amarelo; e do grupo clorito, tons de verde. Outra mica, a flogopita, é semelhante à biotita, geralmente tem um brilho perolado e cor de bronze e, menos comumente, é vermelho acastanhado, verde ou amarelo. Os

minerais muscovita, biotita, lepidolita e flogopita se dividem em flocos e placas elásticas; os minerais de clorito, em comparação, formam-se em flocos e placas elásticas. A vermiculita (um mineral parecido com a mica) se forma pela alteração de outras micas e é marrom e tem um brilho de bronze.

- e. Minerais de argila: material natural composto de partículas em uma faixa de tamanho específico inferior a 2 μm (0,002 mm). Mineralogicamente, a argila se refere a um grupo de minerais de silicato em camadas, incluindo as micas de argila (ilitas), o grupo caulim, cloritas muito finamente divididas e as argilas dilatadas - esmectita incluindo montmorilonitas. Membros de vários grupos, particularmente micas, cloritas e vermiculitas, ocorrem tanto na faixa de tamanho de argila quanto em tamanhos maiores. Minerais de argila são alumínio hidratado, magnésio e silicatos de ferro que podem conter cálcio, magnésio, potássio, sódio e outros cátions trocáveis. Eles são formados pela alteração e intemperismo de outros silicatos e vidro vulcânico. Os minerais de argila são os principais constituintes de argilas e folhelhos. A maioria das partículas agregadas compostas por, ou contendo grandes proporções de minerais de argila são moles e, devido à grande área de superfície interna dos constituintes, são porosos. Alguns desses agregados se desintegram quando molhados. Rochas deste tipo são inadequadas para uso como agregados.
- f. Minerais zeólitos: são um grande grupo de silicatos de alumínio hidratado dos elementos alcalinos e alcalino-terrosos que são macios e geralmente de cor branca ou clara. Algumas zeólitas, particularmente *heulandita*, *natrolita* e *laumontita*, produzem supostamente efeitos deletérios no concreto, sendo que as duas primeiras aumentam o teor de álcali no concreto pela liberação de álcalis por meio de troca catiônica e, assim, aumentando a reatividade do álcali quando constituintes do agregado reativo ao álcali estão presentes. Laumontita são notáveis por sua mudança substancial de volume com umedecimento e secagem.
- g. Minerais carbonáticos: a *calcita* (carbonato de cálcio, CaCO_3) é o mineral carbonático mais comum. Já a *dolomita*, outro mineral comum, consiste em carbonato de cálcio e carbonato de magnésio ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ ou $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) em quantidades moleculares equivalentes, que são 54,27% e 45,73% em massa, respectivamente. Com relação à dureza, tanto a calcita quanto a dolomita são relativamente macias e são facilmente arranhadas por uma lâmina de faca.

- h. Minerais de sulfato: as rochas carbonáticas e folhelhos podem apresentar sulfatos como impurezas. O mineral de sulfato mais abundante é o *gesso* (sulfato de cálcio hidratado; $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$); a *anidrita* (sulfato de cálcio anidro, CaSO_4) é menos comum. O gesso pode formar um revestimento pulverulento ou cristalino esbranquiçado na areia e no cascalho. É ligeiramente solúvel em água. A anidrita é mais dura do que o gesso. O gesso e a anidrita presentes nos agregados podem causar ataque de sulfato no concreto e na argamassa.
- i. Minerais de sulfeto de ferro: os sulfetos de ferro, *pirita*, *marcassita* e *pirrotita* são freqüentemente encontrados em agregados naturais. A pirita é encontrada em rochas ígneas, sedimentares e metamórficas; marcassita é muito menos comum e é encontrada principalmente em rochas sedimentares; pirrotita é menos comum, mas pode ser encontrada em muitos tipos de rochas ígneas e metamórficas. A pirita é amarelo latão, e a pirrotita é marrom bronze, e ambos têm um brilho metálico. Já marcassita também é metálica, mas de cor mais clara.
- j. Minerais de óxido de ferro: quantidades muito pequenas de minerais de ferro coloreem muitas rochas, como arenitos ferruginosos, xistos, algumas argilas e granitos. Minérios de *magnetita* (Fe_3O_4), *ilmenita* (FeTiO_3) e *hematita* (Fe_2O_3) são usados como agregados pesados. A magnetita e a ilmenita são minerais acessórios importantes em muitas rochas ígneas escuras e são minerais detríticos comuns em sedimentos. A hematita é frequentemente encontrada como um mineral acessório em rochas avermelhadas.

2.4.1.2 Microestrutura da pasta de cimento hidratada

As principais fases hidratadas da pasta de cimento são a Portlandita, os Silicatos de cálcio hidratados e os Sulfoaluminatos de cálcio hidratado.

2.4.1.2.1 Portlandita:

Portlandita é o nome mineralógico do hidróxido de cálcio cristalino. É a fase mais solúvel da pasta de cimento hidratada e também uma das fases melhor cristalizadas. A sua presença na pasta de cimento, pelo seu equilíbrio de solubilidade, mantém o pH da solução intersticial elevado (OLLIVIER & VICHOT, 2014).

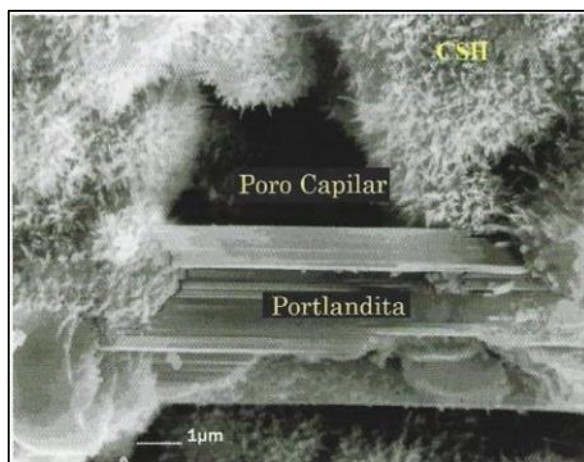
Esta fase constitui cerca de 20 a 25% do volume de sólidos na pasta de cimento hidratada. Comparado aos silicatos de cálcio hidratado (C–S–H), a potencial contribuição à resistência do hidróxido de cálcio é limitada devido à sua área superficial consideravelmente baixa (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

2.4.1.2.2 Silicatos de cálcio hidratados (C–S–H):

Os Silicatos de cálcio hidratados compõem de 50 a 60% do volume de sólidos em uma pasta de cimento completamente hidratada e fornecem a maioria da resistência e durabilidade a longo prazo, representando a fase mais importante na determinação das propriedades da pasta. (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

O C–S–H é formado por compostos nanocristalinos constituídos de partículas nanométricas agregadas umas as outras. Frequentemente se fala em gel de C–S–H referindo-se a compostos amorfos (OLLIVIER & VICHOT, 2014).

Figura 24 – Imagem ao microscópio eletrônico de varredura do C-S-H formando-se na superfície de cristais de alita.



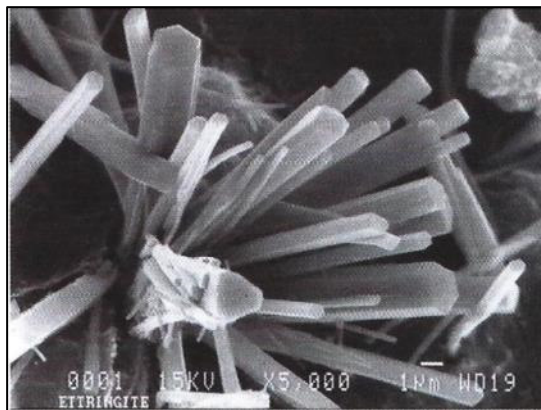
Fonte: Regourd & Hornain (1975) apud Ollivier & Vichot (2014).

2.4.1.2.3 Sulfoaluminatos de cálcio hidratado:

Corresponde de 15 a 20% do volume sólido da pasta de cimento hidratada. Possuem, portanto apenas um papel secundário nas relações microestrutura-propriedade. Durante os estágios iniciais da hidratação, a relação iônica sulfato/alumina da solução geralmente favorece a formação de trissulfato hidratado ($C_6A\bar{S}_3H_{32}$), também chamado de Etringita, que forma

cristais prismáticos na forma acircular. Na pasta de cimento puro, a etringita eventualmente se transforma em monossulfato hidratado ($C_4A\bar{S}H_{18}$), que forma cristais de placas hexagonais. A presença do monossulfato hidratado no concreto de cimento Portland torna o concreto vulnerável ao ataque por sulfato (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

Figura 25 – Imagem ao microscópio eletrônico de varredura de cristais de etringita.



Fonte: Ollivier & Vichot (2014).

2.4.1.3 Zona de transição na interface da matriz de cimento e o agregado graúdo

A zona de transição na interface entre o agregado graúdo e a pasta de cimento (matriz) é considerada a fase limitante da resistência do concreto, por ser a região mais fraca existentes (MEHTA & MONTEIRO, 2014). Ela tem aproximadamente 50 μm de espessura com produtos de hidratação menos densos (CWIRZEN; PENTTALA, 2005).

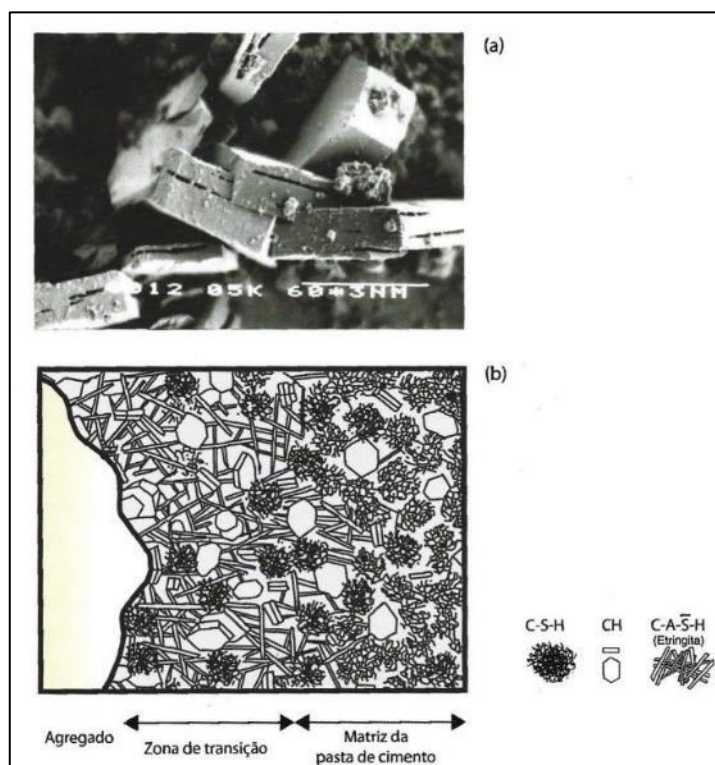
O desenvolvimento das características microestruturais do concreto na zona de transição a partir do seu lançamento segue a seguinte sequência (MASO, 1980 *apud* MEHTA & MONTEIRO, 2014):

- 1º fase: Filmes de água se formam em torno das grandes partículas de agregado no concreto fresco, contribuindo para que a relação água/cimento na região próxima ao maior agregado seja maior do que na pasta de cimento.
- 2º fase: Íons de cálcio, sulfato, hidroxila e aluminato, produzidos pela dissolução dos compostos sulfato de cálcio e aluminato de cálcio, combinam-se para formar etringita e hidróxido de cálcio. Esses produtos cristalinos apresentam cristais maiores do que na pasta de cimento, devido à maior relação água/cimento na

região. Consequentemente, a zona de transição apresenta uma estrutura mais porosa do que a matriz da pasta de cimento. Os cristais de hidróxido de cálcio tendem a formar placas orientadas perpendiculares à superfície do agregado.

- 3º fase: O C-S-H pouco cristalino e uma segunda geração de cristais menores de etringita e hidróxido de cálcio, com o avanço da hidratação, começam a preencher o espaço vazio que existe entre a estrutura criada pelos grandes cristais de etringita e de hidróxido de cálcio, melhorando a densidade e a resistência na zona de transição.

Figura 26 – (a) Micrografia obtida por microscopia eletrônica de varredura dos cristais de hidróxido de cálcio na zona de transição; (b) representação esquemática da zona de transição e da matriz da pasta de cimento no concreto.



Fonte: Mehta & Monteiro (2014).

Cabe mencionar ainda que o módulo de elasticidade e a rigidez do concreto são bastante influenciados pela microestrutura da zona de transição, especialmente pelo volume de vazios e microfissuras existentes (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

2.4.2 Propriedade e características do concreto endurecido

O concreto de cimento Portland endurecido possui diversas propriedades e características. Algumas delas, o módulo de elasticidade, coeficiente de Poisson, as resistências e o fenômeno da carbonatação, serão descritas a seguir.

2.4.2.1 *Módulo de elasticidade:*

Podemos definir o módulo de elasticidade de um material ou Módulo de Young como a propriedade mecânica que relaciona a tensão aplicada com a deformação linear observada na direção da carga aplicada.

No concreto, podemos classificar os módulos de elasticidade, segundo Mehta & Monteiro (2014), nos seguintes tipos:

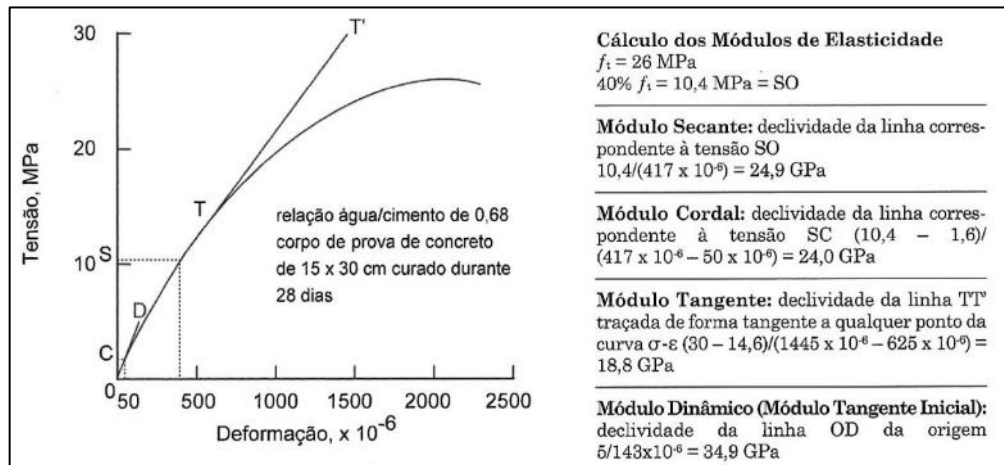
- a. Módulo de elasticidade estático: é dado pela declividade da curva tensão-deformação de um material sob tensão. Tendo em vista que a curva para o concreto é não-linear, três métodos são utilizados para calcular o módulo, indicados a seguir:

- a1. *Módulo tangente*: é dado pela declividade de uma linha traçada de forma tangente à curva de tensão-deformação em qualquer ponto da curva.

- a2. *Módulo secante*: é dado pela declividade de uma linha traçada da origem até um ponto da curva, que corresponde à tensão de 40% da carga de ruptura.

- a3. *Módulo cordal*: é dado pela inclinação de uma linha traçada entre dois pontos da curva tensão-deformação. Comparado ao módulo secante, em vez de partir da origem, a linha é traçada de um ponto representando a deformação longitudinal de $50\mu\text{m/m}$ até o ponto que corresponde a 40% da carga última.

Figura 27 – Tipos de módulos de elasticidade do concreto de Cimento Portland



Fonte: MEHTA & MONTEIRO (2014).

- b. Módulo de elasticidade dinâmico: é dado aproximadamente pelo módulo tangencial inicial, que é o módulo tangente para uma linha traçada a partir da origem. Geralmente é 20, 30 e 40% mais elevado do que o módulo de elasticidade estático para concretos de alta, média e baixa resistência. Pode ser determinado com precisão por um ensaio ultrassônico.

Lydon, & Balendran (1986) relacionam o módulo de elasticidade dinâmico (E_d) com o módulo de elasticidade estático (E_c) conforme Equação (14):

$$E_c = 0,83 \cdot E_d \quad (14)$$

- c. Módulo de elasticidade à flexão: normalmente é utilizado para projetos de pavimentos. Pode ser determinado a partir do ensaio de flexão de uma viga carregada. Para uma viga simplesmente apoiada nas extremidades, e carregada no meio do vão, desprezando a flexão por cisalhamento, o valor do módulo é calculado por:

$$E = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot I \cdot \Delta} \quad (15)$$

Onde:

Δ é a flexão no meio do vão devido a carga P;

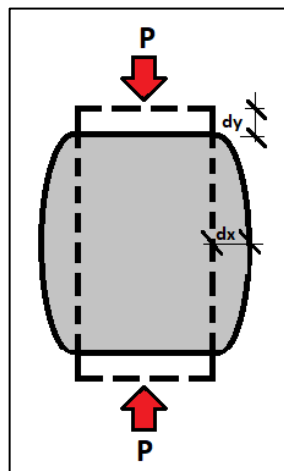
L é o comprimento do vão;

I é o momento de inércia da viga.

2.4.2.2 Coeficiente de Poisson:

Para um material submetido a carga axial simples, o Coeficiente de Poisson pode ser definido como a razão entre a deformação transversal e a deformação axial ou longitudinal, dentro do intervalo elástico, conforme ilustrado na Figura 28. Seu valor normalmente varia entre 0,15 e 0,20 para o concreto (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

Figura 28 - Ilustração do Coeficiente de Poisson.



Fonte: Produção do próprio autor.

2.4.2.3 Resistência

A resistência se trata da tensão necessária para causar a ruptura da peça, sendo definida como a tensão máxima que a amostra de concreto pode suporta (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

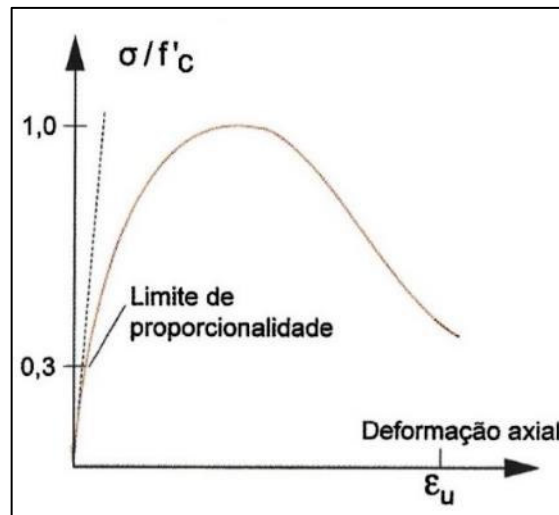
Uma propriedade que interfere bastante na resistência do concreto é a sua porosidade. Dessa forma, de acordo com Mehta & Monteiro (2014), a resposta do concreto às tensões aplicadas depende não apenas do tipo de tensão, mas também de como a combinação de vários fatores afeta a porosidade dos diferentes componentes estruturais do concreto. Alguns desses fatores são:

- Características e proporções dos materiais: a seleção dos materiais apropriados e suas proporções é o primeiro passo para a obtenção de um produto que deverá atender à resistência especificada;
- Fator água/cimento: a relação entre o fator água/cimento e porosidade é o fator mais importante, pois afeta a porosidade da matriz da argamassa de cimento e da zona de transição na interface entre a matriz e o agregado graúdo;
- Tipo de cimento: o grau da hidratação do cimento tem um efeito direto na porosidade e, consequentemente, na resistência;
- Agregado: a resistência do agregado normalmente não é um fator determinante na resistência do concreto porque, com exceção dos agregados leves, a partícula do agregado é muito mais resistente do que a matriz e a zona de transição na interface do agregado. Contudo, características do agregado como forma, textura superficial, granulometria e mineralogia, afetam a resistência do concreto em variados graus;
- Aditivos: aditivos incorporadores de ar influenciam negativamente a resistência do concreto visto que aumentam sua porosidade. Já os aditivos redutores de água podem refletir indiretamente na elevação tanto da resistência inicial como da final por sua capacidade de reduzir o consumo de água de uma mistura de concreto;
- Adições: as adições minerais são especialmente efetivas no aumento da resistência à tração do concreto. Sua capacidade de reagir às temperaturas normais com hidróxido de cálcio e de formar silicatos de cálcio hidratado adicional pode levar a uma redução significativa na porosidade da matriz e da zona de transição na interface;
- Condições de cura: a cura do concreto envolve uma combinação de condições que promovem a hidratação do cimento, como tempo, temperatura e umidade, consideradas imediatamente depois do lançamento de uma mistura de concreto na forma. A porosidade de uma pasta de cimento hidratada é determinada pelo grau de hidratação do cimento. Sob condições normais de temperatura, alguns dos componentes constituintes do cimento começam a se hidratar logo que a água é adicionada, mas as reações de hidratação se desaceleram consideravelmente quando os produtos da hidratação cobrem os grãos de cimento anidro. Isso porque a hidratação pode se processar satisfatoriamente apenas sob condições de saturação. Assim, tempo e umidade são fatores importantes no processo de hidratação.

2.4.2.3.1 O comportamento do concreto sob compressão uniaxial:

A curva tensão-deformação do concreto submetido à compressão uniaxial é ilustrada na Figura 29.

Figura 29 – Curva tensão-deformação do concreto submetido à compressão axial.



Fonte: Mehta & Monteiro (2014).

O comportamento do material ao longo da curva tensão-deformação (Figura 29) ocorre da seguinte forma, de acordo com Mehta & Monteiro (2014):

- Até 30% da resistência final ($f'c$): comportamento elástico-linear, pois sob carregamento de curto prazo, as microfissuras na zona de transição na interface permanecem inalteradas;
- De 30% a 50% de ($f'c$): as microfissuras na zona de transição apresentam certa extensão devido à concentração de tensões nas extremidades das fissuras. Contudo, não ocorre fissuração na matriz da argamassa;
- De 50% a 75% de ($f'c$): o sistema de fissuração tende a ser cada vez mais instável à medida que as fissuras na zona de transição começam a crescer novamente;
- Acima de 75% de ($f'c$): a energia interna disponível excede a energia necessária para aliviar a fissuração, a velocidade da propagação de fissuras aumenta e o sistema se torna instável. A ruptura completa pode ocorrer pela união de fissuras entre a matriz e a zona de transição na interface.

2.4.2.3.2 O comportamento do concreto sob tração uniaxial:

O formato da curva de tensão-deformação, o módulo de elasticidade e o coeficiente de Poisson do concreto sob tração uniaxial são semelhantes aos de compressão uniaxial. Porém com algumas importantes diferenças quanto ao comportamento. Como o estado de tensão de tração uniaxial tende a interromper fissuras muito menos frequentemente do que estados de tensão à compressão, se espera que o intervalo de propagação da fissura estável seja curto. A razão entre as resistências à tração e à compressão geralmente varia entre 0,07 e 0,11 (MEHTA & MONTEIRO, 2014).

2.4.2.4 *A Carbonatação do concreto*

A carbonatação pode ser definida como o processo de formação de carbonato de cálcio (CaCO_3) através de reações químicas com o concreto. A geração de CaCO_3 requer a existência de dióxido de carbono (CO_2), Cálcio (Ca) e água (H_2O). O dióxido de carbono está presente no ar atmosférico, o Ca nas fases Ca(OH)_2 e C-S-H e a água está contida nos poros do concreto (LIMA, 2013).

O processo de carbonatação, segundo Lima (2013), ocorre da seguinte forma:

- a. Nos poros do concreto ocorrem a primeira reação quando o dióxido de carbono (CO_2) e a água (H_2O) reagem para formar o ácido carbônico (H_2CO_3), de acordo com a Equação (16).



- b. Em seguida, o ácido carbônico reage com as fases do concreto que contém cálcio, conforme Equação (17).



- c. Finalmente, uma vez que o Ca(OH)_2 foi convertido e está em falta no concreto, o C – S – H hidratado (silicato de cálcio hidratado $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) liberará CaO, que será a nova fonte de cálcio para a carbonatação seguinte, de acordo com a Equação (18).



Uma das consequências do consumo da reserva alcalina constituída pela portlandita é a redução do pH da solução intersticial do concreto (inicialmente na faixa de 12,5 a 13,5) para valores próximos de 9 (OLLIVIER & VICHOT, 2014). Em se tratando de concreto armado, nessa faixa de pH, ocorre a despassivação da armadura, tornando o aço vulnerável à corrosão.

A carbonatação não é, em si, nociva ao concreto, e é frequente a divulgação de dados e informações na literatura científica que dizem respeito ao aumento da resistência mecânica e do módulo de elasticidade após a carbonatação (OLLIVIER & VICHOT, 2014).

3 METODOLOGIA

Para a realização do presente trabalho, o pavimento de concreto da BR-101/PB foi adotado como estudo de caso. Todas as informações levantadas na pesquisa foram feitas nesta rodovia. Dessa forma, inicialmente será realizada no presente capítulo uma sucinta descrição da rodovia, a nível nacional e no estado da Paraíba. Além disso, a obra de adequação de capacidade que resultou na construção pavimento rígido da BR-101/PB também será tratada, explanando-se algumas informações referentes a sua execução e aos projetos executivos do empreendimento.

Na sequência, também serão apresentadas as diversas atividades realizadas para o levantamento de informações ao longo da rodovia, necessárias para a elaboração dos modelos de desempenho do pavimento rígido da BR-101/PB. São elas:

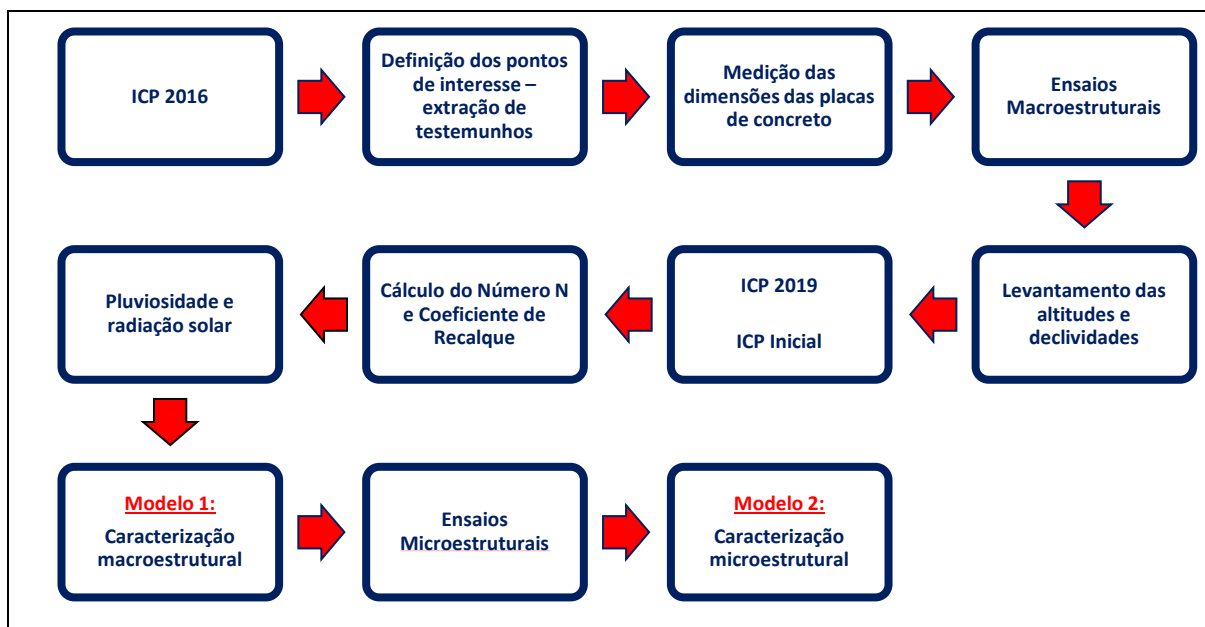
- Para caracterizar as condições físicas do pavimento foram realizados dois levantamentos de defeitos para definição do ICP em momentos distintos (anos de 2016 e 2019). Acrescentando ainda o ICP inicial, no ano de construção e início de operação da rodovia, obteve-se, ao longo de 11 anos (entre 2008 e 2019), três ICPs, o que nos permitiu observar a taxa de deterioração do pavimento;
- A partir do ICP de 2016, definiu-se os locais para a extração de testemunhos para a caracterização dos concretos das placas. Foram extraídos 36 testemunhos ao longo da BR-101/PB, sendo 12 em cada lote da rodovia. A partir de então, tais locais foram definidos como os pontos de interesse para o levantamento das demais informações;
- Para a caracterização do concreto das placas, foram realizados ensaios laboratoriais macro e microestruturais nos testemunhos extraídos do pavimento. Complementarmente, foi realizado um ensaio não destrutivo “in loco” diretamente nas placas (ensaio esclerométrico). Tal caracterização resultou na identificação do módulo de elasticidade dinâmico, coeficiente de Poisson, frente de carbonatação, resistência à compressão, resistência à tração e identificação das fases microestruturais presentes nos materiais;
- O estudo do tráfego teve como objetivo a identificação do número de repetições (número N) do eixo padrão (eixo simples de roda dupla com carga de 8,2 tf) nos pontos de interesse na rodovia entre os anos de 2008 e 2019. Para isso, buscou-se

junto à Superintendência Regional do DNIT no Estado da Paraíba os estudos de tráfego realizados na rodovia, desde a fase de projeto até o período pós construção de operação da rodovia, e dados sobre os volumes de tráfego da rodovia registrados no período;

- Sob o aspecto ambiental, foram identificados os valores médios anuais da pluviosidade e radiação solar nos pontos de interesse;
- Para relacionar a fundação da rodovia no modelo que seria desenvolvido, buscou-se calcular o coeficiente de recalque k , que é um parâmetro de projeto de pavimentos rígidos;
- Os dados relacionados com a topografia dos locais de interesse foram a altitude e a declividade dos locais de interesse;
- As Dimensões das placas de concreto também foram identificadas “in loco” (comprimento e largura) e em laboratório, a partir dos testemunhos extraídos (espessura).

As atividades mencionadas seguiram a ordem cronológica ilustrada na Figura 30.

Figura 30 -Cronologia das atividades na pesquisa.



Fonte: Produção do próprio autor.

3.1 Rodovia BR-101/PB – um estudo de caso

Situada no litoral do Brasil, a BR-101 é classificada com uma rodovia longitudinal que atravessa as regiões Nordeste, Sudeste e Sul do país. De Touros/RN, onde se inicia, até o município de Rio Grande/RS, onde termina, a rodovia passa por doze estados federativos (Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul), totalizando uma extensão de 4.576 quilômetros (Fonte: Sistema Nacional de Viação – SNV 2017).

A BR-101 é denominada oficialmente, por meio da Lei nº 10.292 de 27/09/2001, como Rodovia Governador Mário Covas. Contudo, em alguns trechos é conhecida por outras nomenclaturas como por exemplo Rodovia Rio – Santos, que interliga o município do Rio de Janeiro/RJ ao município de Santos/SP, e Rodovia Rio – Vitória, que interliga o município do Rio de Janeiro/RJ à capital do Espírito Santo.

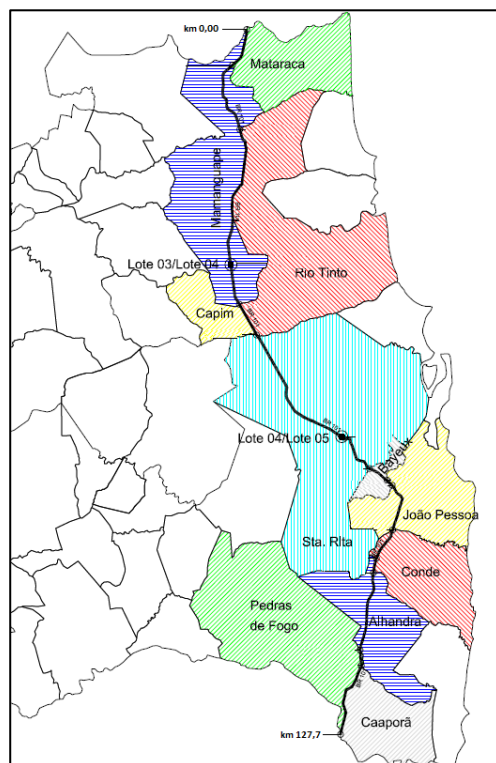
A rodovia foi construída pelo Exército Brasileiro entre as décadas de 1950 a 1970.

3.1.1.1 A BR-101/PB

No estado da Paraíba, a BR-101/PB se inicia na divisa com o estado do Rio Grande do Norte e vai até a divisa com o estado de Pernambuco.

Ao longo dos seus 127,7 quilômetros de extensão no estado, a rodovia atravessa 11 municípios do litoral paraibano como se pode observar na Figura 31. São eles: Mataraca, Mamanguape, Rio Tinto, Capim, Santa Rita, Bayeux, João Pessoa, Conde, Alhandra, Pedras de Fogo e Caaporã.

Figura 31 - Municípios do litoral da Paraíba cortados pela BR-101/PB.



Fonte: Arquivos do DNIT SR/PB.

Juntamente com a BR-230/PB, a BR-101/PB se configura como uma das mais importantes rodovias do estado. É a rota de ligação entre a Capital João Pessoa às capitais do Rio Grande do Norte (Natal) e de Pernambuco (Recife). Consequentemente, se torna a principal rota entre o porto de Cabedelo/PB e os portos de Areia Branca/RN, Natal/RN e Suape/PE.

Atualmente, toda a rodovia se encontra duplicada após a finalização das obras de adequação de capacidade finalizadas no ano de 2013, como se pode verificar na Tabela 4.

Tabela 4 - Subtrechos da BR-101/PB no Sistema Nacional de Viação.

Código SNV	Início	Fim	Km inicial	Km final	Extensão	Superfície federal
101BPB0250	DIV RN/PB	ENTR PB-065	0	6,1	6,1	duplicada
101BPB0255	ENTR PB-065	ENTR PB-071	6,1	29,9	23,8	duplicada
101BPB0260	ENTR PB-071	ENTR PB-041 (MAMANGUAPE)	29,9	40,0	10,1	duplicada
101BPB0270	ENTR PB-041 (MAMANGUAPE)	ENTR PB-025	40,0	73,5	33,5	duplicada
101BPB0280	ENTR PB-025	ENTR PB-004 (P/BAYEUX)	73,5	80,5	7,0	duplicada
101BPB0290	ENTR PB-004 (P/BAYEUX)	ENTR BR-230(A)	80,5	80,8	0,3	duplicada
101BPB0310	ENTR BR-230(A)	ACESSO AEROPORTO	80,8	82,6	1,8	duplicada
101BPB0320	ACESSO AEROPORTO	ENTR BR-230(B)	82,6	88,4	5,8	duplicada
101BPB0330	ENTR BR-230(B)	DISTRITO INDUSTRIAL (TOALIA)	88,4	92,4	4,0	duplicada
101BPB0332	DISTRITO INDUSTRIAL (TOALIA)	ENTR PB-018 (P/CONDE)	92,4	99,4	7,0	duplicada
101BPB0335	ENTR PB-018 (P/CONDE)	ENTR PB-034	99,4	110,2	10,8	duplicada
101BPB0340	ENTR PB-034	ENTR PB-044	110,2	127,3	17,1	duplicada
101BPB0345	ENTR PB-044	DIV PB/PE	127,3	127,7	0,4	Duplicada

Fonte: Sistema Nacional de Viação - DNIT 2018.

3.1.2 A Obra de adequação de capacidade

As obras de duplicação da BR-101 no estado da Paraíba foram realizadas dentro do Programa de Adequação de Capacidade da BR-101/Nordeste realizado pelo Governo Federal através do DNIT –Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, autarquia responsável pela implementação das políticas de infraestrutura de transportes terrestres e aquaviários no país. O programa previa, além da duplicação da rodovia, a restauração do

pavimento existente, construção, restauração e reforço de viadutos, pontes, passarelas, construção de vias marginais em segmentos urbanos, entre outras obras que visavam modernizar a rodovia nos estados do Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco.

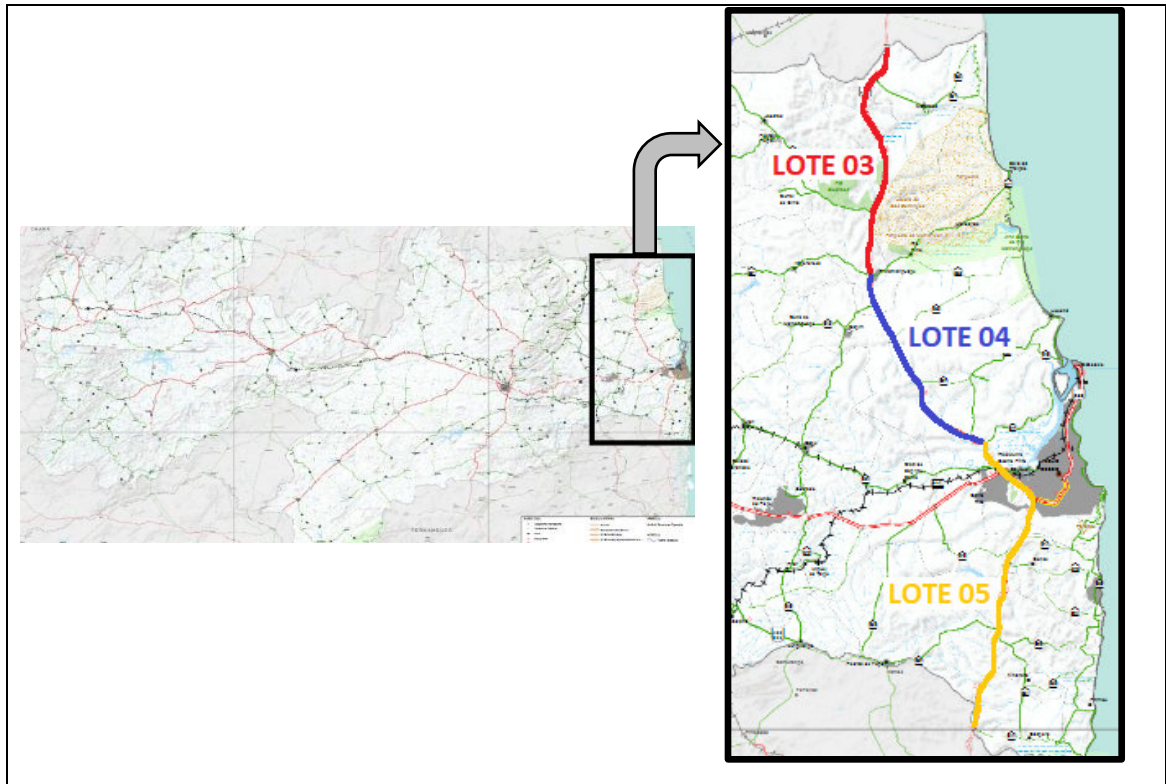
Para a elaboração dos projetos e execução das obras a rodovia foi dividida em oito lotes. Os lotes 1 e 2 contemplaram a BR-101/RN. Os lotes 3, 4 e 5 a BR-101/PB e os lotes 6, 7 e 8 a rodovia no estado de Pernambuco. Para cada lote foi elaborado um projeto executivo específico, apesar de indicarem soluções bastante semelhantes.

Para a construção das obras, o Governo Federal indicou um lote em cada estado para o Exército Brasileiro (lotes 1, 5 e 6). Os demais lotes foram executados por consórcios de empresas privadas, definidas em processo licitatório.

Na Paraíba, os lotes 3, 4 e 5 abrangeram os 127,7 quilômetros de extensão da BR-101/PB. O lote 3, executado por um consórcio privado no período de 19/10/2006 a 28/09/2011, iniciava na divisa PB/RN (km 0) e se estendia até o entroncamento com a PB-041, em Mamanguape (atual km 40). O lote 4, também executado por um consórcio privado no período de 19/10/2006 a 20/12/2011, iniciava no final do lote 3 (o entroncamento com a PB-041) e se estendia até o entroncamento com a PB-025 (acesso ao Município de Lucena e atual km 73,5). Já o lote 5, executado pelo Exército Brasileiro no período de 18/11/2005 a 30/04/2013, iniciava no final do lote 4 (o entroncamento com a PB-025) e se estendia até a divisa PB/PE (atual km 127,7).

O pavimento existente no estado da Paraíba era revestido de concreto asfáltico. A nova pista construída (duplicada) foi executada em pavimento rígido, com extensão aproximada de 104,2 quilômetros. Os demais 23,5 km de extensão que totalizam os 127,7km da rodovia, foram executados em concreto asfáltico.

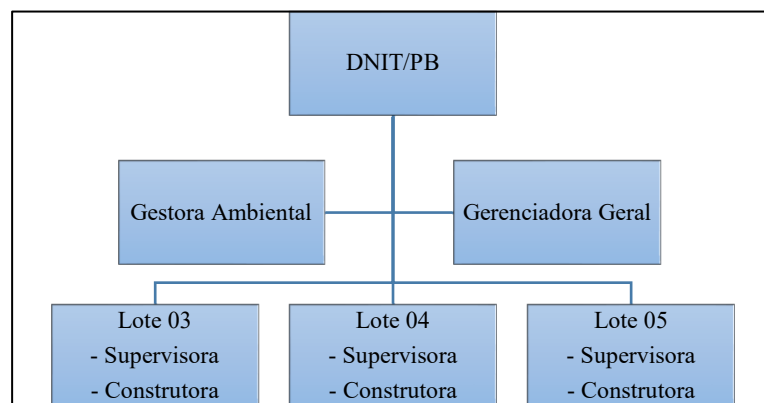
Figura 32 – Indicação dos três lotes da BR-101/PB no mapa geográfico da Paraíba.



Fonte: Produção do próprio autor.

Com relação à estrutura gerencial do empreendimento, cada lote era composto por um consórcio construtor e uma empresa Supervisora que fazia a sua fiscalização. Além destas, prestavam apoio ao DNIT uma Gerenciadora Geral e outra Gestora Ambiental, ambas formadas por consórcios de empresas privadas de engenharia.

Figura 33 – Estrutura Gerencial da obra de adequação de capacidade da BR-101/PB.



Fonte: Produção do próprio autor.

Ao final do empreendimento no estado da Paraíba (abril de 2013) registrava-se um investimento total de R\$ 646.619.367,60 (seiscentos e quarenta e seis milhões, seiscentos e dezenove mil, trezentos e sessenta e sete reais e sessenta centavos).

A modernização da rodovia implicou no aumento do conforto e segurança de seus usuários com a redução de acidentes, redução de custos com transportes e beneficiou o turismo e desenvolvimento da região.

A Figura 34 apresenta imagens recentes da BR-101/PB, nas travessias urbanas de Pitanga da Estrada (município de Mamanguape), Mamanguape e Mata Redonda (município de Alhandra).

Figura 34 – imagens recentes da BR-101/PB (Data: 02/04/2020): lote 3 – Pitanga da Estrada, km 12 (cima); lote 4 – Mamanguape, km 41 (esquerda); lote 5 – Mata Redonda, km 109 (direita).



Fonte: Produção do próprio autor.

3.1.2.1 Alguns dados dos projetos executivos das obras de adequação de capacidade

Os pavimentos de concreto dos três lotes da obra de adequação da rodovia foram dimensionados para um período de projeto de 20 anos pelo método da PCA 84 (*Portland Cement Association*).

De forma comum para o pavimento de concreto dimensionado, os três projetos indicaram:

- Placas de concreto simples (PCS) assentadas sobre sub-base de concreto compactado a rolo – CCR;
- Reforço do subleito com solo estabilizado granulometricamente sob a sub-base;
- Acostamento externo executado com concreto asfáltico, assentado sobre base de brita graduada simples – BGS;
- Barras de transferência de cargas e barras de ligação em todas as juntas transversais e longitudinais, respectivamente.

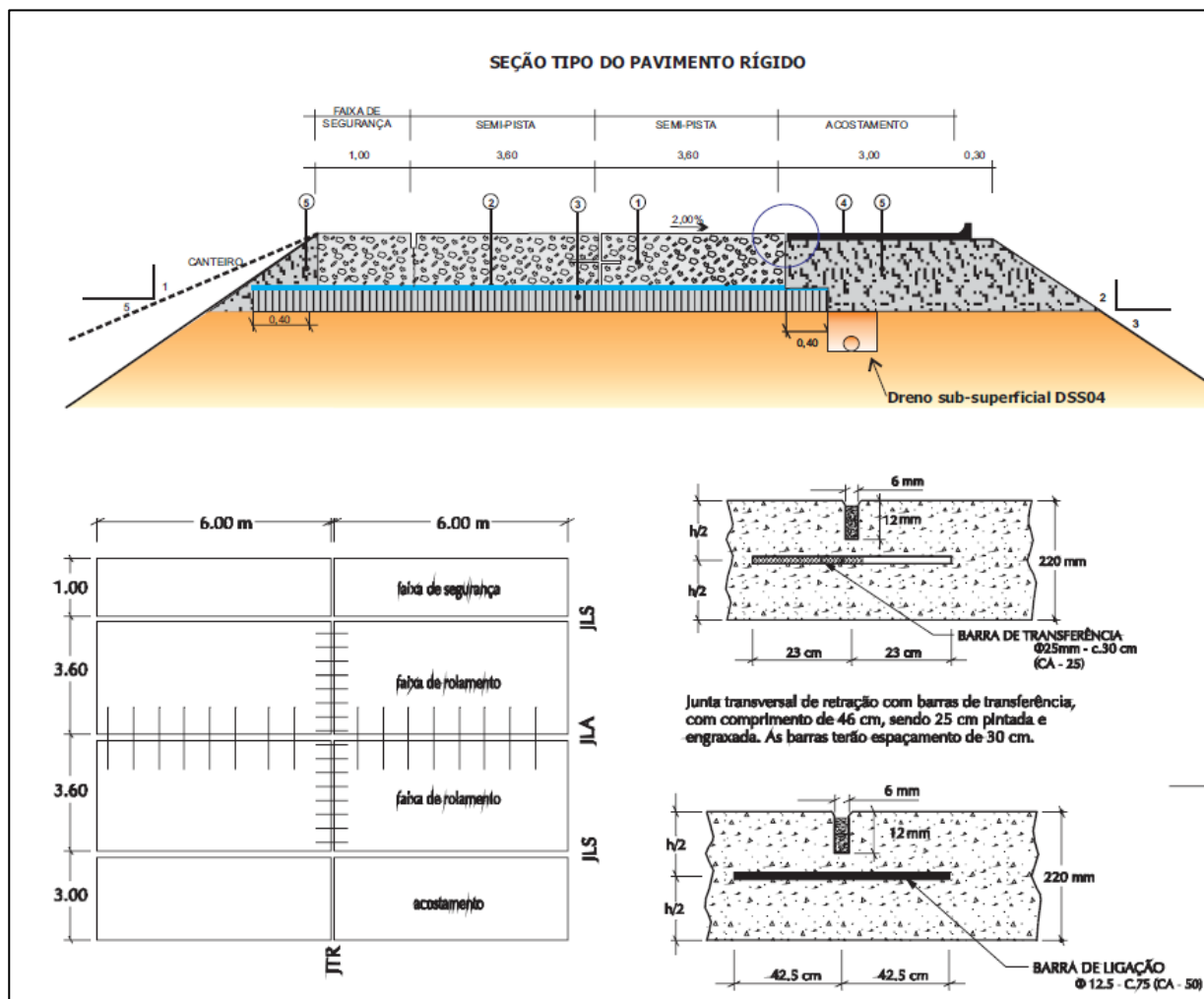
A Tabela 5 apresenta alguns dos principais dados de projeto do pavimento rígido executado nas obras de duplicação.

Tabela 5 – Dados de projeto do pavimento de concreto da BR-101/PB.

Camada	Parâmetro	Lote 3	Lote 4	Lote 5
Placa de concreto	Resistência à tração na flexão	4,5 MPa		
	Volume total	68034m ³	63847m ³	81399,94m ³
	Espessura	0,21m	0,22m	0,22m
	Comprimento	6,0m	5,0m	6,0m
	Largura	3,6m		
CCR	Resistência à tração na flexão	1,5 MPa	1,8 Mpa	1,8 Mpa
	Espessura	0,10m		

A Figura 35 ilustra a seção tipo do pavimento de concreto do trecho do lote 5, e similar aos lotes 3 e 4, variando apenas nos dados indicados na Tabela 5.

Figura 35 – Seção tipo do pavimento de concreto da BR-101/PB, lote 5.



Fonte: Projeto Executivo das Obras de adequação de capacidade da BR-101/PB, lote 5, elaborado pela empresa Dynatest Engenharia Ltda.

3.1.2.2 Levantamento de informações para as modelagens

Antes de mais nada, os três projetos executivos (um projeto de cada lote) das obras de adequação de capacidade que planejaram a construção da nova pista de concreto da BR-101/PB, objeto de estudo do presente trabalho, foram obtidos em formato digital na Superintendência Regional do DNIT no estado da Paraíba. As informações de interesse nos projetos eram aquelas relacionadas com o dimensionamento e localização do pavimento rígido.

Cabe mencionar que o objetivo aqui não era o de analisar os critérios dos projetos, seus métodos de dimensionamento e elaboração, mas sim o de identificar alguns parâmetros definidos ali para auxílio e orientação na condução da pesquisa.

Buscou-se obter principalmente as seguintes informações:

- Seções transversais do pavimento rígido, identificando os materiais empregados e as espessuras das camadas;
- Os parâmetros de resistência dos materiais estabelecidos nos dimensionamentos;
- A vida útil do pavimento rígido;
- Identificação dos segmentos de pavimento rígido;
- Estudos de tráfego, com os volumes de tráfego levantados à época dos projetos e as taxas de crescimento consideradas.
- Informações das movimentações de terra, com a origem e destino dos materiais terrosos e seus Índices de Suporte Califórnia.

Com relação à execução das obras, foram levantadas informações acerca das datas de construção dos segmentos de pavimento rígido nos relatórios de acompanhamento de obras (relatórios mensais de acompanhamento produzidos pelas empresas supervisoras e construtoras). Tais informações foram necessárias para a definição do ICP – inicial, que será descrito mais adiante.

3.2 Determinação dos Índices de Condição do Pavimento – ICP do pavimento rígido

Visando identificar e caracterizar o estágio de conservação do pavimento de concreto, buscou-se obter o maior número possível de avaliações objetivas de suas condições estruturais ao longo do tempo. Foram realizados em dois momentos distintos (setembro de 2016 e

novembro de 2019) levantamentos visuais dos defeitos e de seus graus de severidade severidades e calculados os Índices de Condição do Pavimento, individualmente, por lote da rodovia, e dela como um todo.

Para a definição do ICP inicial, quando o pavimento se encontrava novo, em excelentes condições (ICP = 100), foi identificado o ano do início da operação do tráfego em cada amostra.

Os dados dos três registros de ICP em momentos distintos da vida útil do pavimento, permitiu se observar a taxa de deterioração do pavimento da BR-101/PB ao longo dos anos.

3.2.1 ICP inicial:

O Índice da Condição do Pavimento inicial é aquele onde o pavimento se encontrava novo, recém construído, sem defeitos (ICP = 100).

Uma vez que cada segmento da rodovia é construído e liberado ao tráfego em momentos distintos, foi necessário fazer essa identificação para todos os pontos de interesse.

As obras de adequação de capacidade da BR-101/PB foram realizadas entre os anos de 2006 e 2013. O levantamento de informações dos anos de conclusão dos segmentos foi conduzido pela busca dos relatórios mensais de acompanhamento das obras, elaborados pelas empresas Supervisoras e Gerenciadora, e pelos relatórios de controle da qualidade, elaborados pelos consórcios construtores.

Ainda assim, não conseguimos identificar a data de construção de três locais de interesse no lote 5. Para estes casos, buscamos essa informação entrevistando engenheiros que participaram da obra na época.

3.2.2 ICP - 2016:

Naquela época, a Superintendência Regional do DNIT no estado da Paraíba pretendia elaborar um projeto de restauração das placas de concreto. Então foi solicitado a uma empresa que prestava serviços de consultoria ao DNIT a realização do levantamento dos defeitos e graus de severidade de todo o pavimento rígido da BR-101/PB. Três equipes, cada uma com três membros, percorreram a rodovia a pé fazendo todos os registros necessários.

A inspeção visual foi realizada em todas as placas de concreto, que incluíam a pista de rolamento, o acostamento interno (faixa de segurança), as pistas de aceleração e desaceleração de alguns retornos, acessos e baías de paradas de ônibus. Para efeito desta pesquisa, considerou-se apenas os levantamentos das placas das duas faixas de tráfego da pista de rolamento. Isto porque, para o cálculo do ICP, era necessário que as placas tivessem as mesmas dimensões e as demais tinham dimensões variadas. Além disso, as placas da pista de rolamento são as que sofrem mais a ação do tráfego e por esse motivo são as mais importantes. E ainda, a execução de todos esses elementos era realizada ao mesmo tempo, o que implica numa provável utilização do mesmo concreto.

Sua execução foi realizada seguindo os procedimentos estabelecidos na norma DNIT 060/2004 – PRO: pavimento rígido – inspeção visual.

Acompanhamos a realização dos levantamentos e, posteriormente, com aqueles dados, calculamos o ICP dos lotes individuais e da rodovia. Tais informações balizaram a etapa seguinte da pesquisa, que foi a de extração de testemunhos do pavimento para a realização de ensaios laboratoriais.

Para a definição do ICP, primeiramente calculamos a quantidade mínima de amostras de ICP por lote de acordo com a equação (13), que resultou em 16 amostras. Uma vez que se tinha as informações de toda a rodovia, estabelecemos 30 amostras de ICP por lote (totalizando 90 amostras para rodovia), que atendiam ao número mínimo calculado e também implicava numa maior precisão do ICP calculado. Nenhuma amostra adicional foi necessária.

Posteriormente no trabalho seriam definidos os locais de estudo e investigação da pesquisa ao longo da rodovia, definidos aqui como os pontos de interesse. Tais pontos, que serão abordados mais adiante, totalizavam 36 locais que estavam inseridos dentre as 90 amostras de ICP aqui definidas.

Atendendo a recomendação do Manual de Recuperação de Pavimentos Rígidos (2010), cada amostra era composta por 20 placas de concreto, sendo 10 por faixa de tráfego.

Em cada lote da rodovia, as amostras foram distribuídas de modo a se obter a maior uniformidade possível ao longo da extensão de pavimento rígido existente.

O cálculo do ICP foi realizado seguindo os procedimentos recomendados na norma DNIT 062/2004 – PRO – pavimento rígido – avaliação objetiva.

3.2.3 ICP – 2019:

A realização dessa nova avaliação objetiva em novembro de 2019 teve como finalidade exclusivamente a obtenção de mais dados de ICP para a elaboração da curva de deterioração do pavimento.

O levantamento foi realizado apenas por nossa pessoa. Percorremos a rodovia de carro, inspecionando as amostras de ICP a pé no pavimento. Por esse motivo o número de amostras identificadas foi o valor mínimo necessário, que era o mesmo já calculado no ICP – setembro de 2016, ou seja, 16 amostras de ICP por lote da rodovia.

As 16 amostras de cada lote (totalizando 48 amostras para a rodovia) foram escolhidas de forma aleatória dentre as 30 amostras anteriormente definidas no ICP - setembro de 2016. Tal critério facilitou a execução do levantamento “*in loco*” e permitiu observar a evolução da deterioração de cada amostra. Nenhuma amostra adicional foi necessária.

Cabe mencionar que os 36 pontos de interesse, que seriam os locais de estudo e investigação da pesquisa, e que serão abordados mais adiante, estavam inseridos dentre essas 48 amostras de ICP aqui definidas.

Atendendo a recomendação do Manual de Recuperação de Pavimentos Rígidos (2010), cada amostra era composta por 20 placas de concreto, sendo 10 por faixa de tráfego.

Assim como no ICP – setembro de 2016, a inspeção visual dos defeitos foi realizada seguindo os procedimentos estabelecidos na norma DNIT 060/2004 – PRO: pavimento rígido – inspeção visual e o cálculo do ICP seguindo os procedimentos recomendados na norma DNIT 062/2004 – PRO – pavimento rígido – avaliação objetiva.

3.3 Pontos de interesse e extração de testemunhos do pavimento de concreto

Primeiramente, definimos os locais (placas de concreto) que seriam estudados e teriam suas informações levantadas ao longo da rodovia. Tais pontos foram designados como os *pontos de interesse* deste trabalho.

Foram definidos 36 pontos de interesse ao longo da rodovia, sendo 12 em cada um dos três lotes da BR-101/PB. Em cada ponto de interesse foi extraído um testemunho da placa de

concreto para fins de ensaios de caracterização do material, totalizando 36 testemunhos desta camada. Foram extraídos também 11 testemunhos (em 11 pontos de interesse) da camada de subbase para fins de determinação do coeficiente de recalque da fundação do pavimento.

A quantidade de pontos de interesse foi estabelecida levando em consideração as quantidades necessárias de testemunhos para os ensaios de caracterização dos materiais que seriam realizados, e ainda, por entender que os 36 pontos definidos implicariam num tamanho de amostra estatística satisfatório para a modelagem e a extração dessa quantidade de testemunhos seria logisticamente possível.

Os pontos de interesse foram definidos seguindo os seguintes critérios:

- Os pontos deveriam se encontrar dentro das amostras de ICP e o mais uniformemente distribuída entre os conceitos “excelente”, “muito bom”, “bom”, “razoável”, “ruim”, “muito ruim” e “destruído”;
- Placas de concreto com e sem o defeito retração plástica também foram definidas como pontos de interesse. Isso porque tal defeito se mostrou bastante presente no levantamento de defeitos do ICP 2016, conforme será apresentado na Figura 53. E como sua identificação foi por meio de inspeção visual, de acordo com a própria metodologia do ICP, tal defeito poderia se tratar de alguma reação expansiva no interior concreto.
- E por fim, procurou-se distribuir o mais uniformemente possível os pontos de interesse ao longo da extensão do pavimento rígido da BR-101/PB, de modo a se obter maior representatividade para toda a rodovia.

Seguindo esses critérios, os pontos de interesse definidos foram os apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Identificação dos pontos de interesse e testemunhos.

Ponto de interesse	Retração	ICP		LOCALIZAÇÃO NA RODOVIA				TESTEMUNHO	
		Amostra	conceito	Lote	km	Sentido	Coordenada UTM	Placa	Subbase
CP 3.1	sim	1	bom	3	5,3	cresc.	25M 0265159 9275611	X	
CP 3.2	sim	6	bom	3	12,9	cresc.	25M 0263417 9269070	X	
CP 3.3	não	8	muito bom	3	15,6	cresc.	25M 0264825 9266927	X	
CP 3.4	sim	14	bom	3	36,0	decre.	25M 0263483 9247426	X	
CP 3.5	não	17	muito ruim	3	31,7	decre.	25M 0264188 9251645	X	
CP 3.6	não	20	ruim	3	27,8	decre.	25M 0265077 9255299	X	X
CP 3.7	sim	24	bom	3	22,3	decre.	25M 0266252 9260564	X	
CP 3.8	sim	28	razoável	3	10,9	decre.	25M 0262864 9270976	X	
CP 3.9	sim	29	muito bom	3	3,3	decre.	25M 0266034 9277255	X	
CP 3.10	não	2	razoável	3	6,7	cresc.	25M 0264116 9274710	X	X
CP 3.11	sim	4	muito bom	3	9,4	cresc.	25M 0262892 9272477	X	X
CP 3.12	não	12	bom	3	38,8	decre.	25M 0263759 9244715	X	X
CP 4.1	sim	1	Bom	4	44,8	cresc.	25M 0264423 9238972	X	
CP 4.2	sim	3	Razoável	4	46,9	cresc.	25M 0265417 9237134	X	
CP 4.3	sim	7	Bom	4	51,0	cresc.	25M 0267499 9233475	X	
CP 4.4	sim	11	Muito Bom	4	55,3	cresc.	25M 0269563 9229725	X	X
CP 4.5	sim	15	Muito Bom	4	59,6	cresc.	25M 0271611 9226066	X	
CP 4.6	sim	16	Bom	4	73,5	decre.	25M 0281135 9216655	X	
CP 4.7	não	19	Bom	4	70,6	decre.	25M 0278343 9218410	X	
CP 4.8	não	20	Bom	4	69,5	decre.	25M 0277375 9218857	X	
CP 4.9	não	28	Muito Bom	4	44,4	decre.	25M 0264421 9239325	X	
CP 4.10	sim	5	Bom	4	48,7	cresc.	25M 0266462 9235306	X	X
CP 4.11	sim	23	Excelente	4	65,8	decre.	25M 0274428 9220367	X	X
CP 4.12	sim	25	Muito Bom	4	63,6	decre.	25M 0272957 9221937	X	X
CP 5.1	sim	1	Excelente	5	127,0	cresc.	25M 0281040 9170961	X	
CP 5.2	não	5	Ruim	5	123,4	decre.	25M 0281694 9174400	X	
CP 5.3	sim	6	Bom	5	122,3	decre.	25M 0281421 9175501	X	
CP 5.4	não	8	Ruim	5	119,3	decre.	25M 0282796 9178069	X	
CP 5.5	sim	11	Bom	5	116,0	decre.	25M 0284249 9180974	X	
CP 5.6	sim	16	Muito bom	5	110,7	decre.	25M 0284683 9186207	X	
CP 5.7	sim	22	Bom	5	104,1	decre.	25M 0285868 9192414	X	
CP 5.8	sim	26	Razoável	5	99,7	decre.	25M 0286196 9196628	X	
CP 5.9	sim	30	bom	5	95,9	decre.	25M 0287846 9200173	X	
CP 5.10	sim	3	Ruim	5	125,9	decre.	25M 0281417 9172171	X	X
CP 5.11	sim	13	Bom	5	113,8	decre.	25M 0284024 9183108	X	X
CP 5.12	sim	19	Bom	5	107,3	decre.	25M 0285060 9189389	X	X

Posteriormente, nos pontos de interesse seriam levantadas todas as informações da pesquisa em três momentos distintos: no ano inicial, 2016 e 2019 para a elaboração dos modelos de desempenho.

Para a extração dos testemunhos, foram seguidas as recomendações da NBR – 7680-1. Sua execução foi realizada com uma máquina extratora de corpos de prova da marca SOLOTEST, com motor de 9 HP de potência movido à gasolina, provida de cálice e coroa diamantada, com refrigeração à água do local do corte do concreto.

Figura 36 - Extração de testemunhos com sonda rotativa.



Fonte: Produção do próprio autor.

Os testemunhos extraídos tiveram diâmetro de 100mm e altura variável, que correspondia exatamente a espessura da camada (placa de concreto e subbase). Todos eles, à medida que eram extraídos, eram enrolados com plástico filme de PVC, como precaução, de modo cessar o seu processo de carbonatação.

Procurou-se realizar sua extração de regiões íntegras de placas da faixa direita do tráfego, há cerca de 60cm do bordo (transversalmente) e, aproximadamente, no meio da placa (longitudinalmente). Tal localização, além de facilitar a logística de extração (com a rodovia

em operação, foi necessário a interdição de apenas uma faixa de tráfego), também evitava as regiões das barras de transferência e barras de ligação. Após sua extração, os furos no pavimento eram devidamente fechados com novo concreto de cimento Portland produzido no local.

Por fim, após a extração os testemunhos foram devidamente preparados com vista a posterior realização dos ensaios. Seguindo as recomendações da norma ABNT NBR – 7680-1 (2015), eles foram cortados e/ou lixados nas duas faces com o objetivo de:

- a) Obter uma correlação altura/diâmetro menor e o mais próximo possível de dois (ou seja, altura do corpo de prova menor ou igual a 200mm);
- b) Obtenção de paralelismo entre os topos.

Ao final, foram novamente enrolados com plástico filme de PVC e conservados até a realização dos ensaios de caracterização dos materiais.

3.4 Dimensões das placas de concreto

Durante a extração dos corpos de prova foi iniciado o trabalho de verificação das dimensões das placas de concreto, com a medição dos comprimentos e larguras das placas onde as amostras eram extraídas. Para isso, se utilizou uma trena metálica simples.

Posteriormente, em laboratório, foi realizada a medição das espessuras das placas, que correspondiam às alturas dos corpos de prova extraídos. Calculamos a altura média de cada amostra com a realização de quatro medições utilizando um paquímetro.

As dimensões das placas foram utilizadas na modelagem como variáveis independentes.

3.5 Caracterização dos materiais

A caracterização dos concretos que compunham as placas do pavimento foi feita através da realização de dez ensaios de materiais, onde nove deles foram realizados em laboratório e um (esclerometria) realizado “*in loco*”. Ainda, destes, quatro ensaios relacionados com a caracterização microestrutural do material.

As propriedades e características do concreto das placas identificadas foram utilizadas na composição da matriz inicial dos modelos de desempenho. Tendo em vista que os ensaios foram

realizados uma única vez na pesquisa, as variáveis obtidas, para fins de modelagem, foram consideradas invariáveis ao longo do tempo. Para evitar tal premissa seria necessária a extração de testemunhos e realização dos ensaios em cada momento analisado, ou seja, nesta pesquisa, nos anos iniciais, e nos anos de 2016 e 2019. Porém, no aspecto logístico, tal situação ideal se configurou complexa de realização. Primeiramente, porque a pesquisa deveria durar pouco mais de uma década, que seria o intervalo entre os anos iniciais e o ano final que foi 2019, e ainda, os 36 testemunhos deveriam ser extraídos e os dez ensaios realizados em cada momento analisado. Dessa forma, os valores identificados nos ensaios foram repetidos para o ano inicial e para os anos de 2016 e 2019, com exceção da frente de carbonatação, na qual se considerou uma carbonatação nula no ano inicial.

A caracterização realizada permitiu definir como propriedades do concreto das placas a massa específica, módulo de elasticidade dinâmico, coeficiente de Poisson, resistência à compressão e tração. Além disso, a frente de carbonatação do concreto também foi observada. E finalmente, no que se refere a sua microestrutura, percentuais de Carbonatos de Cálcio, Etringita e Portlandita inicial e residual foram identificados, fases estas que poderiam ter alguma relação com a durabilidade do material.

3.5.1 Massa específica

Antes da realização dos ensaios e após a regularização das faces dos testemunhos através de retifica, as massas específicas dos testemunhos de concreto foram determinados, seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 7680-1 (2015).

Para a determinação dos diâmetros dos testemunhos, foram realizadas duas medidas ortogonalmente opostas, na metade da altura dos testemunhos com a utilização de um paquímetro. Já para a determinação das alturas dos testemunhos, foram realizadas, com uso de um paquímetro, quatro medidas em geratrizes aproximadamente equidistantes entre si e calculada a sua altura média. Assim, os volumes dos testemunhos foram calculados a partir dos valores médios do diâmetro e da altura.

As massas dos testemunhos foram determinadas com a utilização de uma balança digital com precisão de 0,1 g.

O cálculo das massas específicas foi realizado dividindo-se a massa de cada testemunho pelo seu volume, com aproximação de 1 kg/m^3 , conforme recomendação da ABNT NBR 7680-1 (2015).

3.5.2 Ensaios realizados nos concretos das placas do pavimento

As características físicas, químicas e de durabilidade do concreto dependem de diversos fatores como o tipo e a quantidade de componentes, temperatura, estrutura porosa, área superficial, características das interfaces, condições de trabalho, etc. Dessa forma, para um melhor entendimento dos diversos processos que ocorrem no ciclo de vida do concreto de cimento Portland, foi necessário a aplicação de abordagens tradicionais (ensaios mecânicos, por exemplo) e abordagens mais modernas (ensaios de difração de raios x, análises térmicas, espectroscopia de infravermelho e microscopia eletrônica de varredura, por exemplo). Todos esses métodos são muito utilizados na determinação da causa e a extensão da deterioração no concreto devido a diferentes agentes internos e externos.

Neste estudo foram realizados os seguintes ensaios no concreto do pavimento: ultrassom, frequência ressonante, esclerometria, resistência à compressão axial, resistência à tração por compressão diametral, carbonatação com solução de fenolftaleína, difração de raios X (DRX), espectroscopia de infravermelho, análises térmicas (TG/DSC) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Inicialmente, fizemos uma inspeção visual em cada corpo de prova, procurando identificar principalmente fissuras existentes e outros defeitos. Apesar de ter se buscado extrair as amostras de pontos visualmente íntegros das placas, fissuras no interior do concreto já eram presentes. A intenção foi selecionar as amostras mais íntegras para a utiliza-las nos ensaios de resistência à compressão axial e à tração por compressão diametral. Outras amostras, não submetidas a estes ensaios mecânicos, seriam analisados na Microscopia Eletrônica de Varredura. Isso para manter a representatividade da amostra à situação de campo, visto que novas microfissuras seriam geradas nos ensaios mecânicos. Para os demais ensaios de caracterização microestrutural (DRX, TG/DSC e espectroscopia de IV), as amostras foram definidas buscando-se uma distribuição mais uniforme possível entre os três lotes da rodovia e entre os conceitos de ICP. A Tabela 7 apresenta a relação de ensaios para cada testemunho extraído.

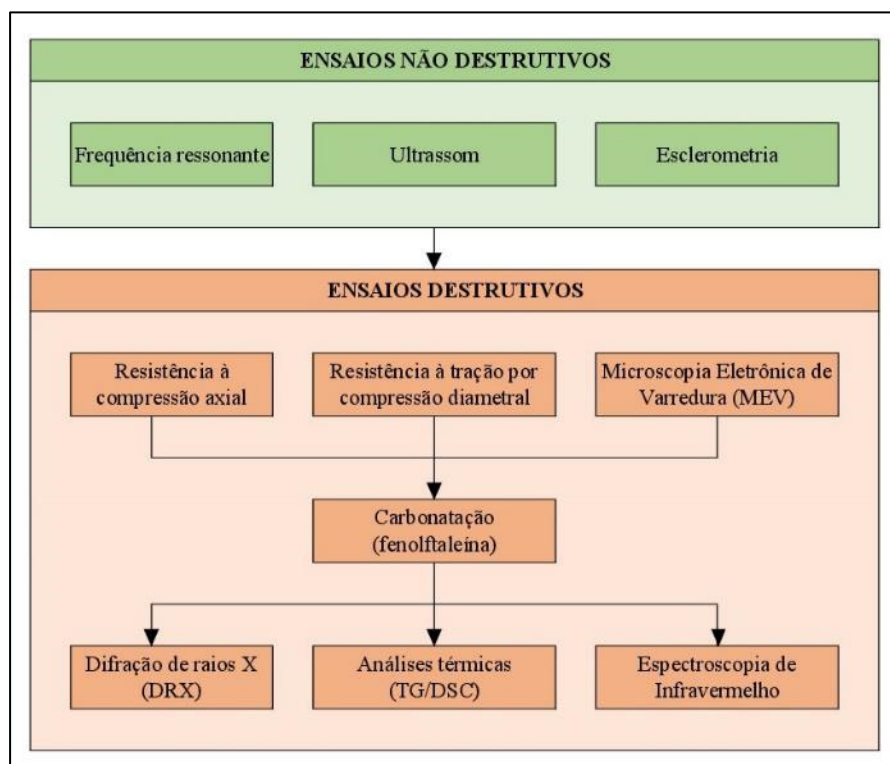
Tabela 7 – Ensaios realizados no concreto das placas do pavimento.

Testemunho	Ensaios									
	Ultrassom	Frequência ressonante	Esclerometria	Resist à compressão axial	Resist. à tração por comp. diametral	Carbonatação (fenolftaleína)	DRX com refinamento	Espectroscopia de IV	TG/DSC	MEV
CP3.1										
CP3.2										
CP3.3										
CP3.4										
CP3.5										
CP3.6										
CP3.7										
CP3.8										
CP3.9										
CP3.10										
CP3.11										
CP3.12										
CP4.1										
CP4.2										
CP4.3										
CP4.4										
CP4.5										
CP4.6										
CP4.7										
CP4.8										
CP4.9										
CP4.10										
CP4.11										
CP4.12										
CP5.1										
CP5.2										
CP5.3										
CP5.4										
CP5.5										
CP5.6										
CP5.7										
CP5.8										

CP5.9										
CP5.10										
CP5.11										
CP5.12										
Total:	35	35	36	12	12	27	20	19	19	3

A sequência de realização de ensaios, definida de modo a otimizar o máximo possível o número de ensaios por testemunho extraído, esta apresentada na Figura 37. A realização desses ensaios definiu as variáveis indicadas na Tabela 8 para serem incluídas na matriz inicial dos modelos.

Figura 37 – Fluxograma de execução de ensaios



Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 8 – Variáveis fornecidas por ensaios realizados.

Ensaio	Variáveis fornecidas
Frequência Ressonante	Módulo de elasticidade dinâmico
Ultrassom	Coeficiente de Poisson
Esclerometria	Resistência à compressão
Resistência à compressão axial	
Resistência à tração por compressão diametral	Resistência à tração
Carbonatação por solução de fenolftaleína	Frente de carbonatação
Microscopia eletrônica de varredura	Carbonatos de Cálcio Etringita Portlandita residual Portlandita inicial
Difração de raios X	
Análises térmicas TG/DSC	
Espectroscopia de Infravermelho	

A seguir, a metodologia adotada na realização de cada um destes ensaios é descrita.

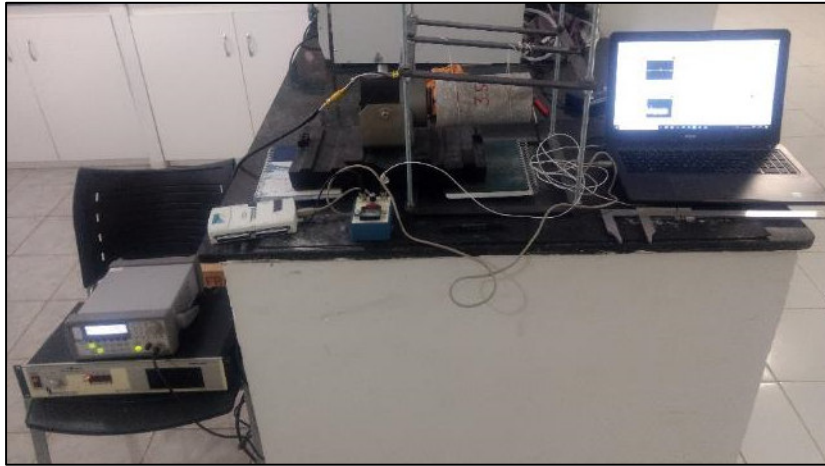
3.5.2.1 Frequência ressonante

O ensaio não destrutivo da frequência de ressonância foi realizado com a finalidade de identificar os módulos de elasticidade dinâmico dos testemunhos de concreto sem danificá-los para os ensaios subsequentes. Ele consiste na aplicação de vibração numa extremidade de um corpo de prova, por meio de um excitador, e medição de sua resposta na outra extremidade, com o uso de um acelerômetro.

Os seguintes equipamentos foram utilizados na sua execução:

- Excitador;
- Acelerômetro;
- Notebook;
- Suporte de suspensão do corpo de prova;
- Nível de bolha;
- Balança digital de precisão;
- Paquímetro.

Figura 38 - Realização do ensaio de frequência ressonante.



Fonte: Produção do próprio autor.

Foram utilizados os seguintes softwares para leitura e processamentos dos sinais:

- Labview, da National ICT Australia Ltda, para a captação do sinal no domínio do tempo;
- Matlab, da MathWorks, para o processamento do sinal (conversão do domínio do tempo medido para o domínio da frequência) com a aplicação de Transformadas Rápidas de Fourier (FFT).

Cada corpo de prova foi ensaiado dez vezes na sua direção longitudinal, obtendo-se, após o processamento dos dados, o sinal médio do espectro no domínio da frequência.

Para a realização do ensaio, procurou-se seguir as recomendações da norma americana ASTM C-215 (2015). Alguns cuidados adotados durante a realização dos ensaios foram:

- As dimensões diâmetro e comprimento dos corpos de prova foram medidas com a utilização de um paquímetro, para maior precisão;
- A massa de cada corpo de prova foi pesada em uma balança digital de precisão;
- Foi feita marcação no centro da seção circular de cada face dos corpos de prova, para que tanto o excitador quanto o acelerômetro ficassem fixados no centro de cada seção;
- Atendendo a recomendação da norma ASTM C-215, os corpos de prova foram suspensos, com os apoios localizados a uma distância de $0,24L$ de cada extremidade, onde L é o comprimento do corpo de prova;

- Os corpos de prova foram suspensos em estruturas que resultassem na menor interferência possível com o meio externo, no que se refere à vibração. A estrutura se encontrava sobre um tapete de borracha e as amostras suspensas por meio de fios de nylon.
- Todos os corpos de prova foram nivelados com a utilização de um nível de bolha;
- O excitador foi posto sobre apoios de borracha para reduzir a propagação de vibração na bancada de apoio dos equipamentos.

Concluídos os ensaios e definidos a massa, o diâmetro, o comprimento e a frequência natural dos corpos de prova, foi possível calcular o módulo de elasticidade dinâmico das amostras, através da Equação (19).

$$E_d = 5,093 \left(\frac{L}{d^2} \right) M n^2 \quad (19)$$

Onde:

E_d é o módulo de elasticidade dinâmico, em Pa;

L é o comprimento do corpo de prova, em m;

d é o diâmetro do corpo de prova, em m;

M é a massa do corpo de prova, em kg;

n é a frequência longitudinal fundamental, em Hz.

3.5.2.2 *Ultrassom*

O ensaio do ultrassom foi realizado com o objetivo de se verificar a qualidade do concreto presente no pavimento e calcular os seus coeficientes de Poisson. Por se tratar de um ensaio não destrutivo, não comprometia os testemunhos para demais ensaios.

Sua execução foi balizada pela norma ABNT NBR 8802 (1994).

O arranjo de transmissão direta foi o utilizado, no qual os transdutores se posicionaram nas faces opostas dos testemunhos. Segundo a norma ABNT NBR 8802 (1994), este é o arranjo

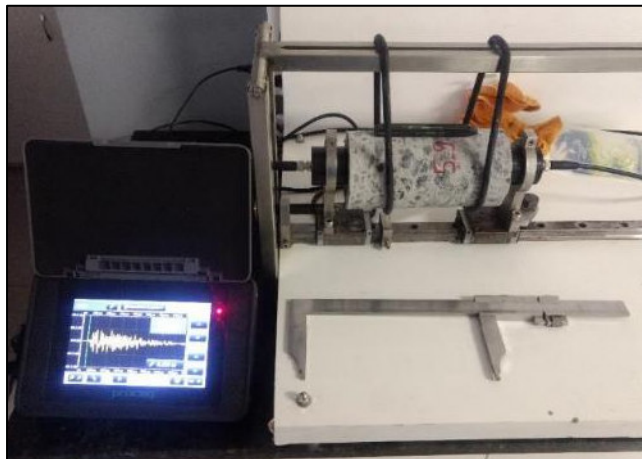
mais recomendado na determinação da velocidade de propagação de ondas, pois desta forma são recebidas com maior intensidade.

Para a realização desse ensaio, alguns cuidados adicionais foram adotados visando minimizar a ocorrência de erros. Os principais foram:

- Utilização de suporte que suspendia a amostra por meio de anéis de borracha, evitando que vibrações externas interferissem nos resultados;
- Utilização de nível de bolha para garantir o nivelamento da amostra durante o ensaio;
- As duas faces dos corpos de prova foram cortadas e/ou lixadas de modo a tornar as superfícies suficientemente lisas e garantir o correto contato com os transdutores;
- Utilização de um paquímetro para a medição das alturas dos corpos de prova para maior precisão;

O ensaio foi realizado utilizando-se um equipamento modelo PUNDIT PL 200 – Proceq composto por dois transdutores de 54 KHz. A Figura 39 ilustra a realização do ensaio com os equipamentos utilizados.

Figura 39 - realização do ensaio de ultrassom.



Fonte: Produção do próprio autor.

Foi identificada a velocidade do pulso ultrassônico que atravessava cada amostra. Tal informação, juntamente com os módulos de elasticidade dinâmico do material já definidos no ensaio da frequência ressonante, nos permitiu calcular o coeficiente de Poisson de cada amostra.

Além disso, seguindo a proposição de Whitehurst (1966) *apud* Conto (2012), foi possível observar a qualidade do concreto de cada testemunho de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9 – Qualidade do concreto de acordo com a velocidade do pulso ultrassônico.

Velocidade da onda ultra-sônica (m/s)	Qualidade do concreto
$V > 4.500$	Excelente
$3.500 < V < 4.500$	Ótimo
$3.000 < V < 3.500$	Bom
$2.000 < V < 3.000$	Regular
$V < 2.000$	Ruim

3.5.2.3 Esclerometria

O ensaio de esclerometria foi realizado no próprio pavimento de concreto e não nos testemunhos. As placas de concreto ensaiadas foram as mesmas de onde foram extraídos os testemunhos, de modo a permitir posteriormente a correlação dos resultados obtidos.

O aparelho utilizado foi o esclerômetro de Schmidt Original N/L da PROCEQ.

Figura 40 – Esclerômetro de Schmidt Original N/L PROCEQ.



Fonte: Manual do equipamento PROCEQ.

A norma seguida foi a ABNT NBR 7584 (2012). Seguindo suas recomendações, alguns cuidados foram adotados como:

- Para garantir os espaçamentos recomendados entre os impactos, foi elaborado um gabarito para a área de ensaio com 16 pontos de impacto, espaçados em 35mm;
- A área de ensaio era distanciada em mais de 50mm dos cantos e arestas das placas de concreto;
- A área a ensaiar era previamente polida e limpa;
- O esclerômetro foi ensaiado na posição vertical;

Além disso, foram realizadas duas aferições do equipamento antes de sua execução em bigorna de aço, conforme recomenda a norma ABNT NBR 7584 (2012), uma vez que os ensaios foram realizados em dois momentos distintos: em fevereiro e setembro de 2020.

Figura 41 – Execução do ensaio de esclerometria no pavimento de concreto.



Fonte: Produção do próprio autor.

3.5.2.4 Resistência a compressão axial

Para identificação da resistência à compressão axial da placa de concreto, doze testemunhos foram ensaiados, sendo quatro extraídos de cada um dos três lotes da rodovia.

Foi utilizada para a realização do ensaio uma prensa Pavitest (Contenco Indústria e Comércio Ltda), manual, hidráulica, com capacidade de 100 toneladas, com leitor digital de 10 kgf de resolução, Modelo I-3001 C.

O ensaio foi realizado seguindo as recomendações das normas ABNT NBR 5739 (1994) e ABNT NBR 7680-1 (2015).

Figura 42 – Execução do ensaio de resistência à compressão axial.



Fonte: Produção do próprio autor.

3.5.2.5 Resistência à tração por compressão diametral

Para verificação da resistência à tração do concreto das placas do pavimento, doze testemunhos foram submetidos ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral, sendo quatro extraídos de cada um dos três lotes da rodovia.

A Figura 43 ilustra a execução do ensaio.

Figura 43 – Execução do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.



Fonte: Produção do próprio autor.

O ensaio foi realizado seguindo as recomendações da norma ABNT NBR 7222 (1994).

Os equipamentos utilizados para a realização do ensaio foram:

- Prensa Pavitest (Contenco Indústria e Comércio Ltda), manual, hidráulica, com capacidade de 100 toneladas, com leitor digital de 10 kgf de resolução, Modelo I-3001 C;
- Dispositivo para compressão diametral, Pavitest (Contenco Indústria e Comércio Ltda), para corpo de prova cilíndrico de concreto, modelo I – 3016.

3.5.2.6 Carbonatação por solução de fenolftaleína

De modo a verificar a ocorrência de carbonatação do concreto, da superfície do pavimento ao seu interior, realizamos o teste com solução de fenolftaleína. Para os testemunhos submetidos aos ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral, o teste foi realizado logo após o rompimento. Outros testemunhos, não submetidos a estes ensaios, foram cortados longitudinalmente para a realização do teste.

O teste consiste na aplicação spray de solução de 1% de fenolftaleína e 70% de etanol na superfície em análise. As regiões não carbonatadas reagem com a solução e apresentam coloração roxa e as regiões carbonatadas permanecem sem cor.

As medições das frentes de carbonatação e os registros fotográficos foram realizado 24 horas após o borrifamento da solução, seguindo as recomendações da RILEM (1988).

3.5.2.7 Difração de raios X (DRX)

O ensaio de difração de raios X foi realizado em 20 testemunhos das placas de concreto, sendo sete do lote 3, sete do lote 4 e seis do lote 5. As amostras foram definidas buscando-se uma distribuição mais uniforme possível entre os três lotes da rodovia e entre os conceitos de ICP

O material analisado foi extraído do interior dos testemunhos, após seu rompimento nos ensaios de compressão axial e tração por compressão diametral. Buscou-se a extração da argamassa em região mais central possível dos testemunhos, evitando-se os agregados graúdos. O material foi moído manualmente no almofariz, peneirada na peneira #325 e, ao final, conservada em *ependorfs*. Posteriormente, as amostras foram moldadas em um suporte de monocristal de silício orientado (zero background), conforme ilustrado na Figura 44.

Figura 44 – Preparação das amostras para o ensaio de Difração de raios X.



Fonte: Produção do próprio autor.

O ensaio foi realizado utilizando-se um difratômetro de raios-X Bruker D2 Phaser em geometria de reflexão com radiação Cu-K α ($\lambda_1 = 1,5418\text{\AA}$ e $\lambda_2 = 1,5444\text{\AA}$) com um detector

sensível à posição Linxeye (PSD), ilustrado na Figura 45. Os dados foram coletados no intervalo 2θ de 5 a 80 °, com um passo (step) de 0,02°.

Figura 45 – Difratorômetro de raios X utilizado na pesquisa.



Fonte: Produção do próprio autor.

A análise quantitativa das fases foi realizada por meio de refinamento Rietveld dos dados de DRX usando o software Gsas-II. Os parâmetros aproximados do perfil do instrumento foram obtidos por meio do ajuste dos picos de uma amostra padrão de Corundum.

Os modelos estruturais usados durante o refinamento dos dados de DRX estão listados na Tabela 10.

Tabela 10 – Modelos estruturais usados no refinamento dos dados de DRX

Fase	Fórmula química	Base de dados/Código
Quartzo	Si O_2	ICSD 62406
Calcita	$\text{Ca (C O}_3\text{)}$	ICSD 80869
Hydrotalcita	$(\text{Mg}_{0,667} \text{ Al}_{0,333}) (\text{O H})_2 (\text{C O}_3)_{0,167} (\text{H}_2 \text{ O})_{0,5}$	ICSD 81963
Vaterita	$\text{Ca (C O}_3\text{)}$	ICSD 15879
Etringita	$\text{Ca}_6 (\text{Al (O H)}_6 (\text{H}_2 \text{ O})_{12})_2 (\text{S O}_4)_3 (\text{H}_2 \text{ O})_2$	ICSD 251756
Portlandita	Ca (O H)_2	ICSD 15471
Kuzelita	$(\text{Ca}_2 \text{ Al (O H)}_6) ((\text{S O}_4)_{0,5} (\text{H}_2 \text{ O})_3)$	ICSD 100138
Anortoclásio	$\text{Na}_{0,75} \text{ K}_{0,25} \text{ Al Si}_3 \text{ O}_8$	ICSD 31180
Albita	$\text{Na Al}_{1,09} \text{ Si}_{2,91} \text{ O}_8$	ICSD 34657
Biotita	$\text{Fe Mg}_2 \text{ K (Al Si}_3\text{) O}_{12} \text{ H}_2$	AMCSD 0001294
Andesina	$\text{Ca}_{0,24} \text{ Na}_{0,26} (\text{Al}_{0,735} \text{ Si}_{1,265}) \text{ O}_4$	AMCSD 0001053

O refinamento foi realizado iniciando-se com a inserção das fases mais abundantes e que apresentavam picos de difração sem sobreposição com outras fases. Refinando concomitantemente o background e o fator de escala das fases. Em seguida, era realizado o refinamento dos parâmetros de rede das principais fases previamente identificadas e, na sequência, o refinamento do tamanho do cristalito. Posteriormente, fazia-se a inclusão das fases menos abundantes ou com picos de difração com alta sobreposição com outras fases. Quando possível, executava-se o refinamento dos parâmetros de rede das fases menos abundantes. Por fim, realizava-se o refinamento de todos os parâmetros conjuntamente.

A qualidade do refinamento foi verificada a partir da observação do índice R_{wp} , calculado pelo software Gsas-II de acordo com a Equação (20), onde $Y_{o,m}$ e $Y_{c,m}$ são os dados observados e calculados, respectivamente, no ponto de dados m ; w_m a ponderação dada ao ponto de dados m que para estatísticas de contagem é dada por $w_m = \sigma(Y_{o,m})^2$, onde $\sigma(Y_{o,m})$ é o erro em $Y_{o,m}$.

$$R_{wp} = \sqrt{\frac{\sum w_m (Y_{o,m} - Y_{c,m})^2}{\sum w_m Y_{o,m}^2}} \quad (20)$$

3.5.2.8 Análises térmicas (TG/DSC)

As análises térmicas (TG/DSC) foram realizadas em 19 testemunhos das placas de concreto, sendo sete do lote 3, seis do lote 4 e seis do lote 5.

O material a ser analisado foi extraído do interior dos testemunhos, da região mais central possível. Buscou-se a extração da argamassa, evitando-se os agregados. O material foi moído manualmente no almofariz, peneirada na peneira #325 e, ao final, conservada em eppendorfs. Posteriormente, as amostras, com aproximadamente 10 mg, foram colocadas em cadinho de platina, aquecidas de 20° a 1000° C a taxa de 20° C/min em atmosfera de nitrogênio.

Os ensaios foram realizados utilizando-se o TA - SDT650 do Laboratório de Filmes Finos – LABFILM da UFPB, ilustrado na Figura 46. O equipamento permitiu a realização simultânea da Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e Termogravimetria (TG), juntamente com a sua curva derivada (DTG).

Figura 46 – Equipamento utilizado nas análises térmicas da pesquisa.

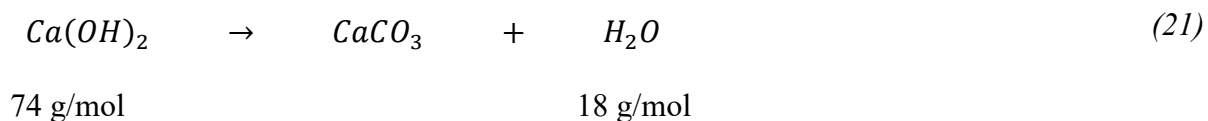


Fonte: Produção do próprio autor.

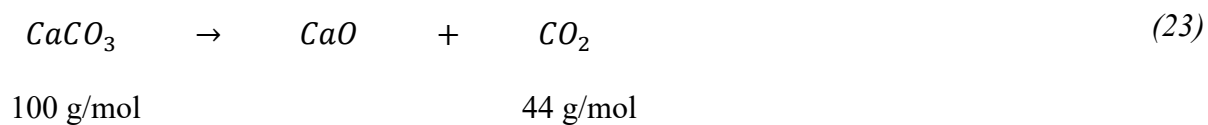
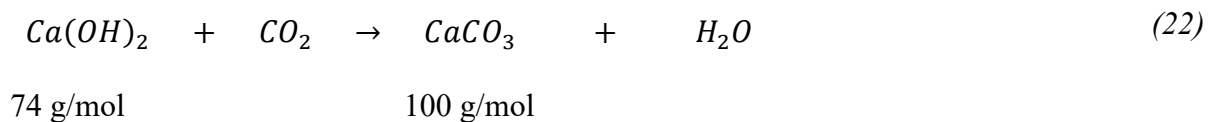
Percentual estimado de Portlandita inicial:

O percentual estimado de Ca(OH)_2 presente nas amostras foi calculada a partir das seguintes reações químicas:

- Desidratação da Portlandita (21):



- Carbonatação (22) e decarbonatação (23):



Pela equação da desidratação da Portlandita (21), podemos estabelecer a seguinte regra de três:

$$\begin{array}{ccc} 74 \text{ g/mol} & \xrightarrow{\quad} & 18 \text{ g/mol} \\ P_1 \text{ (em \%)} & \xrightarrow{\quad} & \Delta m_1 \text{ (em \%)} \end{array}$$

Já pelas equações de Carbonatação (22) e descarbonatação (23) podemos estabelecer a seguinte regra de três:

$$\begin{array}{ccc} 74 \text{ g/mol} & \xrightarrow{\quad} & 44 \text{ g/mol} \\ P_2 \text{ (em \%)} & \xrightarrow{\quad} & \Delta m_2 \text{ (em \%)} \end{array}$$

Assim, a quantidade total estimada de Portlandita de cada amostra será dada pela (24):

$$P = P_1 + P_2 = \frac{74 \cdot \Delta m_1}{18} + \frac{74 \cdot \Delta m_2}{44} \quad (24)$$

Onde,

Δm_1 é o percentual da perda de massa correspondente à desidratação da Portlandita, obtido a partir da curva de TG;

Δm_2 é o percentual da perda de massa de CO_2 , obtido a partir da curva de TG.

A desidratação da Portlandita ((21) ocorre no intervalo entre as temperaturas de 420°C e 550°C . Já a descarbonatação (23) ocorre entre 600°C e 780°C (LIMA FILHO, 2013).

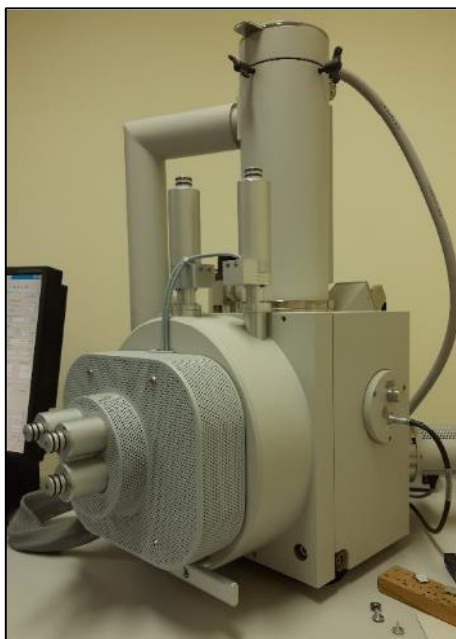
3.5.2.9 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

As análises de microscopia eletrônica de varredura – MEV foram realizadas em três amostras, sendo uma correspondente a cada lote da rodovia, escolhidas dentre aquelas não submetidas aos ensaios mecânicos da pesquisa de modo a não se ter novas microfissuras geradas além daquelas das condições de campo. Assim, os testemunhos selecionados foram ensaiados apenas aos ensaios de frequência ressonante e ultrassom. A quantidade de três amostras, sendo

uma por lote, já seria suficiente para a análise qualitativa da pesquisa e logisticamente viável para a realização dos ensaios.

Foram realizadas utilizando um microscópio eletrônico de varredura FEI QUANTA 450 equipado com EDS (espectroscopia de energia dispersiva de raios X), ilustrado na Figura 47.

Figura 47 – Microscópio Eletrônico de Varredura utilizado na pesquisa.



Fonte: Produção do próprio autor.

O material a ser analisado foi extraído do interior dos testemunhos, da região mais central possível, cortadas com um *Buehlercut off* equipado com serra de diamante de baixa velocidade. Em seguida, as amostras foram impregnadas em resina epóxi, lixadas com lixas de diferentes graduações (400, 800, 1200 e 2000), polidas com pasta diamantada e, por fim, receberam sobre suas superfícies uma fina camada de material condutor (Au – ouro).

Foram feitas imagens no modo retroespalhado em arquivo WD 10 e magnificações de 100x, 500x e 1000x para cada amostra. Para a análise pontual dos elementos químicos presentes, por meio do EDS, foram feitos 3 mapas em regiões diferentes de cada amostra. Em cada mapa foram disparados seis pontos, distribuídos entre as fases agregado e matriz da pasta, observadas em cada mapa.

3.5.2.10 Espectroscopia de infravermelho (IV)

As análises de espectroscopia de absorção na região do infravermelho foram realizadas em 19 testemunhos das placas de concreto, sendo sete do lote 3, seis do lote 4 e seis do lote 5.

O material a ser analisado foi extraído do interior dos testemunhos, da região mais central possível. Buscou-se a extração da argamassa, evitando-se os agregados. O material foi moído manualmente no almofariz, peneirada na peneira #325 e, ao final, conservada em eppendorfs. Posteriormente, as amostras foram misturadas com brometo de potássio (KBr) e prensadas para a obtenção das pastilhas, que foram preparadas visando apenas a análise qualitativa (verificação da presença de fases).

Os ensaios foram realizados em um espectrofotômetro de infravermelho IRTracer-100 - SHIMADZU do Laboratório de Filmes Finos – LABFILM da UFPB, ilustrado na Figura 48.

Figura 48 - Espectrofotômetro de infravermelho utilizado na pesquisa.



Fonte: Produção do próprio autor.

As análises foram realizadas no intervalo espectral de 4000 a 400 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} , com número de varreduras de 40 à temperatura ambiente.

Finalmente, concluída a caracterização dos materiais, foi dada continuidade ao trabalho de levantamento das demais informações nos pontos de interesse, relacionadas com a topografia, tráfego, coeficiente de recalque da fundação da rodovia e meio ambiente.

3.6 Topografia

As variáveis relacionadas com a topografia da rodovia definidas na pesquisa foram as altitudes e declividades longitudinais da rodovia nos pontos de interesse.

Para isso, toda a rodovia foi percorrida de carro, nos dois sentidos de tráfego, registrando todo o seu trajeto com a utilização de um equipamento GPS.

Posteriormente, o trajeto registrado, juntamente com os pontos de extração dos testemunhos de concreto (pontos de interesse), foi lançado no software GPS TrackMaker da empresa Geo Studio Technology Ltda.

A identificação das altitudes foi feita de forma imediata no software. Já as declividades foram calculadas a partir da identificação no software de pequenos segmentos nos quais se situavam os pontos de interesse e das altitudes nas suas extremidades.

3.7 Tráfego

O estudo do tráfego tinha como finalidade a obtenção do número de repetições do eixo padrão (eixo simples de roda dupla com 8,2 tf) em todos os pontos de interesse (pontos de extração dos testemunhos), no período de 2008 a 2019. Para isso, buscou-se os estudos de tráfego realizados na rodovia, desde a fase de projeto até o período pós construção de operação da rodovia.

Foram utilizadas três fontes de dados: os estudos de tráfego dos projetos executivos das obras de adequação de capacidade da BR-101/PB; as contagens de tráfego registradas pelos equipamentos do Plano Nacional de Controle Eletrônico de Velocidade - PNCV, instalados na rodovia no período de interesse; e as contagens de tráfego realizadas em 2014, para elaboração de projeto de sinalização da rodovia (projeto do programa BR Legal).

Consultamos ainda o Plano Nacional de Contagem de Tráfego – PNCT do DNIT. Contudo, uma vez que, na sua metodologia, para a definição dos volumes de tráfego ao longo da BR-101/PB haviam apenas dois postos de monitoramento instalados, optamos por utilizar os dados dos equipamentos do PNCV por entender que maior precisão poderia ser alcançada, visto que este disponibilizava de cinco equipamentos instalados ao longo da rodovia. Além disso, o PNCT foi interrompido entre os anos de 2001 e 2013 e, dessa forma, não abrangia todo o nosso período de estudo.

3.7.1 Volumes de tráfego:

Para verificar os reais volumes de tráfego que operavam na rodovia e as taxas de crescimento reais ocorridas no período de interesse (entre 2008 e 2019) foram levantados os dados de contagem de tráfego registrados pelos equipamentos do Plano Nacional de Controle Eletrônico de Velocidade - PNCV (radares e lombadas eletrônicas), instalados na rodovia e as contagens de tráfego realizadas em 2014, para elaboração de projeto de sinalização da rodovia (projeto do programa BR Legal).

Ao longo da BR-101/PB haviam cinco equipamentos do PNCV instalados no período de interesse: km 17, km 109, km 110, km 119 e km 127. Tais equipamentos faziam registros diários do volume de tráfego dos locais onde estão instalados todos os dias. Contudo, não indicavam a composição do tráfego.

Além dos dados dos equipamentos do PNCV, também foram obtidas contagens realizadas em 2014 para a elaboração de um projeto de sinalização na rodovia (programa BR Legal). As contagens foram realizadas durante sete dias consecutivos em quatro pontos da rodovia (km 25, km 64, km 84 e km 98). Contudo, para a pesquisa utilizamos apenas as contagens do km 64 e do km 98. A composição do tráfego realizada neste projeto foi pouco detalhada e não pôde ser utilizada na pesquisa.

3.7.2 Composições do tráfego:

Os estudos de tráfego dos projetos executivos das obras de adequação de capacidade da BR-101/PB (duplicação da rodovia) foram concluídos no ano de 2002 para os lotes 4 e 5, e no ano de 2004 para o lote 3. Estes apresentavam contagens volumétricas e classificatórias detalhadas de todos os trechos homogêneos de tráfego na rodovia. Assim, para a nossa pesquisa, utilizamos tais dados para definição da composição do tráfego.

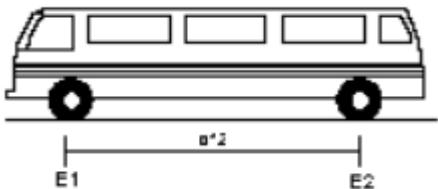
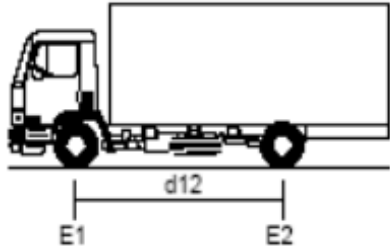
A partir desses dados classificatórios, dividimos a rodovia em sete subtrechos, cada um com uma composição de tráfego distinta. O lote 3 abrangeu três subtrechos; o lote 4 da rodovia abrangeu 1 subtrecho e o lote 5 abrangeu 3 subtrechos, conforme indicado na Tabela 11.

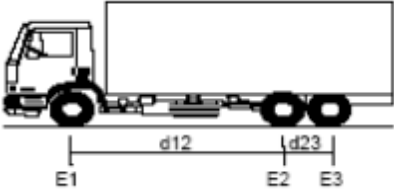
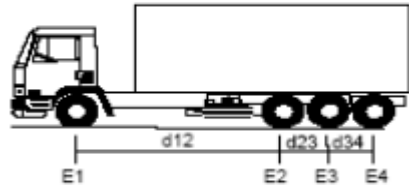
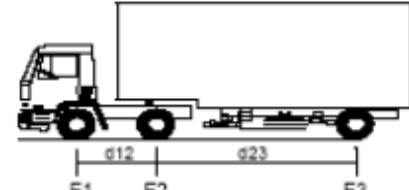
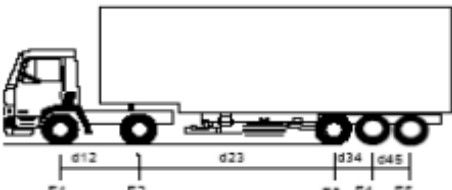
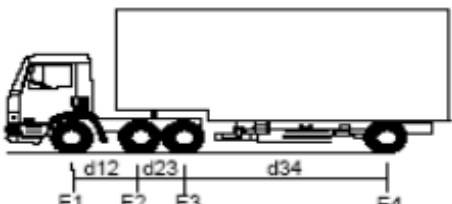
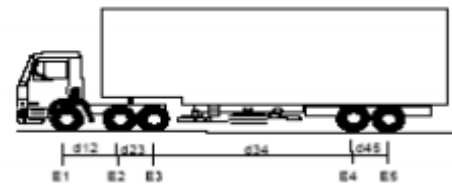
Tabela 11 – Subtrechos da rodovia do estudo de tráfego

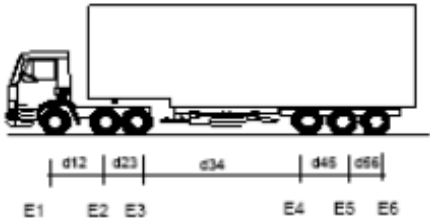
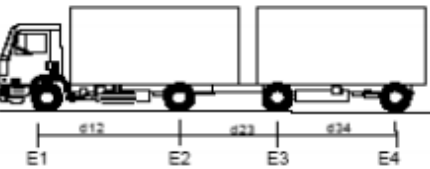
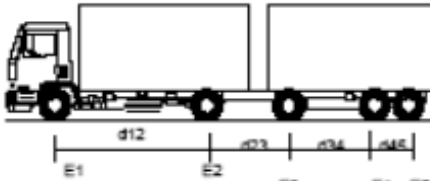
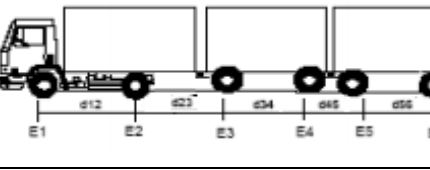
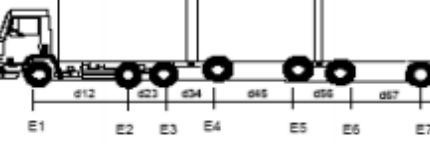
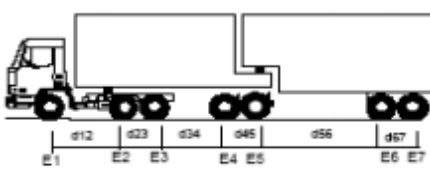
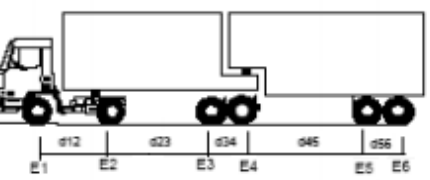
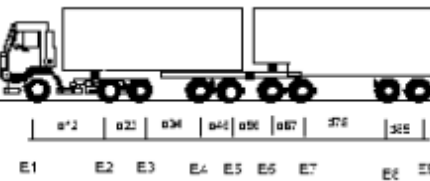
Subtrecho	Lote	Localização		
		Segmento	Início	Final
1	3	Km 0 ao km 6,1	DIV. RN/PB	ENTR PB-065 (Mataraca)
2	3	Km 61 ao km 29,9	ENTR PB-065 (Mataraca)	ENTR PB-071 (Jacaraú)
3	3	Km 29,9 ao km 40	ENTR PB-071 (Jacaraú)	ENTR PB-041 (Mamanguape)
4	4	Km 40 ao km 73,5	ENTR PB-041 (Mamanguape)	ENTR PB-025 (Lucena)
5	5	Km 92,4 ao km 99,4	Distr. Industrial (João Pessoa)	ENTR. PB-018 (Conde)
6	5	Km 99,4 ao km 110,2	ENTR. PB-018 (Conde)	ENTR. PB-034 (Alhandra)
7	5	Km 110,2 ao km 127,7	ENTR. PB-034 ((Alhandra)	DIV. PB/PE

Além dos automóveis (veículos de passeio), as composições de tráfego contaram com os seguintes tipos de veículos comerciais, apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Tipos de veículos comerciais do estudo de tráfego

Veículo	Eixos	Figura
Ônibus	2C	
	3C	
Caminhões	2C	

	3C	
	4C	
Semi-Reboques	2S1	
	2S2	
	2S3	
	3S1	
	3S2	

	3S3	
Reboques	2C2	
	2C3	
	2C2-2	
	3C2-2	
	3S2-S2	
	2S2-S2	
	3S4-2	

Fonte das imagens: DNIT (2006).

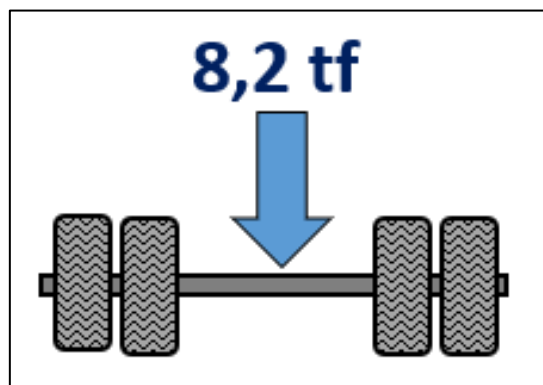
3.7.3 Número N

No dimensionamento de projetos de pavimentação os dados do tráfego são fundamentais pois são a principal fonte de solicitação ao pavimento.

O número N é o número de repetições de um eixo definido como padrão que provocam um efeito equivalente ao do tráfego no pavimento. Trata-se de converter o heterogêneo tráfego de veículos em um número equivalente de eixos-padrão.

O eixo padrão adotado nesta pesquisa é o mesmo do DNIT, que consiste de um eixo simples de roda dupla com carga de 8,2 tf.

Figura 49 – Eixo padrão do DNIT



Fonte: Produção do próprio autor.

No dimensionamento de projetos flexíveis, de acordo com o DNIT (2006), o número de operações do eixo padrão é dado pela Equação (25):

$$N = \sum_{a=1}^{a=p} N_a \quad (25)$$

Onde:

N é o número equivalente de aplicações do eixo padrão durante o período de projeto;

a é o ano do período de projeto;

p é o número de anos do período de projeto;

N_a é o número equivalente de aplicações do eixo padrão durante o ano a , sendo dado de acordo com a Equação (26):

$$N_a = \sum_{i=1}^{i=k} V_{ia} \cdot FV_i \cdot 365 \cdot c \quad (26)$$

Onde:

i é a categoria do veículo, variando de 1 a k ;

V_{ia} é o volume de veículos da categoria i , durante o ano a do período de projeto;

c é o percentual de veículos comerciais na faixa de projeto;

FV_i é o Fator de Veículo de Carga da categoria i .

Já para o dimensionamento de projetos rígidos, é recomendado levantar para o período de projeto o número de repetições dos diferentes eixos agrupados em intervalos de cargas (intervalos de uma tonelada).

Contudo, o objetivo desta pesquisa não era o de projetar o pavimento, mas sim de identificar um número N de repetições do eixo padrão nos pontos de interesse ao longo dos anos que representem o efeito do tráfego no pavimento. Assim, a utilização das Equações (25) e (26) já atenderam esta finalidade.

Para efeito de projeto, considera-se o tráfego na faixa de tráfego mais solicitada, composto apenas pelos veículos comerciais, uma vez que os efeitos dos veículos de passeio são desprezíveis (DNIT, 2006). Assim, para a definição da variável c da Equação (26), na falta de dados, DNIT (2006) indica os valores de referência da Tabela 13:

Tabela 13 – Percentual de veículos comerciais na faixa de projeto (c)

Número de faixas de tráfego da rodovia	Percentual de veículos comerciais na faixa de projeto (c)
2 (pista simples)	50%
4 (pista dupla)	35% a 48%
6 ou mais (pista dupla)	25% a 48%

Fonte: DNIT (2006).

Para a condução desta pesquisa foi mantido o mesmo percentual de veículos comerciais na faixa de projeto do projeto executivo das obras de adequação de capacidade da rodovia, que foi de 40%, conforme distribuição ilustrada na Figura 50.

Figura 50 – Distribuição de veículos comerciais



Fonte: produção do próprio autor.

3.7.3.1 Fator de veículo, fator de eixo e fator de equivalência de carga:

O fator de veículo (FV), presente na Equação (26), é definido a partir da Equação (27):

$$FV = FE \cdot FC \quad (27)$$

Onde:

FE é o fator de eixo;

FC é fator de equivalência de carga.

O fator de eixo é o coeficiente que indica o número de eixos (ou conjunto de eixos) do veículo (dois tandem duplo, um tandem triplo, por exemplo).

Já o fator de equivalência de carga é o fator que permite converter uma aplicação de um eixo solicitado por uma determinada carga em um número de aplicações do eixo-padrão que deverá produzir um efeito equivalente (DNIT, 2006).

Os métodos mais utilizados para a sua determinação são os métodos desenvolvidos pelo *United States Army Corps of Engineers* – USACE e o método da *American Association of State Highway and Transportation Officials* – AASHTO.

No método do USACE, os fatores de equivalência se baseiam nos efeitos do carregamento nas deformações permanentes no pavimento (trilhas de roda). Já no método da AASHTO tais fatores se baseiam na perda da serventia do pavimento (PSI).

Para esta pesquisa foi utilizado o método da AASHTO para a determinação dos fatores de equivalência de carga por entender que este é mais representativo para este objeto de estudo que consiste em relacionar o número N do tráfego em um pavimento rígido (ausência de trilhas de roda) com o ICP, que também é um índice que representa a perda da serventia do pavimento. De acordo com Albuquerque (2007), o número acumulado de solicitações do eixo padrão determinado com os fatores de equivalência da AASHTO, é o mais indicado para a utilização nos modelos de previsão de desempenho, pois ele se relaciona às condições de serventia do pavimento, conforme metodologia que o desenvolveu.

A Tabela 14 apresenta os fatores de equivalência de carga do método da AASHTO, onde P é o peso bruto total sobre o eixo em tf.

Tabela 14 – Fatores de equivalência de carga pelo método da AASHTO.

Eixo	Fator de equivalência de carga
Eixo simples com roda simples	$FC = \left(\frac{P}{7,77}\right)^{4,32}$
Eixo simples com roda dupla	$FC = \left(\frac{P}{8,17}\right)^{4,32}$
Eixo tandem duplo (roda dupla)	$FC = \left(\frac{P}{15,08}\right)^{4,14}$
Eixo tandem triplo (roda dupla)	$FC = \left(\frac{P}{22,95}\right)^{4,22}$

Assim como no projeto executivo das obras de adequação de capacidade da BR-101/PB considerou-se 20% dos veículos comerciais trafegando vazios e os outros 80% deles trafegando com a carga máxima por eixo permitida na Resolução nº 210/2006, acrescida ainda dos 7,5% de tolerância definidos nas Resoluções nº 104/99, e mantida nas Resoluções nº 258/2007 e nº 467/2013, todas do Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN.

Cabe mencionar que a Resolução do CONTRAN nº 803, de 22/10/2020, alterou a tolerância por eixo para 10% dos limites de peso. Contudo, uma vez que o período de análise da pesquisa foi de 2008 a 2019, a tolerância definida nas resoluções anteriores de 7,5% foi considerada.

Assim, os pesos totais considerados sobre cada eixo foram os indicados na Tabela 15.

Tabela 15 – Pesos brutos totais considerados por eixo.

Tipo de eixo	Veículo Carregado			Veículo vazio		
	Peso Bruto sobre o eixo (t)			Peso Bruto sobre o eixo (t)		
	Máximo	Tolerância	Total	Máximo	Tolerância	Total
Simples de rodagem simples	6,0	0,0%	6,0	3,0	0,0%	3,0
Simples de rodagem dupla	10,0	7,5%	10,75	5,0	0,0%	5,0
Tandem duplo (rod. Simples+dupla)	13,5	7,5%	14,51	6,0	0,0%	6,0
Tandem duplo (rodagem dupla)	17,0	7,5%	18,28	6,0	0,0%	6,0
Tandem triplo (rodagem dupla)	25,5	7,5%	27,41	9,0	0,0%	9,0

3.8 Coeficiente de recalque da fundação do pavimento

A norma DNIT 055/2004-ME (DNIT, 2004d) define o coeficiente de recalque, ou módulo de reação, ou módulo de Westergard, como a relação entre a pressão transmitida à fundação da rodovia (subleito ou sub-base) e o deslocamento vertical da área carregada.

De acordo com PITTA (1998a), a determinação do coeficiente de recalque é feita por meio da realização de uma prova de carga estática, na qual é possível correlacionar as pressões transmitidas através de uma placa rígida e os deslocamentos correspondentes.

Na impossibilidade de realização de ensaios de provas de carga se utilizou nesta pesquisa a Tabela 16, presente em PITTA (1998a), na qual relaciona o coeficiente de recalque com o solo presente no subleito.

Tabela 16 – Coeficiente de recalque (k) em função do Índice de suporte Califórnia (CBR) do solo do subleito.

CBR do solo do subleito (%)	Coeficiente de recalque k (Mpa/m)
2	16
3	24
4	30
5	34
6	38
7	41
8	44
9	47
10	49
11	51
12	53
13	54
14	56
15	57
16	59
17	60
18	61
19	62
20	63

Fonte: PITTA (1998a).

Para a definição dos Índices de suporte Califórnia (CBR) nos pontos de interesse (locais de extração dos testemunhos) e, conseqüentemente dos coeficientes de recalque (k), procurou-se identificar as informações levantadas no projeto e execução das obras de adequação de capacidade da BR-101/PB. As seguintes informações relevantes foram identificadas para este fim:

- Localização e CBR das jazidas de solos que forneceram materiais para a obra;
- Planilha de movimentação de terra, apontando a origem e destino dos materiais de terraplenagem de toda a obra. Dessa forma, foi possível identificar os locais de cortes e aterros e quais jazidas forneceram materiais para cada segmento;
- Localização e CBR do terreno natural, realizados a cada 10 estacas (200m) no traçado da rodovia.

De posse dessas informações, se identificou as movimentações de terra de cada ponto de interesse e se adotou os seguintes critérios:

- a) Pontos de interesse em aterros: identificamos as jazidas que foram utilizadas na execução das últimas camadas do aterro (60cm finais) e adotamos o CBR médio da jazida para definir o CBR do solo do subleito.
- b) Pontos de interesse em cortes: nos locais cuja movimentação de terra foi corte, tivemos duas situações:

b.1) Corte com solo melhorado nas camadas finais: nos locais de corte que receberam solo melhorado nas camadas finais (60cm), se considerou o CBR médio da jazida para definir o CBR do solo do subleito;

b.2) Corte sem solo melhorado: nos locais onde não foi necessária a utilização de solo melhorado oriundo de jazidas para as camadas finais (solo do terreno natural já atendia os pré-requisitos de projeto), se considerou o CBR do terreno natural, que foi aquele cujo ensaio realizado na fase de projeto foi mais próximo do ponto de interesse.

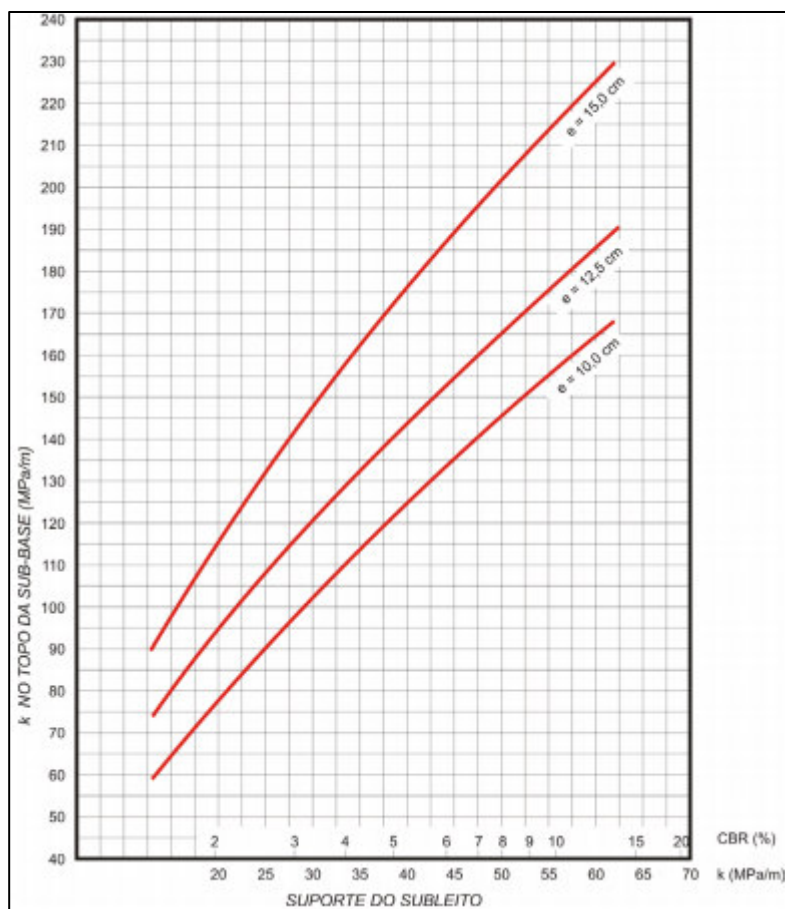
Assim, definidos os Índices de Suporte Califórnia dos solos nos pontos de interesse, os coeficientes de recalque dos subleitos foram obtidos a partir da correlação indicada na Tabela 16.

A utilização de uma sub-base promove um aumento da capacidade de suporte de uma fundação. Assim, seu coeficiente de recalque, antes definido apenas pelo subleito, é majorado pela presença da sub-base.

Os projetos executivos das obras de adequação de capacidade dos três lotes definiram para todo o pavimento rígido da rodovia a execução de uma sub-base de concreto compactado a rolo – CCR (ou concreto rolado) com espessura de 10 centímetros.

O Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (DNIT, 2005) recomenda, sempre que possível, a determinação do coeficiente de recalque por meio de realização de ensaio de prova de carga em conformidade com a norma DNIT 055/2004-ME (DNIT, 2004d). Na impossibilidade de realização da prova de carga, foi utilizado o ábaco da Figura 51, presente DNIT (2005), que relaciona o aumento do coeficiente de recalque (k) em função da presença de sub-base de concreto compactado a rolo – CCR. Tal ábaco também é apresentado em PITTA (1998b).

Figura 51 – Aumento do coeficiente de recalque (k) em função da presença da sub-base de concreto compactado a rolo.



Fonte: DNIT (2005).

Para a definição das espessuras das camadas de sub-base se extraiu 11 testemunhos da camada de CCR, sendo 4 testemunhos do lote 3, 4 testemunhos do lote 4 e outros 3 do lote 5, e utilizou-se a espessura média da camada por lote da rodovia. Tal critério foi adotado pelos seguintes motivos:

- Limitações logísticas, pois seria necessário a extração de mais testemunhos no pavimento;
- Pouca variabilidade observada nas espessuras do CCR dentro de um mesmo lote da rodovia;
- Impossibilidade de definição do aumento do coeficiente de recalque por meio do critério indicado na Figura 51 para espessuras inferiores a 10cm, que foi a espessura definida em projeto.

Assim, os coeficientes de recalque do sistema (subleito + sub-base) foram definidos para todos os pontos de interesse a partir do ábaco da Figura 51.

Cabe mencionar que, de acordo com DNIT (2005), para efeito de elaboração de projeto é recomendável limitar o valor do coeficiente de recalque no topo da sub-base, a ser considerado no cálculo da espessura necessária de concreto, em cerca de 150 Mpa/m. Contudo, uma vez que a finalidade desta pesquisa não era a de projetar o pavimento, mas sim, no caso do coeficiente de recalque, buscar identificar o valor que mais se aproxima da realidade em campo, não se considerou esse limite máximo recomendado para projetos.

3.9 Pluviosidade

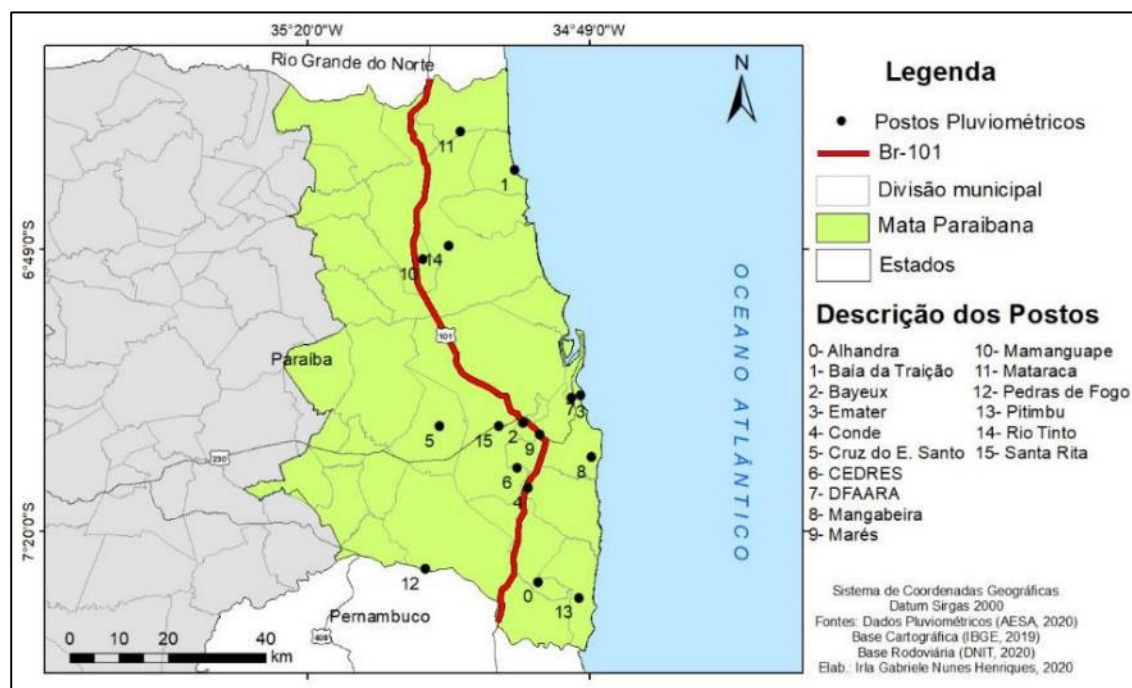
Procurou-se identificar a precipitação pluviométrica média anual em cada um dos 36 pontos de interesse (locais dos testemunhos) no período entre 2009 e 2019.

Para isso, foram levantados na Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba – AESA/PB dados das precipitações anuais neste período da mesorregião da Mata Paraibana onde a rodovia BR-101/PB está situada.

Foram coletados dados de 16 postos pluviométricos: Mataraca, Baía da Traição, Rio Tinto, Mamanguape, Santa Rita, Emater, DFAARA, Bayeux, Cruz do Espírito Santo, Alhandra, Pedra de Fogo, Marés, Mangabeira, Conde, CEDRES e Pitimbu. A Figura 52 ilustra a localização destes postos.

Para identificação das precipitações anuais médias nos pontos de interesse e para a geração do mapa da pluviosidade anual média ao longo de toda a rodovia foi realizada a interpolação dos dados da mesorregião da Mata Paraibana com o uso do software ArcGIS da empresa Environmental Systems Research Institute (ESRI). Se adotou o método da interpolação Ponderação pelo Inverso da Distância (IDW). Tal método foi escolhido por melhor representar os dados levantados.

Figura 52 – Localização dos postos pluviométricos.



Fonte: Produção do próprio autor.

Para a geração do mapa da pluviosidade anual média foi utilizado isoietas com diferença de 2mm para extrair a precipitação média de cada ponto de interesse. As isoietas são linhas curvas que representam pontos de igual pluviosidade.

3.10 Radiação solar

Para os fins da pesquisa procurou-se conhecer a radiação solar nos 36 pontos de interesse da rodovia.

Foram identificadas a radiação solar direta normal, a difusa horizontal e a global horizontal por entender que estas são as mais relevantes para o objeto de estudo.

A base de dados utilizada foi a do Atlas Brasileiro de Energia Solar (PEREIRA et.al, 2017) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, cuja resolução espacial é de 0,1° x 0,1° (aproximadamente 10 km x 10 km).

Com o uso do software ArcGIS da empresa Environmental Systems Research Institute (ESRI) os dados de radiação solar média diária obtidos foram relacionados com o traçado da

rodovia BR-101/PB, permitindo assim a identificação das radiações nos pontos de interesse da pesquisa.

Para fins de modelagem, foi calculada a radiação acumulada multiplicando a radiação média diária pelo número de dias decorridos em cada período analisado.

Finalmente, concluído o levantamento das informações nos pontos de interesse, partiu-se para a elaboração dos modelos de desempenho.

3.11 Modelos de desempenho

Todas as informações levantadas na pesquisa tiveram como finalidade a elaboração dos modelos de desempenho. O primeiro modelo, considerando todas as variáveis exceto àquelas obtidas na caracterização microestrutural. Já o segundo modelo, consistiu da inclusão das variáveis microestruturais ao primeiro modelo.

Os dados levantados caracterizam um estudo longitudinal no campo da estatística, pois foram identificados em três momentos distintos ao longo do tempo.

Para ambos os modelos foram utilizados os métodos de regressão linear múltipla, utilizando como ferramentas os Softwares Microsoft Excel e R Studio.

Foram observadas nas modelagens o atendimento das premissas da regressão linear múltipla, que são:

- Ausência de outliers;
- Os resíduos devem apresentar distribuição normal.
- Deve haver homoscedasticidade;
- Deve haver independência dos resíduos;
- Ausência de multicolinearidade.

Para o atendimento dessas premissas, os dados levantados foram inicialmente transformados. As transformações indicadas na Tabela 17 foram realizadas buscando-se a obtenção do melhor resultado.

Tabela 17 – Transformações de dados realizadas.

Equação	Descrição
$V_{Normalizado} = \sqrt[2]{V}$	Normalização pela raiz quadrada
$V_{Normalizado} = \sqrt[3]{V}$	Normalização pela raiz cúbica
$V_{Normalizado} = \log(V + 1)$	Normalização logarítmica
$V_{Normalizado} = \frac{1}{V + 1}$	Normalização inversa
$V_{Normalizado} = \frac{V - V_{min}}{V_{max} - V_{min}}$	Normalização min - max
$V_{padronizado} = \frac{V - V_{med}}{\sigma}$	Padronização (pela média e desvio padrão)

O modelo Macroestrutural contou inicialmente com 18 variáveis independentes e o ICP como variável dependente, apresentadas na Tabela 18. Todas elas relacionadas com as informações levantadas na pesquisa.

Tabela 18 – Variáveis macroestruturais da modelagem.

Nº	Variável	Tipo	Descrição	Unid.
1	ICP	Dependente	Índice de Condição do Pavimento	-
2	N_acum	Independente	Número N acumulado	und
3	K	Independente	Coefficiente de recalque	Mpa/m
4	Precip_acum	Independente	Precipitação acumulada	mm
5	Rad_gh_acum	Independente	Radiação global horizontal acumulada	Wh/m ²
6	Rad_dif_acum	Independente	Radiação difusa acumulada	Wh/m ²
7	Rad_dn_acum	Independente	Radiação direta normal acumulada	Wh/m ²
8	Altitude	Independente	Altitude	m
9	Decliv	Independente	Declividade	-
10	Decliv_mod	Independente	Declividade em módulo	-
11	Comp	Independente	Comprimento da placa de concreto	m
12	Larg	Independente	Largura da placa de concreto	m
13	Espes	Independente	Espessura da placa de concreto	m

14	M_Elast	Independente	Módulo de elasticidade dinâmico do concreto da placa	GPa
15	Poisson	Independente	Coeficiente de Poisson do concreto da placa	-
16	Rcomp	Independente	Resistência à compressão do concreto da placa	MPa
17	Rtrac	Independente	Resistência à tração do concreto da placa	MPa
18	Carbon	Independente	Frente de carbonatação do concreto da placa	mm
19	MassaEsp	Independente	Massa específica do concreto da placa	Kg/m ³

Para o modelo Microestrutural, as variáveis indicadas na Tabela 19 foram acrescentadas, todas elas obtidas com os ensaios de caracterização microestrutural realizados.

Tabela 19 – Variáveis microestruturais da modelagem

Nº	Variável	Tipo	Descrição	Unid.
1	Carbonatos	Independente	Percentual do total de carbonatos de Cálcio das amostras (calcita, vaterita e hidrotalcita).	% (massa)
2	Etringita	Independente	Percentual de etringita das amostras	% (massa)
3	Portlandita_DRX	Independente	Percentual de portlandita residual das amostras	% (massa)
4	Portlandita_TG	Independente	Percentual de portlandita inicial teórica das amostras	% (massa)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão exibidos no presente capítulo todos os resultados e discussões da pesquisa. Inicialmente, no Capítulo 4.1, serão apresentadas as informações levantadas e produzidas que se converteram em variáveis para as modelagens. Posteriormente, no Capítulo 4.2, serão apresentados os modelos de desempenho elaborados.

4.1 Variáveis

Os resultados das 23 variáveis produzidas na pesquisa, e descritas na Tabela 18 e Tabela 19, são apresentados a seguir.

O ICP, que é a variável dependente dos modelos de desempenho, é apresentado no Capítulo 4.1.1.

Os resultados da caracterização dos materiais, a nível macro e microestrutural, são apresentadas no Capítulo 4.1.2.

Já as variáveis relacionadas com as dimensões das placas de concreto (comprimento, largura e espessura) e com a topografia da rodovia são exibidas no Capítulo 4.1.3 e 4.1.4, respectivamente.

O número N, oriundo do tráfego, e o coeficiente de recalque, que reflete a capacidade de suporte da fundação do pavimento, são apresentadas nos Capítulos 4.1.5 e 4.1.6, respectivamente.

E finalmente, as variáveis ambientais relacionadas com a pluviosidade e com a radiação solar, são exibidas nos Capítulos 4.1.7 e 4.1.8, respectivamente.

4.1.1 ICP:

O ICP ou o Índice de Condição do Pavimento é o parâmetro que caracteriza em determinado momento a condição física do pavimento. Ele é a variável dependente nos modelos de desempenho a serem elaborados.

Conforme detalhado no Capítulo 3.2 foram definidos três ICPs para esta pesquisa: o inicial, quando o pavimento recém construído foi liberado ao tráfego, o de setembro de 2016 e o de novembro de 2019. Seus resultados permitiram observar ainda a evolução da taxa deterioração do pavimento ao longo dos anos.

Para a elaboração dos modelos só seria necessário a identificação dos ICPs nos pontos de interesse (locais de extração dos testemunhos). Contudo, uma vez que a verificação dos percentuais das ocorrências dos defeitos e da taxa de deterioração do pavimento também eram de interesse da pesquisa, um maior levantamento de amostras se fez necessário para sua obtenção com maior precisão.

4.1.1.1 ICP inicial:

O ICP no primeiro ano de operação do tráfego em cada ponto de interesse foi adotado como 100, que é um conceito excelente da condição do pavimento, que se encontrava recém construído.

Conforme descrito no Capítulo 3.2.1, o trabalho nesta etapa da pesquisa foi o de identificar a data de construção do pavimento em cada ponto de interesse para, a partir desta data, adotar o primeiro ano de operação do tráfego.

A Tabela 20 apresenta o ano inicial de construção dos trechos do pavimento em cada ponto de interesse, quando o pavimento se apresentava em condição excelente (ICP = 100).

Tabela 20 – ICP inicial: ano inicial de construção dos trechos do pavimento onde se localizam os pontos de interesse.

Lote	Testemunho	Localização		Data construção	Ano inicial	ICP
		km	Sentido			
3	CP 3.1	5,3	crescente	15/02/2008	2008	100
	CP 3.2	12,9	crescente	30/06/2008	2008	100
	CP 3.3	15,6	crescente	16/11/2007	2008	100
	CP 3.4	36,0	decrésciente	26/03/2008	2008	100
	CP 3.5	31,7	decrésciente	05/11/2008	2009	100
	CP 3.6	27,8	decrésciente	12/08/2008	2009	100
	CP 3.7	22,3	decrésciente	13/10/2007	2008	100
	CP 3.8	10,9	decrésciente	10/02/2009	2009	100
	CP 3.9	3,3	decrésciente	01/03/2008	2008	100
	CP 3.10	6,7	crescente	09/12/2007	2008	100
	CP 3.11	9,4	crescente	13/12/2008	2009	100
	CP 3.12	38,8	decrésciente	19/04/2008	2008	100
4	CP 4.1	44,8	crescente	2008	2008	100
	CP 4.2	46,9	crescente	2008	2008	100
	CP 4.3	51,0	crescente	2008	2008	100
	CP 4.4	55,3	crescente	24/05/2008	2008	100
	CP 4.5	59,6	crescente	13/05/2008	2008	100
	CP 4.6	73,5	decrésciente	2008	2008	100
	CP 4.7	70,6	decrésciente	2008	2008	100
	CP 4.8	69,5	decrésciente	22/03/2008	2008	100
	CP 4.9	44,4	decrésciente	2008	2008	100
	CP 4.10	48,7	crescente	2008	2008	100
	CP 4.11	65,8	decrésciente	20/02/2008	2008	100
	CP 4.12	63,6	decrésciente	03/05/2008	2008	100
5	CP 5.1	127,0	crescente	22/09/2011	2012	100
	CP 5.2	123,4	decrésciente	2008	2008	100
	CP 5.3	122,3	decrésciente	2008	2008	100
	CP 5.4	119,3	decrésciente	2008	2008	100
	CP 5.5	116,0	decrésciente	20/01/2009	2009	100
	CP 5.6	110,7	decrésciente	26/11/2009	2010	100
	CP 5.7	104,1	decrésciente	26/03/2008	2008	100

	CP 5.8	99,7	decrecente	22/10/2008	2009	100	
	CP 5.9	95,9	decrecente	06/03/2009	2009	100	
	CP 5.10	125,9	decrecente	2008	2008	100	
	CP 5.11	113,8	decrecente	26/01/2008	2008	100	
	CP 5.12	107,3	decrecente	04/03/2008	2008	100	
Resumo ICP - inicial							
Trecho					Média	δ	Conceito
Lote 3					100	-	Excelente
Lote 4					100	-	Excelente
Lote 5					100	-	Excelente
BR-101/PB					100	-	Excelente

4.1.1.2 ICP - 2016:

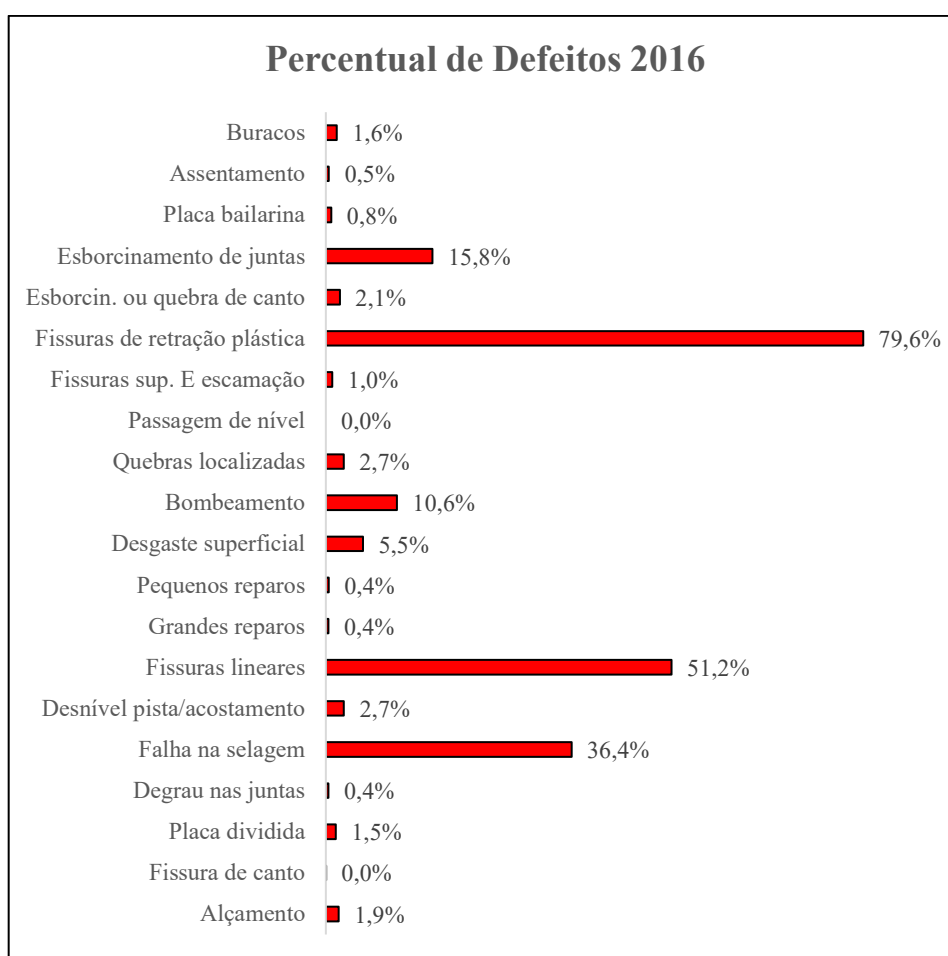
Conforme descrito no Capítulo 3.2.2, foram levantados os defeitos de todas as placas de concreto da pista de rolamento da rodovia. A Tabela 21 e a Figura 53 apresentam os percentuais dos defeitos observados.

Tabela 21 – Quantidade de placas de concreto por defeito da BR-101/PB em set/2016.

Cod.	Defeito	Quantidade				Percentual total
		Lote 3	Lote 4	Lote 5	Total	
1. Placas com defeitos						
1	Alçamento	586	65	91	742	1,94%
2	Fissura de canto	8	8	0	16	0,04%
3	Placa dividida	437	27	108	572	1,50%
4	Degrau nas juntas	51	101	2	154	0,40%
5	Falha na selagem	6926	2877	4096	13899	36,42%
6	Desnível pista/acostamento	151	46	837	1034	2,71%
7	Fissuras lineares	4486	7511	7556	19553	51,24%
8	Grandes reparos	85	57	15	157	0,41%
9	Pequenos reparos	14	38	116	168	0,44%
10	Desgaste superficial	1646	274	189	2109	5,53%
11	Bombeamento	3180	281	568	4029	10,56%
12	Quebras localizadas	43	32	948	1023	2,68%
13	Passagem de nível	0	0	0	0	0,00%
14	Fissuras sup. E escamação	323	40	16	379	0,99%
15	Fissuras de retração plástica	7151	12220	11011	30382	79,62%
16	Esborcin. ou quebra de canto	654	124	31	809	2,12%
17	Esborcinamento de juntas	1480	2811	1752	6043	15,84%
18	Placa bailarina	313	3	0	316	0,83%
19	Assentamento	171	10	2	183	0,48%
20	Buracos	189	104	332	625	1,64%

2. Placas sem defeitos						
1	Placas sem defeitos:	2652	497	0	3149	8,25%
3. Total:						
1	Total de placas de concreto observadas:	13870	13176	11114	38160	100,00%

Figura 53 – Percentual de defeitos do pavimento rígido da BR-101/PB em set/2016.



Fonte: Produção do próprio autor.

Os resultados observados na Tabela 21 e na Figura 53 indicaram grande ocorrência de fissuras de retração plástica e fissuras lineares. Tais resultados, na ocasião, balizaram a sequência da pesquisa, pois a partir deles foram definidos os locais para extração dos testemunhos e investigação das características dos materiais. A grande incidência de fissuras

identificadas naquele momento como fissuras de retração plástica e lineares poderiam, posteriormente, após a caracterização micro estrutural, se identificar reações expansivas no interior do concreto como a real causa.

Posteriormente, foram calculados os ICPs de cada lote e da rodovia toda. Conforme se observa na Tabela 22, foram definidas 30 amostras para cada lote, totalizando 90 amostras para BR-101/PB. Dessa forma, obteve-se com maior precisão os conceitos de *muito bom* para o lote 4 e de *bom* para os lotes 3, 5 e rodovia completa.

Cabe mencionar que, para as modelagens, fez-se uso apenas dos ICPs nos pontos de interesse, que se encontravam entre as 90 amostras definidas para o cálculo do ICP médio de cada lote e da rodovia toda naquele momento.

Tabela 22 – Resultados do ICP em setembro de 2016.

Nº	Lote	Amostra	Segmento		Sentido	ICP	Conceito	Testemunho
			km inicial	km final				
1	3	1	5,2	5,3	Crescente	65	Bom	CP 3.1
2		2	6,6	6,7	Crescente	51	Razoável	CP 3.10
3		3	8,0	8,1	Crescente	80	Muito Bom	-
4		4	9,4	9,4	Crescente	80	Muito Bom	CP 3.11
5		5	10,8	10,8	Crescente	70	Muito Bom	-
6		6	12,9	12,9	Crescente	69	Bom	CP 3.2
7		7	14,2	14,3	Crescente	70	Bom	-
8		8	15,6	15,7	Crescente	71	Muito Bom	CP 3.3
9		9	17,0	17,1	Crescente	58	Bom	-
10		10	18,4	18,5	Crescente	85	Excelente	-
11		11	40,2	40,3	Decrescente	74	Muito Bom	-
12		12	38,8	38,8	Decrescente	66	Bom	CP 3.12
13		13	37,4	37,4	Decrescente	73	Muito Bom	-
14		14	36,0	36,1	Decrescente	56	Bom	CP 3.4
15		15	34,6	34,7	Decrescente	60	Bom	-
16		16	33,3	33,3	Decrescente	61	Bom	-
17		17	31,7	31,7	Decrescente	32	Ruim	CP 3.5
18		18	30,5	30,5	Decrescente	75	Muito Bom	-
19		19	29,1	29,2	Decrescente	51	Razoável	-
20		20	27,7	27,8	Decrescente	46	Razoável	CP 3.6
21		21	26,4	26,4	Decrescente	64	Bom	-
22		22	25,0	25,0	Decrescente	58	Bom	-
23		23	23,6	23,6	Decrescente	78	Muito Bom	-
24		24	22,2	22,3	Decrescente	66	Bom	CP 3.7
25		25	20,8	20,9	Decrescente	44	Razoável	-
26		26	19,5	19,5	Decrescente	64	Bom	-
27		27	12,3	12,3	Decrescente	85	Excelente	-

28		28	10,9	10,9	Decrescente	53	Razoável	CP 3.8
29		29	3,3	3,4	Decrescente	70	Muito Bom	CP 3.9
30		30	1,9	2,0	Decrescente	82	Muito Bom	-
31	4	1	44,5	44,6	Crescente	63	Bom	CP 4.1
32		2	45,6	45,6	Crescente	74	Muito Bom	-
33		3	46,6	46,7	Crescente	54	Razoável	CP 4.2
34		4	47,7	47,7	Crescente	68	Bom	-
35		5	48,7	48,8	Crescente	65	Bom	CP 4.10
36		6	49,8	49,8	Crescente	74	Muito Bom	-
37		7	50,8	50,9	Crescente	67	Bom	CP 4.3
38		8	51,9	51,9	Crescente	70	Bom	-
39		9	52,9	53,0	Crescente	70	Bom	-
40		10	54,0	54,0	Crescente	66	Bom	-
41		11	55,0	55,1	Crescente	75	Muito Bom	CP 4.4
42		12	56,1	56,1	Crescente	73	Muito Bom	-
43		13	57,1	57,2	Crescente	72	Muito Bom	-
44		14	58,2	58,2	Crescente	75	Muito Bom	-
45		15	59,2	59,3	Crescente	71	Muito Bom	CP 4.5
46		16	73,5	73,6	Decrescente	55	Bom	CP 4.6
47		17	72,4	72,5	Decrescente	73	Muito Bom	-
48		18	71,3	71,4	Decrescente	80	Muito Bom	-
49		19	70,2	70,3	Decrescente	93	Excelente	CP 4.7
50		20	69,1	69,2	Decrescente	98	Excelente	CP 4.8
51		21	68,0	68,1	Decrescente	95	Excelente	-
52		22	66,9	67,0	Decrescente	79	Muito Bom	-
53		23	65,8	65,9	Decrescente	96	Excelente	CP 4.11
54		24	64,7	64,8	Decrescente	73	Muito Bom	-
55		25	63,6	63,7	Decrescente	72	Muito Bom	CP 4.12
56		26	62,5	62,6	Decrescente	95	Excelente	-
57		27	61,4	61,5	Decrescente	84	Muito Bom	-
58		28	44,2	44,2	Decrescente	75	Muito Bom	CP 4.9
59		29	43,0	43,0	Decrescente	71	Muito Bom	-
60		30	41,8	41,9	Decrescente	60	Bom	-
61	5	1	127,1	127,1	Crescente	91	Excelente	CP 5.1
62		2	126,9	127,0	Decrescente	73	Muito Bom	-
63		3	125,8	125,9	Decrescente	27	Ruim	CP 5.10
64		4	124,8	124,8	Decrescente	35	Ruim	-
65		5	123,5	123,6	Decrescente	23	Muito Ruim	CP 5.2
66		6	122,3	122,4	Decrescente	63	Bom	CP 5.3
67		7	121,2	121,3	Decrescente	68	Bom	-
68		8	119,2	119,3	Decrescente	35	Ruim	CP 5.4
69		9	118,1	118,1	Decrescente	57	Bom	-
70		10	117,0	117,0	Decrescente	69	Bom	-
71		11	115,9	116,0	Decrescente	66	Bom	CP 5.5
72		12	114,8	114,9	Decrescente	63	Bom	-
73		13	113,8	113,8	Decrescente	70	Bom	CP 5.11
74		14	112,7	112,7	Decrescente	93	Excelente	-
75		15	111,6	111,6	Decrescente	78	Muito Bom	-
76		16	110,5	110,6	Decrescente	74	Muito Bom	CP 5.6
77		17	109,4	109,5	Decrescente	78	Muito Bom	-
78		18	108,4	108,4	Decrescente	72	Muito Bom	-
79		19	107,3	107,3	Decrescente	66	Bom	CP 5.12

80	20	106,2	106,2	Decrescente	69	Bom	-
81	21	105,1	105,2	Decrescente	67	Bom	-
82	22	104,0	104,1	Decrescente	69	Bom	CP 5.7
83	23	103,0	103,0	Decrescente	66	Bom	-
84	24	101,9	101,9	Decrescente	66	Bom	-
85	25	100,8	100,8	Decrescente	68	Bom	-
86	26	99,7	99,8	Decrescente	51	Razoável	CP 5.8
87	27	98,6	98,7	Decrescente	62	Bom	-
88	28	97,6	97,6	Decrescente	64	Bom	-
89	29	96,5	96,5	Decrescente	60	Bom	-
90	30	95,7	95,8	Decrescente	59	Bom	CP 5.9

Resumo ICP - 2016			
Trecho	Média	δ	Conceito
Lote 3	66	13	Bom
Lote 4	73	12	Muito Bom
Lote 5	66	16	Bom
BR-101/PB	69	14	Bom

4.1.1.3 ICP - 2019:

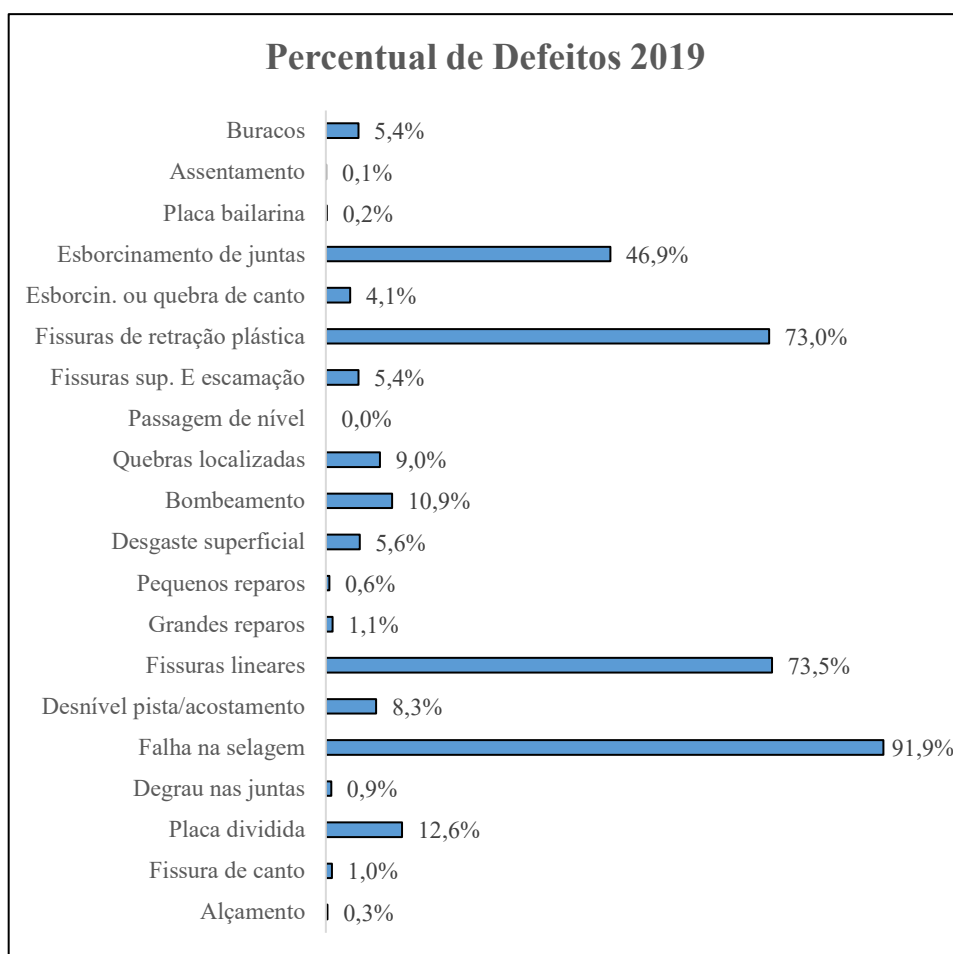
Conforme descrito no Capítulo 3.2.3, o levantamento de defeitos neste momento teve como finalidade a obtenção dos ICPs nos pontos de interesse, de modo a se observar a taxa de deterioração em cada ponto investigado e os utilizar na elaboração dos modelos de desempenho. A Tabela 24 e a Figura 54 apresentam os percentuais dos defeitos observados.

Tabela 23 – Quantidade de placas de concreto por defeito da BR-101/PB em nov/2019.

Cod.	Defeito	Quantidade				Percentual total
		Lote 3	Lote 4	Lote 5	Total	
1. Placas com defeitos						
1	Alçamento	3	0	0	3	0,31%
2	Fissura de canto	4	2	4	10	1,04%
3	Placa dividida	101	2	18	121	12,60%
4	Degrau nas juntas	6	3	0	9	0,94%
5	Falha na selagem	254	318	310	882	91,88%
6	Desnível pista/acostamento	43	11	26	80	8,33%
7	Fissuras lineares	115	305	286	706	73,54%
8	Grandes reparos	1	0	10	11	1,15%
9	Pequenos reparos	0	0	6	6	0,63%
10	Desgaste superficial	16	37	1	54	5,63%
11	Bombeamento	77	10	18	105	10,94%
12	Quebras localizadas	3	25	58	86	8,96%

13	Passagem de nível	0	0	0	0	0,00%
14	Fissuras sup. E escamação	7	29	16	52	5,42%
15	Fissuras de retração plástica	119	273	309	701	73,02%
16	Esborcin. ou quebra de canto	21	11	7	39	4,06%
17	Esborcinamento de juntas	90	187	173	450	46,88%
18	Placa bailarina	2	0	0	2	0,21%
19	Assentamento	1	0	0	1	0,10%
20	Buracos	9	14	29	52	5,42%
2. Placas sem defeitos						
1	Placas sem defeitos:				0	0,00%
3. Total:						
1	Total de placas de concreto analisadas:	320	320	320	960	100,00%

Figura 54 – Percentual de defeitos do pavimento rígido da BR-101/PB em nov/2019.



Fonte: Produção do próprio autor.

Contudo, de modo a permitir o cálculo do ICP médio de cada lote e da rodovia toda, realizou-se o levantamento dos defeitos em mais quatro amostras por lote, além das 12 dos pontos de interesse, totalizando 16 amostras por lote e 48 para toda BR-101/PB. Isso porque, conforme já mencionado no Capítulo 3.2.2 o número mínimo de amostras calculado foi de 16 amostras por lote.

Os resultados dos ICPs de novembro de 2019 são apresentados na Tabela 24.

Tabela 24 - Resultados do ICP em novembro de 2019.

Nº	Lote	Amostra	Segmento		Sentido	ICP	Conceito	Testemunho
			km inicial	km final				
1	3	1	5,2	5,3	Crescente	60	Bom	CP 3.1
2		2	6,6	6,7	Crescente	28	Ruim	CP 3.10
3		4	9,4	9,4	Crescente	51	Razoável	CP 3.11
4		6	12,9	12,9	Crescente	50	Razoável	CP 3.2
5		8	15,6	15,7	Crescente	62	Bom	CP 3.3
6		9	17,0	17,1	Crescente	41	Razoável	-
7		12	38,8	38,8	Decrescente	35	Ruim	CP 3.12
8		14	36,0	36,1	Decrescente	50	Razoável	CP 3.4
9		15	34,6	34,7	Decrescente	57	Bom	-
10		17	31,7	31,7	Decrescente	24	Muito Ruim	CP 3.5
11		20	27,7	27,8	Decrescente	41	Razoável	CP 3.6
12		22	25,0	25,0	Decrescente	39	Ruim	-
13		24	22,2	22,3	Decrescente	41	Razoável	CP 3.7
14		25	20,8	20,9	Decrescente	24	Muito Ruim	-
15		28	10,9	10,9	Decrescente	36	Ruim	CP 3.8
16		29	3,3	3,4	Decrescente	58	Bom	CP 3.9
17	4	1	44,5	44,6	Crescente	18	Muito Ruim	CP 4.1
18		3	46,6	46,7	Crescente	50	Razoável	CP 4.2
19		5	48,7	48,8	Crescente	59	Bom	CP 4.10
20		7	50,8	50,9	Crescente	57	Bom	CP 4.3
21		9	52,9	53,0	Crescente	54	Razoável	-
22		11	55,0	55,1	Crescente	67	Bom	CP 4.4
23		13	57,1	57,2	Crescente	52	Razoável	-
24		15	59,2	59,3	Crescente	69	Bom	CP 4.5
25		16	73,5	73,6	Decrescente	24	Muito Ruim	CP 4.6
26		17	72,4	72,5	Decrescente	49	Razoável	-
27		19	70,2	70,3	Decrescente	63	Bom	CP 4.7
28		20	69,1	69,2	Decrescente	71	Muito Bom	CP 4.8
29		21	68,0	68,1	Decrescente	69	Bom	-
30		23	65,8	65,9	Decrescente	69	Bom	CP 4.11
31		25	63,6	63,7	Decrescente	70	Muito Bom	CP 4.12
32		28	44,2	44,2	Decrescente	57	Bom	CP 4.9
33	5	1	127,1	127,1	Crescente	73	Muito Bom	CP 5.1
34		2	126,9	127,0	Decrescente	61	Bom	-

35	3	125,8	125,9	Decrescente	10	Muito Ruim	CP 5.10
36	5	123,5	123,6	Decrescente	14	Muito Ruim	CP 5.2
37	6	122,3	122,4	Decrescente	43	Razoável	CP 5.3
38	8	119,2	119,3	Decrescente	12	Muito Ruim	CP 5.4
39	9	118,1	118,1	Decrescente	32	Ruim	-
40	11	115,9	116,0	Decrescente	39	Ruim	CP 5.5
41	13	113,8	113,8	Decrescente	57	Bom	CP 5.11
42	16	110,5	110,6	Decrescente	53	Razoável	CP 5.6
43	18	108,4	108,4	Decrescente	52	Razoável	-
44	19	107,3	107,3	Decrescente	55	Razoável	CP 5.12
45	22	104,0	104,1	Decrescente	48	Razoável	CP 5.7
46	23	103,0	103,0	Decrescente	61	Bom	-
47	26	99,7	99,8	Decrescente	35	Ruim	CP 5.8
48	30	95,7	95,8	Decrescente	46	Razoável	CP 5.9
Resumo ICP - 2019							
Trecho					Média	δ	Conceito
Lote 3					41	12	Razoável
Lote 4					58	16	Bom
Lote 5					47	19	Razoável
BR-101/PB					50	17	Razoável

4.1.1.4 ICPs nos pontos de interesse

Conforme se apresentou nos itens anteriores, os levantamentos e cálculos dos ICPs foram além das amostras dos pontos de interesse.

A Tabela 25 apresenta apenas os ICPs nos pontos de interesse nos três momentos distintos levantados (início de operação, setembro/2016 e novembro/2019). Tais dados foram utilizados na matriz inicial dos modelos como variável dependente fornecendo 108 amostras no total (36 locais em três momentos).

Tabela 25 – ICPs dos pontos de interesse nos três momentos distintos.

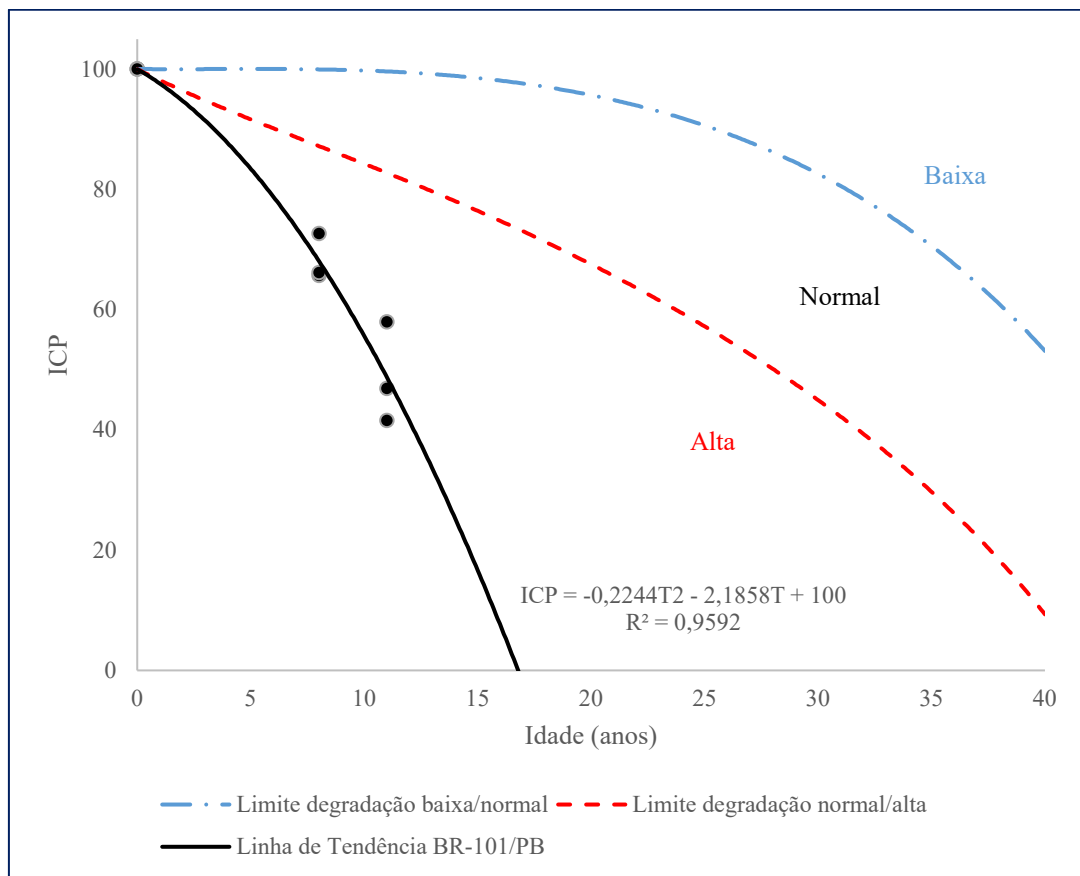
Nº	Testemunho	ICP						
		Ano inicial			2016		2019	
		Ano	Valor	Conceito	Valor	Conceito	Valor	Conceito
1	CP 3.1	2008	100	Excelente	65	Bom	60	Bom
2	CP 3.2	2008	100	Excelente	69	Bom	50	Razoável
3	CP 3.3	2008	100	Excelente	71	Muito Bom	62	Bom
4	CP 3.4	2008	100	Excelente	56	Bom	50	Razoável
5	CP 3.5	2009	100	Excelente	32	Ruim	24	Muito Ruim
6	CP 3.6	2009	100	Excelente	46	Razoável	41	Razoável

7	CP 3.7	2008	100	Excelente	66	Bom	41	Razoável
8	CP 3.8	2009	100	Excelente	53	Razoável	36	Ruim
9	CP 3.9	2008	100	Excelente	70	Muito Bom	58	Bom
10	CP 3.10	2008	100	Excelente	51	Razoável	28	Ruim
11	CP 3.11	2009	100	Excelente	80	Muito Bom	51	Razoável
12	CP 3.12	2008	100	Excelente	66	Bom	35	Ruim
13	CP 4.1	2008	100	Excelente	63	Bom	18	Muito Ruim
14	CP 4.2	2008	100	Excelente	54	Razoável	50	Razoável
15	CP 4.3	2008	100	Excelente	67	Bom	57	Bom
16	CP 4.4	2008	100	Excelente	75	Muito Bom	67	Bom
17	CP 4.5	2008	100	Excelente	71	Muito Bom	69	Bom
18	CP 4.6	2008	100	Excelente	55	Bom	24	Muito Ruim
19	CP 4.7	2008	100	Excelente	93	Excelente	63	Bom
20	CP 4.8	2008	100	Excelente	98	Excelente	71	Muito Bom
21	CP 4.9	2008	100	Excelente	75	Muito Bom	57	Bom
22	CP 4.10	2008	100	Excelente	65	Bom	59	Bom
23	CP 4.11	2008	100	Excelente	96	Excelente	69	Bom
24	CP 4.12	2008	100	Excelente	72	Muito Bom	70	Muito Bom
25	CP 5.1	2012	100	Excelente	91	Excelente	73	Muito Bom
26	CP 5.2	2008	100	Excelente	23	Muito Ruim	14	Muito Ruim
27	CP 5.3	2008	100	Excelente	63	Bom	43	Razoável
28	CP 5.4	2008	100	Excelente	35	Ruim	12	Muito Ruim
29	CP 5.5	2009	100	Excelente	66	Bom	39	Ruim
30	CP 5.6	2010	100	Excelente	74	Muito Bom	53	Razoável
31	CP 5.7	2008	100	Excelente	69	Bom	48	Razoável
32	CP 5.8	2009	100	Excelente	51	Razoável	35	Ruim
33	CP 5.9	2009	100	Excelente	59	Bom	46	Razoável
34	CP 5.10	2008	100	Excelente	27	Ruim	10	Muito Ruim
35	CP 5.11	2008	100	Excelente	70	Bom	57	Bom
36	CP 5.12	2008	100	Excelente	66	Bom	55	Razoável

4.1.1.5 Taxa de deterioração do pavimento de concreto da rodovia

A partir da obtenção do ICP – médio de cada um dos três lotes da rodovia nos três momentos distintos (totalizando nove observações), indicados nas Tabelas 20, 22 e 24, foi traçada a curva de deterioração do pavimento a longo prazo, indicado na Figura 55. Para isso, foi necessário a consideração de um único ano para o início da operação de toda a rodovia. Com base nas datas identificadas na Tabela 20 considerou-se o ano de 2008 para este fim.

Figura 55 – Taxa de deterioração do pavimento rígido da BR-101/PB a longo prazo.



Fonte: Produção do próprio autor.

Os limites da Figura 55 que diferenciam as taxas de deterioração entre baixa, normal e alta são as mesmas definidas por USACE (1982). Observa-se que, dessa forma, o pavimento rígido da BR-101/PB se enquadra numa taxa de deterioração alta a longo prazo. Contudo, cabe mencionar que o projeto executivo do pavimento rígido da BR-101/PB foi elaborado para uma vida útil de 20 anos, bem abaixo dos limites de degradação definidas pelo USACE (1982) na época.

4.1.2 Caracterização dos materiais:

Conforme mencionado no Capítulo 3.5, para a caracterização física, química e mineralógica dos concretos que compunham as placas do pavimento da BR-101/PB, foram realizados ensaios de frequência ressonante, ultrassom, esclerometria, resistência à compressão

axial, resistência à tração por compressão diametral, carbonatação com solução de fenolftaleína e os ensaios de caracterização microestrutural. Tais ensaios forneceram as seguintes propriedades e características do material: módulo de elasticidade, coeficiente do Poisson, resistência à compressão axial, resistência à tração, frente de carbonatação e percentuais das fases da parcela cristaliza dos materiais.

Importante lembrar que, conforme descrito no capítulo 3.3, seguindo as recomendações da norma ABNT NBR – 7680-1 (2015), os testemunhos foram devidamente preparados para a realização dos ensaios, tendo suas duas faces cortadas e/ou lixadas. Consequentemente, suas alturas finais foram reduzidas em relação àquelas extraídas do pavimento, que indicaram as espessuras das placas de concreto nos pontos de interesse.

4.1.2.1 Massa específica

As massas específicas dos testemunhos, calculadas conforme descrito Capítulo 3.5.1, são apresentadas na Tabela 26.

Tabela 26 - Massas específicas dos testemunhos de concreto.

Lote	Testemunho	Altura (mm)					Diâmetro (mm)			Massa (Kg)	Massa específica (Kg/m³)
		h1	h2	h3	h4	média	d1	d2	média		
3	CP 3.1	200,4	200,0	199,6	199,1	199,8	100,7	100,6	100,7	3,577	2250
	CP 3.2	199,3	199,8	200,0	199,6	199,7	100,6	100,7	100,7	3,611	2273
	CP 3.3	190,1	190,2	190,4	190,2	190,2	100,4	100,4	100,4	3,417	2269
	CP 3.4	199,3	198,4	198,1	198,9	198,7	100,8	100,9	100,9	3,641	2294
	CP 3.5	192,4	191,3	191,0	191,8	191,6	100,7	100,7	100,7	3,402	2230
	CP 3.6	180,1	179,8	179,2	179,8	179,8	100,5	100,6	100,6	3,291	2305
	CP 3.7	192,8	192,4	192,8	193,2	192,8	100,9	100,7	100,8	3,487	2266
	CP 3.8	197,9	196,9	197,9	197,3	197,6	100,9	100,9	100,9	3,570	2259
	CP 3.9	198,5	198,9	198,6	199,9	198,8	100,8	100,8	100,8	3,660	2308
	CP 3.10	193,4	192,8	192,6	192,6	192,7	100,4	100,3	100,4	3,565	2339
	CP 3.11	192,2	191,3	191,8	192,9	192,0	100,9	100,9	100,9	3,510	2286
	CP 3.12	189,8	189,3	190,0	189,9	189,9	100,9	100,9	100,9	3,457	2277
4	CP 4.1	196,7	197,6	197,8	197,6	197,6	100,7	100,7	100,7	3,526	2241
	CP 4.2	199,8	201,1	201,1	201,4	201,1	100,8	100,8	100,8	3,690	2299
	CP 4.3	195,8	195,3	196,7	197,4	196,3	100,7	100,7	100,7	3,548	2270
	CP 4.4	192,3	192,8	192,7	192,6	192,7	101,0	100,9	101,0	3,632	2355
	CP 4.5	197,0	197,5	197,5	197,0	197,3	100,9	100,8	100,9	3,695	2345
	CP 4.6	196,9	197,3	197,7	197,8	197,5	100,7	100,8	100,8	3,523	2237

	CP 4.7	200,7	200,5	200,7	200,9	200,7	100,8	100,7	100,8	3,621	2263
	CP 4.8	197,8	196,9	197,3	198,5	197,6	100,9	100,9	100,9	3,558	2252
	CP 4.9	195,6	195,3	195,2	195,3	195,3	100,8	100,7	100,8	3,437	2208
	CP 4.10	191,4	191,8	191,5	191,1	191,5	100,8	100,8	100,8	3,541	2318
	CP 4.11	193,7	194,2	193,7	193,8	193,8	100,7	100,8	100,8	3,546	2296
	CP 4.12	190,3	189,9	189,9	190,0	190,0	100,8	100,9	100,9	3,555	2343
5	CP 5.1	199,7	199,5	200,0	200,0	199,9	100,3	100,4	100,4	3,712	2348
	CP 5.2	198,8	199,0	198,8	198,6	198,8	100,7	100,9	100,8	3,766	2374
	CP 5.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	CP 5.4	199,2	199,5	199,7	199,5	199,5	100,7	100,8	100,8	3,776	2374
	CP 5.5	198,8	199,4	200,4	199,6	199,5	100,9	100,9	100,9	3,805	2385
	CP 5.6	181,6	180,9	180,7	181,6	181,3	100,9	100,8	100,9	3,498	2416
	CP 5.7	199,1	199,6	199,3	199,4	199,4	100,7	100,7	100,7	3,830	2412
	CP 5.8	199,4	199,4	199,9	200,1	199,7	100,9	100,8	100,9	3,795	2380
	CP 5.9	198,9	198,7	198,5	198,7	198,7	100,5	100,6	100,6	3,739	2370
	CP 5.10	163,2	163,8	162,2	161,4	162,7	100,9	100,7	100,8	3,114	2399
	CP 5.11	178,2	177,9	177,8	177,9	177,9	100,8	100,8	100,8	3,382	2382
	CP 5.12	167,1	167,4	167,3	167,2	167,3	100,6	100,7	100,7	3,200	2405
Resumo Massa Específica											
Trecho						Média		δ			
Lote 3						2280 Kg/m ³		29 Kg/m ³			
Lote 4						2286 Kg/m ³		48 Kg/m ³			
Lote 5						2386 Kg/m ³		20 Kg/m ³			
BR-101/PB						2315 Kg/m ³		59 Kg/m ³			

4.1.2.2 Módulo de elasticidade

Os módulos de elasticidade dinâmicos dos concretos foram obtidos através do ensaio de frequência ressonante nos testemunhos de concreto, descritos no capítulo 3.5.2.1. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 27.

Tabela 27 – Módulos de elasticidade dinâmicos dos concretos das placas do pavimento.

Lote	Testemunho	Altura (m)	Diâmetro (m)	Massa (Kg)	Frequência natural (Hz)	Módulo de elasticidade dinâmico (Gpa)
3	CP 3.1	0,200	0,101	3,577	9783	34,39
	CP 3.2	0,200	0,101	3,611	9763	34,56
	CP 3.3	0,190	0,100	3,417	10370	35,31
	CP 3.4	0,199	0,101	3,641	10300	38,43

	CP 3.5	0,192	0,101	3,402	10260	34,46
	CP 3.6	0,180	0,101	3,291	11350	38,40
	CP 3.7	0,193	0,101	3,487	10360	36,17
	CP 3.8	0,198	0,101	3,570	9763	33,63
	CP 3.9	0,199	0,101	3,660	10290	38,62
	CP 3.10	0,193	0,100	3,565	10190	36,07
	CP 3.11	0,192	0,101	3,510	10520	37,31
	CP 3.12	0,190	0,101	3,457	10590	36,83
4	CP 4.1	0,198	0,101	3,526	8131	23,14
	CP 4.2	0,201	0,101	3,690	8230	25,19
	CP 4.3	0,196	0,101	3,548	8405	24,71
	CP 4.4	0,193	0,101	3,632	9223	29,75
	CP 4.5	0,197	0,101	3,695	9051	29,90
	CP 4.6	0,198	0,101	3,523	7595	20,14
	CP 4.7	0,201	0,101	3,621	8133	24,12
	CP 4.8	0,198	0,101	3,558	8960	28,23
	CP 4.9	0,195	0,101	3,437	9216	28,61
	CP 4.10	0,192	0,101	3,541	8574	24,99
	CP 4.11	0,194	0,101	3,546	8155	22,93
	CP 4.12	0,190	0,101	3,555	9590	31,11
5	CP 5.1	0,200	0,100	3,712	8454	26,82
	CP 5.2	0,199	0,101	3,766	9452	33,53
	CP 5.3	-	-	-	-	-
	CP 5.4	0,200	0,101	3,776	8111	24,86
	CP 5.5	0,200	0,101	3,805	8632	28,29
	CP 5.6	0,181	0,101	3,498	11140	39,41
	CP 5.7	0,199	0,101	3,830	10260	40,38
	CP 5.8	0,200	0,101	3,795	9084	31,32
	CP 5.9	0,199	0,101	3,739	8788	28,90
	CP 5.10	0,163	0,101	3,1142	10230	26,58
	CP 5.11	0,178	0,101	3,3822	9205	25,55
	CP 5.12	0,167	0,101	3,2003	10290	28,49

Resumo Módulo de Elasticidade Dinâmico		
Trecho	Média	δ
Lote 03	36,18 GPa	1,75 Gpa
Lote 04	26,07 GPa	3,38 Gpa
Lote 05	30,38 GPa	5,32 Gpa
BR-101/PB	30,89 GPa	5,59 Gpa

Utilizando a Equação (14), definida por Lydon,& Balendran (1986), foi possível estimar os módulos de elasticidade estáticos dos concretos das placas. Os resultados são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 – Módulos de elasticidade estáticos dos concretos das placas do pavimento.

Lote	Testemunho	Módulo de elasticidade estático (GPa)
3	CP 3.1	28,65
	CP 3.2	28,80
	CP 3.3	29,43
	CP 3.4	32,03
	CP 3.5	28,71
	CP 3.6	32,00
	CP 3.7	30,14
	CP 3.8	28,03
	CP 3.9	32,18
	CP 3.10	30,06
	CP 3.11	31,09
	CP 3.12	30,69
4	CP 4.1	19,28
	CP 4.2	20,99
	CP 4.3	20,59
	CP 4.4	24,79
	CP 4.5	24,92
	CP 4.6	16,78
	CP 4.7	20,10
	CP 4.8	23,53
	CP 4.9	23,84
	CP 4.10	20,82
	CP 4.11	19,11
	CP 4.12	25,92
5	CP 5.1	22,35
	CP 5.2	27,94
	CP 5.4	20,72
	CP 5.5	23,58
	CP 5.6	32,84
	CP 5.7	33,65
	CP 5.8	26,09
	CP 5.9	24,08
	CP 5.10	22,15
	CP 5.11	21,29
	CP 5.12	23,74
Resumo Módulo de Elasticidade Estático		
Trecho	Média	δ
Lote 03	30,15 GPa	1,46 GPa

Lote 04	21,72 GPa	2,82 GPa
Lote 05	25,31 GPa	4,43 GPa
BR-101/PB	25,74 GPa	4,65 GPa

Cabe destacar que, para fins de modelagem, utilizou-se como variável apenas o módulo de elasticidade dinâmico, visto que este foi medido diretamente no material por meio do ensaio da frequência ressonante.

4.1.2.3 Coeficiente de Poisson

Os coeficientes de Poisson dos concretos foram determinados a partir do ensaio de ultrassom nos testemunhos de concreto, conforme detalhado no Capítulo 3.5.2.2. Para isso, foram utilizados os módulos de elasticidade dinâmico definidos no ensaio da frequência ressonante e indicados na Tabela 27.

Os resultados dos coeficientes de Poisson obtidos são apresentados a seguir na Tabela 29.

Tabela 29 – Coeficientes de Poisson dos concretos das placas do pavimento.

Lote	Testemunho	h (cm)	d (m)	v (m/s)	Qualidade do concreto	Massa especif. (kg/m³)	Módulo de elasticidade dinâmico (Gpa)	Coeficiente de Poisson
3	CP 3.1	19,98	0,200	4366	Ótimo	2250	34,39	0,27
	CP 3.2	19,97	0,200	4443	Ótimo	2273	34,56	0,29
	CP 3.3	19,02	0,190	4428	Ótimo	2269	35,31	0,27
	CP 3.4	19,87	0,199	4511	Excelente	2294	38,43	0,26
	CP 3.5	19,16	0,192	4402	Ótimo	2230	34,46	0,27
	CP 3.6	17,98	0,180	4590	Excelente	2305	38,40	0,28
	CP 3.7	19,28	0,193	4435	Ótimo	2266	36,17	0,26
	CP 3.8	19,76	0,198	4408	Ótimo	2259	33,63	0,29
	CP 3.9	19,88	0,199	4552	Excelente	2308	38,62	0,27
	CP 3.10	19,27	0,193	4337	Ótimo	2339	36,07	0,26
	CP 3.11	19,20	0,192	4507	Excelente	2286	37,31	0,27
	CP 3.12	18,99	0,190	4439	Ótimo	2277	36,83	0,26
4	CP 4.1	19,76	0,198	3866	Ótimo	2241	23,14	0,32
	CP 4.2	20,11	0,201	3932	Ótimo	2299	25,19	0,32
	CP 4.3	19,63	0,196	3683	Ótimo	2270	24,71	0,27
	CP 4.4	19,27	0,193	4437	Ótimo	2355	29,75	0,34
	CP 4.5	19,73	0,197	4078	Ótimo	2345	29,90	0,29
	CP 4.6	19,75	0,198	3679	Ótimo	2237	20,14	0,33

5	CP 4.7	20,07	0,201	3763	Ótimo	2263	24,12	0,30
	CP 4.8	19,76	0,198	4040	Ótimo	2252	28,23	0,29
	CP 4.9	19,53	0,195	4003	Ótimo	2208	28,61	0,27
	CP 4.10	19,15	0,192	4174	Ótimo	2318	24,99	0,35
	CP 4.11	19,38	0,194	4110	Ótimo	2296	22,93	0,36
	CP 4.12	19,00	0,190	4348	Ótimo	2343	31,11	0,32
	CP 5.1	19,99	0,200	4047	Ótimo	2348	26,82	0,32
	CP 5.2	19,88	0,199	4363	Ótimo	2374	33,53	0,30
	CP 5.3	-	-	-	-	-	-	-
	CP 5.4	19,95	0,200	4106	Ótimo	2374	24,86	0,35
	CP 5.5	19,95	0,200	4209	Ótimo	2385	28,29	0,33
	CP 5.6	18,13	0,181	4523	Excelente	2416	39,41	0,27
	CP 5.7	19,94	0,199	4626	Excelente	2412	40,38	0,28
	CP 5.8	19,97	0,200	4375	Ótimo	2380	31,32	0,32
	CP 5.9	19,87	0,199	4102	Ótimo	2370	28,90	0,31
	CP 5.10	16,27	0,163	4441	Ótimo	2399	26,58	0,37
	CP 5.11	17,79	0,178	4279	Ótimo	2382	25,55	0,36
	CP 5.12	16,73	0,167	4326	Ótimo	2405	28,49	0,35
Resumo Coeficiente de Poisson								
Trecho				Média		δ		
Lote 03				0,27		0,01		
Lote 04				0,31		0,03		
Lote 05				0,32		0,03		
BR-101/PB				0,30		0,04		

4.1.2.4 Resistência à compressão axial

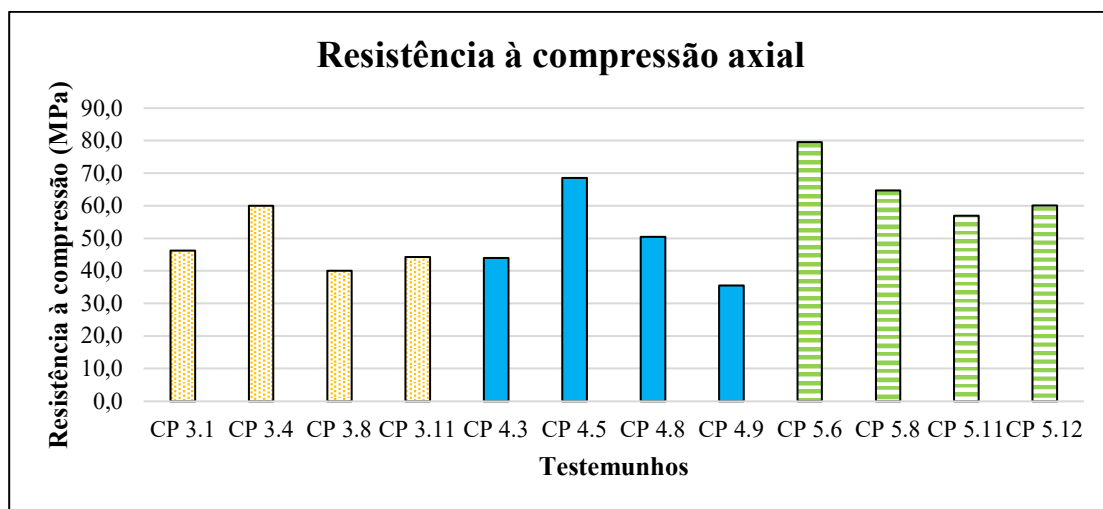
Para a verificação das resistências à compressão axial dos concretos das placas do pavimento foram realizados, conforme detalhado nos Capítulos 3.5.2.4 e 3.5.2.3, ensaios de resistência à compressão axial em doze testemunhos extraídos da pista e o ensaio de esclerometria “in loco” nas 36 placas onde foram extraídos os testemunhos da pesquisa (descritos no Capítulo 3.3).

Os resultados obtidos no ensaio de compressão axial são apresentados na Tabela 30 e na Figura 56.

Tabela 30 – Resistência à compressão axial dos doze testemunhos ensaiados.

Lote	Testemunho	Altura média (mm)	Diâmetro médio (mm)	h/d	Área (mm²)	Carga de ruptura (tf)	fcti,ext, inicial (MPa)	Coeficientes de correlação				fcti,ext (MPa)
								K1	K2	K3	K4	
3	CP 3.1	199,8	100,7	2,00	7956,6	36,07	45,3	0	0,06	0	-0,04	46,2
	CP 3.4	198,7	100,9	1,97	7988,2	47,11	59,0	-0,00252	0,06	0	-0,04	60,0
	CP 3.8	197,6	100,9	1,96	7996,1	31,51	39,4	-0,00347	0,06	0	-0,04	40,1
	CP 3.11	192,0	100,9	1,90	7996,1	34,98	43,7	-0,00809	0,06	0	-0,04	44,3
4	CP 4.3	196,3	100,7	1,95	7964,5	34,51	43,3	-0,00426	0,06	0	-0,04	44,0
	CP 4.5	197,3	100,9	1,96	7988,2	53,89	67,5	-0,00368	0,06	0	-0,04	68,6
	CP 4.8	197,6	100,9	1,96	7996,1	39,73	49,7	-0,00351	0,06	0	-0,04	50,5
	CP 4.9	195,3	100,8	1,94	7972,4	27,91	35,0	-0,00513	0,06	0	-0,04	35,5
5	CP 5.6	181,3	100,9	1,80	7988,2	63,36	79,3	-0,01637	0,06	0	-0,04	79,6
	CP 5.8	199,7	100,9	1,98	7988,2	50,77	63,6	-0,00169	0,06	0	-0,04	64,7
	CP 5.11	177,9	100,8	1,76	7980,3	45,40	56,9	-0,01886	0,06	0	-0,04	57,0
	CP 5.12	167,3	100,7	1,66	7956,6	48,18	60,6	-0,02736	0,06	0	-0,04	60,1
Resumo Resistência à compressão axial												
Trecho						Média		δ				
Lote 03						47,6 MPa		8,6 MPa				
Lote 04						49,7 MPa		14,0 MPa				
Lote 05						65,3 MPa		10,0 MPa				
BR-101/PB						54,2 MPa		13,0 MPa				

Figura 56 – Histograma da resistência à compressão axial dos doze testemunhos ensaiados.



Fonte: Produção do próprio autor.

Com relação à esclerometria, conforme relatado no Capítulo 3.5.2.3, foram realizadas duas aferições do equipamento antes de sua execução em bigorna de aço, conforme recomenda a norma ABNT NBR 7584 (2012), uma vez que os ensaios foram realizados em dois momentos distintos: em fevereiro e setembro de 2020. Os resultados dessas aferições são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 – Aferição do esclerômetro.

$k = \frac{n \cdot I_{E \text{ nom}}}{\sum_{i=1}^n I_{Ei}}$	Data =	fev/20	set/20
	n =	10	10
	IE nom =	80	80
	Σ IE i =	834,5	843,5
	k =	0,959	0,948

Já os resultados obtidos no ensaio de esclerometria são apresentados na Tabela 32.

Tabela 32- Resistência à compressão pelo ensaio de esclerometria dos concretos das placas do pavimento

Pontos de interesse	Índices esclerométricos individuais (Impactos)				I _E	I _{Eα}	fck (MPa)
CP 3.1	40,0	38,00	42,0	42,00	40,0	38,3	45,0
	38,0	39,00	39,0	48,00			
	48,0	42,00	40,0	40,00			
	39,0	41,00	36,0	43,00			
CP 3.2	44,0	48,00	45,0	46,00	44,0	41,7	51,5
	52,0	53,0	42,0	44,00			
	51,0	49,00	46,0	43,00			
	44,0	53,0	43,5	42,00			
CP 3.3	49,0	36,0	48,0	42,00	40,5	38,4	45,0
	39,5	39,50	40,0	40,50			
	41,0	40,00	40,0	40,00			
	41,0	41,00	44,0	42,00			
CP 3.4	54,0	49,50	50,0	42,00	42,0	40,3	48,5
	50,0	40,00	46,0	44,50			
	41,0	42,00	44,0	50,00			
	40,0	54,00	44,0	41,50			
CP 3.5	34,0	35,0	37,0	35,50	35,5	33,7	35,7
	36,5	36,0	33,0	33,00			
	33,0	35,5	36,5	34,00			
	30,5	36,0	35,0	36,50			
CP 3.6	42,5	40,5	44,5	38,00	40,5	38,4	45,0
	37,5	55,0	42,0	41,00			
	41,5	38,0	42,0	39,00			
	38,0	41,0	37,0	40,00			
CP 3.7	42,5	43,5	35,0	37,00	40,0	37,9	44,1
	41,0	34,0	40,0	40,00			

	39,0	41,5	40,0	41,00			
	39,0	41,0	40,0	37,00			
CP 3.8	38,0	41,00	38,0	40,00	38,0	36,4	41,5
	35,0	38,00	39,0	36,00			
	41,0	32,00	37,0	38,00			
	41,0	39,00	36,0	38,00			
CP 3.9	34,0	38,00	35,0	42,00	39,0	37,0	42,2
	39,0	38,50	42,0	39,00			
	44,0	34,0	39,0	36,00			
	34,0	40,00	45,5	42,00			
CP 3.10	43,0	42,50	46,0	42,00	42,8	40,5	49,2
	33,0	49,0	49,5	50,0			
	51,0	44,00	34,0	38,0			
	42,0	45,00	56,0	40,00			
CP 3.11	44,0	42,00	43,0	43,00	42,0	40,3	48,5
	41,0	41,00	42,0	44,00			
	42,0	41,00	43,5	42,00			
	42,0	46,00	45,5	36,00			
CP 3.12	42,0	40,50	40,0	43,0	42,3	40,1	48,3
	42,0	42,00	43,0	40,0			
	42,0	46,00	44,0	42,5			
	42,5	43,00	43,0	40,5			
CP 4.1	44,5	45,5	46,0	54,00	46,5	44,1	56,2
	50,0	46,5	44,5	54,00			
	53,00	49,0	52,50	48,0			
	52,00	47,0	46,0	49,0			
CP 4.2	43,5	50,0	47,5	42,0	46,5	44,1	56,2
	44,0	40,00	45,0	49,0			
	48,0	46,5	46,0	44,0			
	43,5	47,5	48,0	50,0			
CP 4.3	44,0	53,00	51,0	43,00	44,0	42,2	52,5
	44,0	46,00	49,5	50,00			
	44,0	52,00	41,5	46,00			
	50,5	49,00	43,0	40,00			
CP 4.4	51,0	46,0	45,0	50,5	48,8	46,2	60,3
	44,0	46,0	52,5	52,0			
	49,5	45,0	49,5	53,0			
	43,5	46,0	52,0	48,0			
CP 4.5	52,0	44,50	43,0	46,50	52,0	49,9	68,0
	53,0	51,50	43,0	50,00			
	53,0	44,00	45,5	50,00			
	52,0	51,50	52,0	44,00			
CP 4.6	53,0	45,00	48,0	45,50	51,0	48,4	64,5
	53,0	53,00	48,0	51,0			
	45,50	52,50	48,0	58,0			
	55,00	52,00	51,0	49,5			
CP 4.7	54,00	54,00	51,00	50,0	46,0	43,6	55,2
	46,0	48,00	49,0	48,0			
	46,0	46,00	52,00	52,00			
	44,0	45,50	50,0	43,5			
CP 4.8	44,5	43,50	48,0	46,00	45,0	43,1	53,8

	45,0	47,00	44,0	44,00			
	43,0	45,00	44,0	47,00			
	52,0	49,00	52,0	52,00			
CP 4.9	51,0	42,00	40,0	44,00	43,0	41,2	50,5
	40,0	42,00	42,0	44,00			
	42,0	43,50	45,5	43,00			
	43,0	43,00	43,5	44,00			
CP 4.10	48,0	50,50	48,0	54,00	50,5	47,9	63,6
	54,0	54,00	50,0	52,00			
	50,5	43,00	43,50	45,00			
	54,0	50,00	50,5	44,50			
CP 4.11	49,5	43,00	46,0	47,50	47,5	45,1	58,0
	46,0	45,00	50,5	47,50			
	47,5	44,00	48,0	48,00			
	53,00	42,00	50,0	46,00			
CP 4.12	50,5	55,00	52,0	54,00	52,0	49,3	66,4
	50,0	54,00	48,0	54,00			
	54,0	52,00	56,5	54,00			
	49,5	50,50	50,5	52,00			
CP 5.1	48,50	46,0	52,00	52,50	52,00	49,3	66,4
	54,00	52,00	48,00	52,00			
	51,50	55,00	51,50	45,0			
	53,00	51,00	52,00	56,00			
CP 5.2	53,00	52,00	52,50	54,00	54,50	51,7	71,0
	53,00	55,00	58,00	56,00			
	50,00	56,00	55,00	58,00			
	54,00	54,00	55,00	56,00			
CP 5.3	59,00	58,00	60,00	58,00	59,25	56,2	79,8
	60,00	58,00	62,00	58,00			
	62,00	61,50	54,00	57,00			
	59,50	60,00	60,00	58,00			
CP 5.4	56,00	55,00	56,00	56,50	56,00	53,1	73,8
	52,00	57,00	56,00	55,00			
	57,00	56,00	56,00	58,00			
	56,00	48,00	52,00	52,00			
CP 5.5	60,00	56,00	56,00	55,50	56,50	53,6	74,7
	56,00	56,50	56,50	56,50			
	57,00	59,00	56,50	60,00			
	58,00	59,00	55,00	59,00			
CP 5.6	47,0	44,00	50,0	48,50	49,0	47,0	61,5
	42,0	50,00	50,0	54,00			
	50,0	46,00	42,0	49,00			
	46,0	50,00	44,0	49,00			
CP 5.7	47,5	45,00	48,00	50,00	48,0	45,5	58,9
	48,0	51,00	43,00	50,00			
	48,0	48,00	49,50	41,0			
	52,5	52,00	47,00	42,0			
CP 5.8	55,0	53,00	55,0	54,00	54,5	52,2	72,0
	54,0	51,00	55,0	54,00			
	56,0	53,00	54,0	55,00			
	52,5	56,00	56,0	56,00			

CP 5.9	50,0	46,00	44,0	46,00	46,00	43,6	55,2
	43,0	50,00	44,0	48,00			
	49,0	38,00	46,0	46,00			
	43,0	50,00	42,5	44,00			
CP 5.10	56,0	55,00	58,0	53,00	54,3	51,5	70,6
	53,0	54,50	57,0	51,00			
	51,0	54,00	57,0	54,00			
	52,5	57,00	49,0	55,00			
CP 5.11	46,5	45,00	46,0	48,00	47,0	45,1	57,8
	47,0	46,50	52,0	51,00			
	47,0	52,00	47,0	47,00			
	50,0	52,00	57,0	45,00			
CP 5.12	48,0	48,00	51,5	49,50	49,8	47,7	63,5
	45,0	52,00	56,0	44,00			
	48,0	51,00	51,0	51,00			
	48,0	47,00	52,5	50,00			
Resumo Esclerometria							
Trecho				Média		δ	
Lote 03				45,4 MPa		4,3 MPa	
Lote 04				58,8 MPa		5,7 MPa	
Lote 05				67,1 MPa		7,7 MPa	
BR-101/PB				57,1 MPa		10.8 MPa	

Na Tabela 32, o IE é o índice esclerométrico médio; K é o coeficiente de correlação do índice esclerométrico, obtido na calibração do equipamento e indicado na Tabela 31; e $IE\alpha$ é o índice esclerométrico médio efetivo. Cabe mencionar que os índices esclerométricos individuais (impactos) da Tabela 32 destacados (fonte em itálico e vermelho) foram desprezados por estarem afastados em mais de 10% do valor médio, em conformidade com a ABTN NBR 7584 (2012).

Comparando-se os resultados dos dois ensaios (Tabela 30 e Tabela 32), percebe-se que as resistências à compressão médias dos lotes foram próximas, assim como a média geral para toda a rodovia.

Uma vez que o ensaio esclerométrico abrangeu todos os pontos de interesse, utilizou-se desses resultados na modelagem para representar as resistências à compressão dos concretos das placas do pavimento.

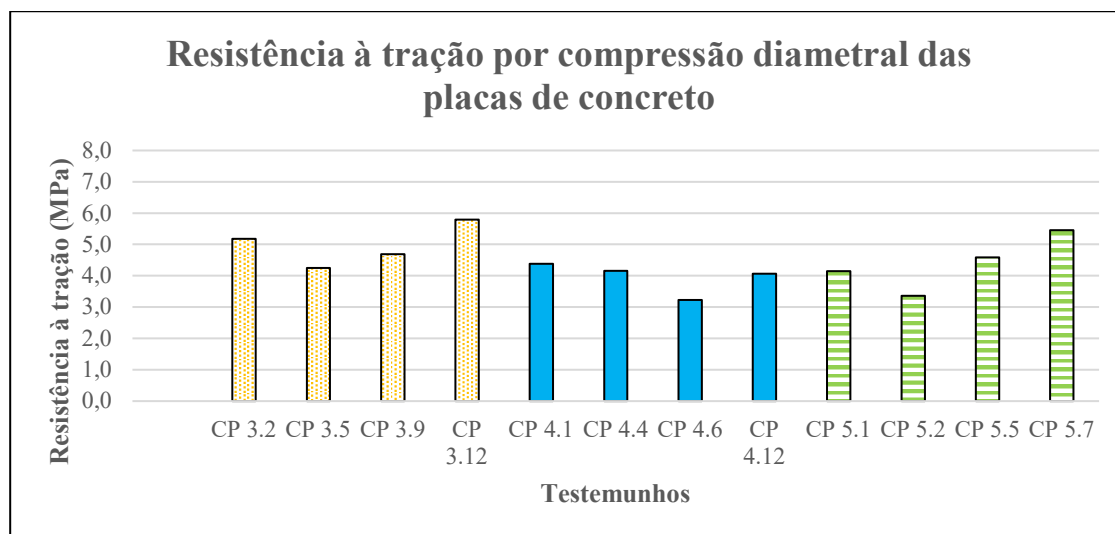
4.1.2.5 Resistência à tração

Conforme descrito no Capítulo 3.5.2.5, foi realizado o ensaio de resistência à tração por compressão diametral em 12 testemunhos para a identificação de sua resistência à tração. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 33 e na Figura 57.

Tabela 33 – Resistências à tração por compressão diametral dos doze testemunhos ensaiados.

Lote	Testemunho	Altura média (mm)	Diâmetro médio (mm)	Carga de ruptura (tf)	F (N)	Resistência à tração por Compressão Diametral $f_{ct,sp}$ (MPa)
3	CP 3.2	199,7	100,7	16,69	163.672,99	5,2
	CP 3.5	191,6	100,7	13,15	128.957,45	4,3
	CP 3.9	198,8	100,8	15,07	147.786,22	4,7
	CP 3.12	189,9	100,9	17,78	174.362,24	5,8
4	CP 4.1	197,6	100,7	13,97	136.998,90	4,4
	CP 4.4	192,7	101,0	12,96	127.094,18	4,2
	CP 4.6	197,5	100,8	10,29	100.910,43	3,2
	CP 4.12	190,0	100,9	12,48	122.386,99	4,1
5	CP 5.1	199,9	100,4	13,33	130.722,64	4,1
	CP 5.2	198,8	100,8	10,78	105.715,69	3,4
	CP 5.5	199,5	100,9	14,78	144.942,29	4,6
	CP 5.7	199,4	100,7	17,56	172.204,77	5,5
Resumo Resistência à tração por Compressão Diametral						
Trecho				Média		δ
Lote 03				5,0 MPa		0,7 MPa
Lote 04				4,0 MPa		0,5 MPa
Lote 05				4,4 MPa		0,9 MPa
BR-101/PB				4,4 MPa		0,8 MPa

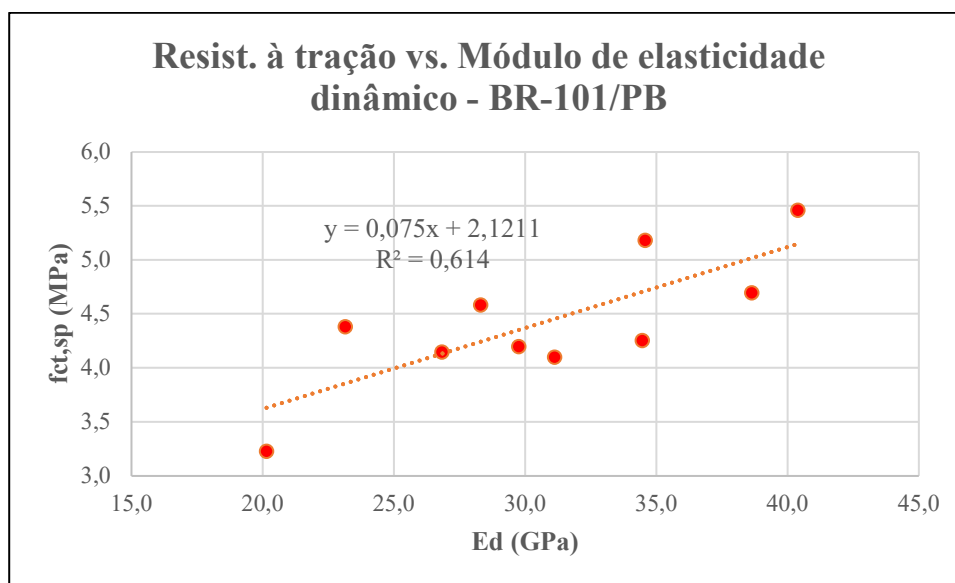
Figura 57 – Histograma das resistências à tração por compressão diametral dos doze testemunhos ensaiados.



Fonte: Produção do próprio autor.

Contudo, para a utilização deste parâmetro como variável na modelagem foi necessário definir a resistência à tração dos demais testemunhos. Para isso, fez-se uso da correlação entre as resistências à tração identificadas por meio do ensaio de compressão diametral e os módulos de elasticidade dinâmico identificados no ensaio de frequência ressonante (Tabela 27). A correlação entre essas duas propriedades para os 12 testemunhos é apresentada na Figura 58.

Figura 58 - Correlação entre a resistência à tração por compressão diametral e o módulo de elasticidade dinâmico.



Fonte: Produção do próprio autor.

Assim, com a correlação definida na Figura 58 calculou-se as resistências à tração dos demais testemunhos, a partir dos seus módulos de elasticidade (Tabela 27).

A Tabela 34 apresenta as resistências à tração por compressão diametral de todos os testemunhos de concreto das placas do pavimento. Tais valores foram usados na matriz inicial da modelagem.

Tabela 34 – Resistências à tração por compressão diametral dos concretos das placas do pavimento.

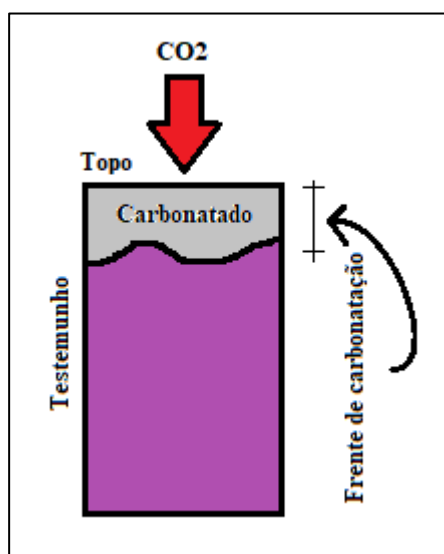
Lote	Testemunho	Módulo de elasticidade dinâmico (Gpa)	Resistência à tração (Mpa)
3	CP 3.1	34,39	4,7
	CP 3.2	34,56	5,2
	CP 3.3	35,31	4,8
	CP 3.4	38,43	5,0
	CP 3.5	34,46	4,3
	CP 3.6	38,40	5,0
	CP 3.7	36,17	4,8
	CP 3.8	33,63	4,6
	CP 3.9	38,62	4,7
	CP 3.10	36,07	4,8
	CP 3.11	37,31	4,9
	CP 3.12	36,83	5,8
4	CP 4.1	23,14	4,4
	CP 4.2	25,19	3,9
	CP 4.3	24,71	3,9
	CP 4.4	29,75	4,2
	CP 4.5	29,90	4,3
	CP 4.6	20,14	3,2
	CP 4.7	24,12	3,9
	CP 4.8	28,23	4,2
	CP 4.9	28,61	4,2
	CP 4.10	24,99	3,9
	CP 4.11	22,93	3,8
	CP 4.12	31,11	4,1
5	CP 5.1	26,82	4,1
	CP 5.2	33,53	3,4
	CP 5.4	24,86	3,9
	CP 5.5	28,29	4,6

CP 5.6	39,41	5,1
CP 5.7	40,38	5,5
CP 5.8	31,32	4,4
CP 5.9	28,90	4,2
CP 5.10	26,58	4,1
CP 5.11	25,55	4,0
CP 5.12	28,49	4,2

4.1.2.6 Frente de carbonatação

De acordo com o descrito no Capítulo 3.5.2.6, a verificação da frente de carbonatação dos concretos das placas foi realizada, conforme ilustração apresentada na Figura 59, com a aplicação de solução de fenolftaleína nos testemunhos rompidos nos ensaios de resistência à compressão axial e tração por compressão diametral, ainda naqueles cortados para o ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura.

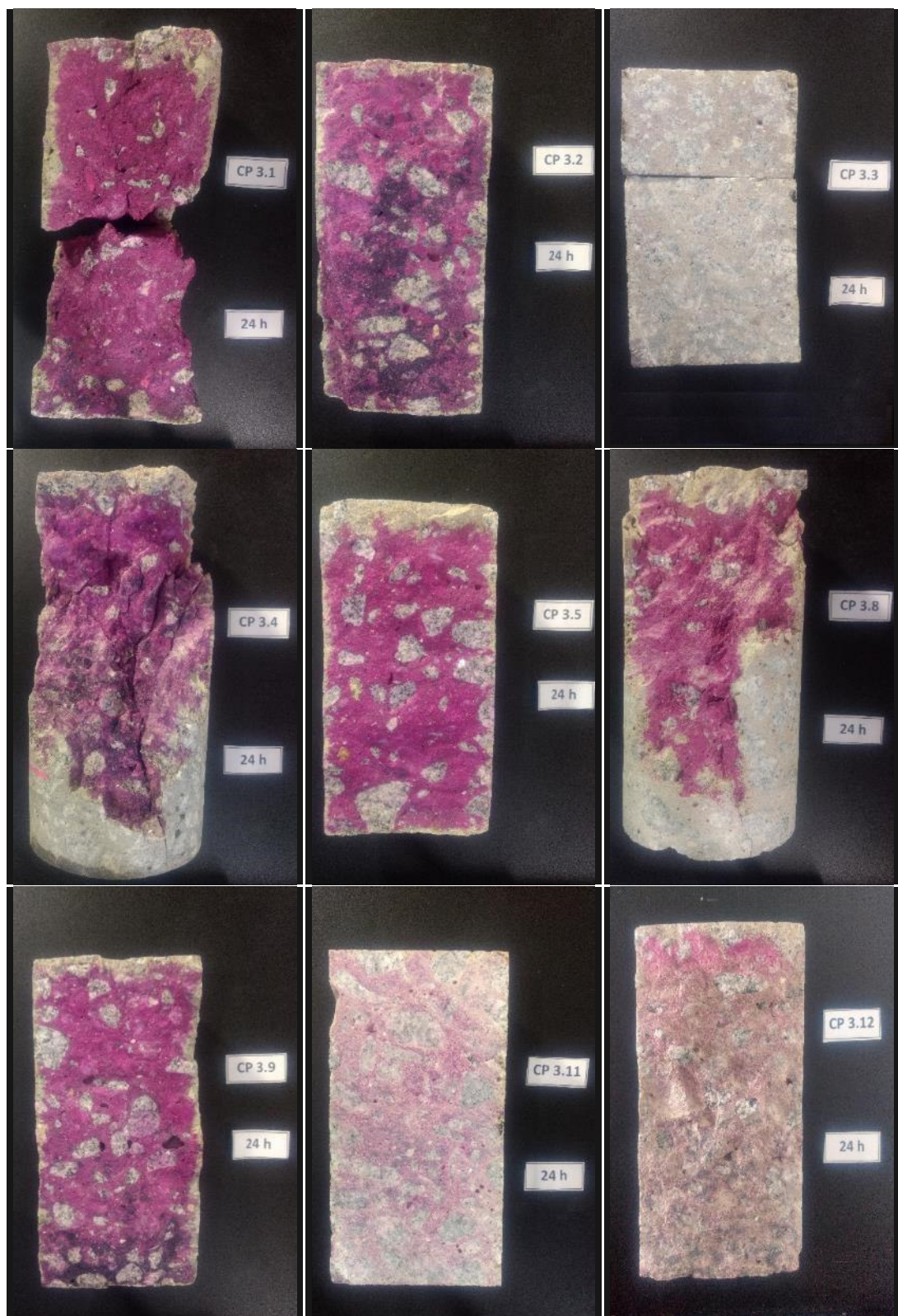
Figura 59 – Ilustração da frente de carbonatação no testemunho de concreto.



Fonte: Produção do próprio autor.

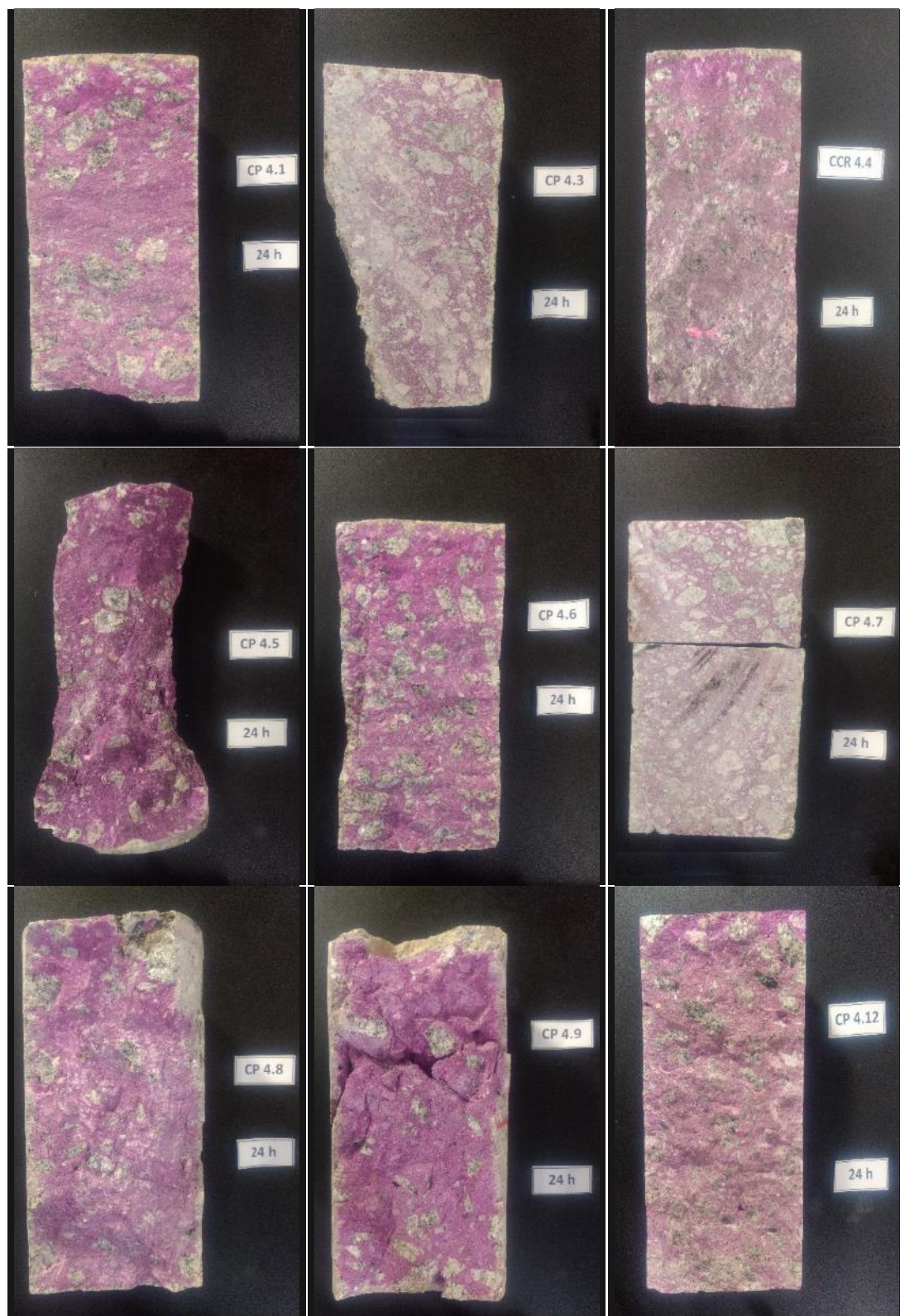
Os registros fotográficos dos testemunhos após 24 de aplicação da solução são apresentados na Figura 60, Figura 61 e na Figura 62.

Figura 60 – Frentes de carbonatação em testemunhos dos concretos das placas do pavimento do lote 3.



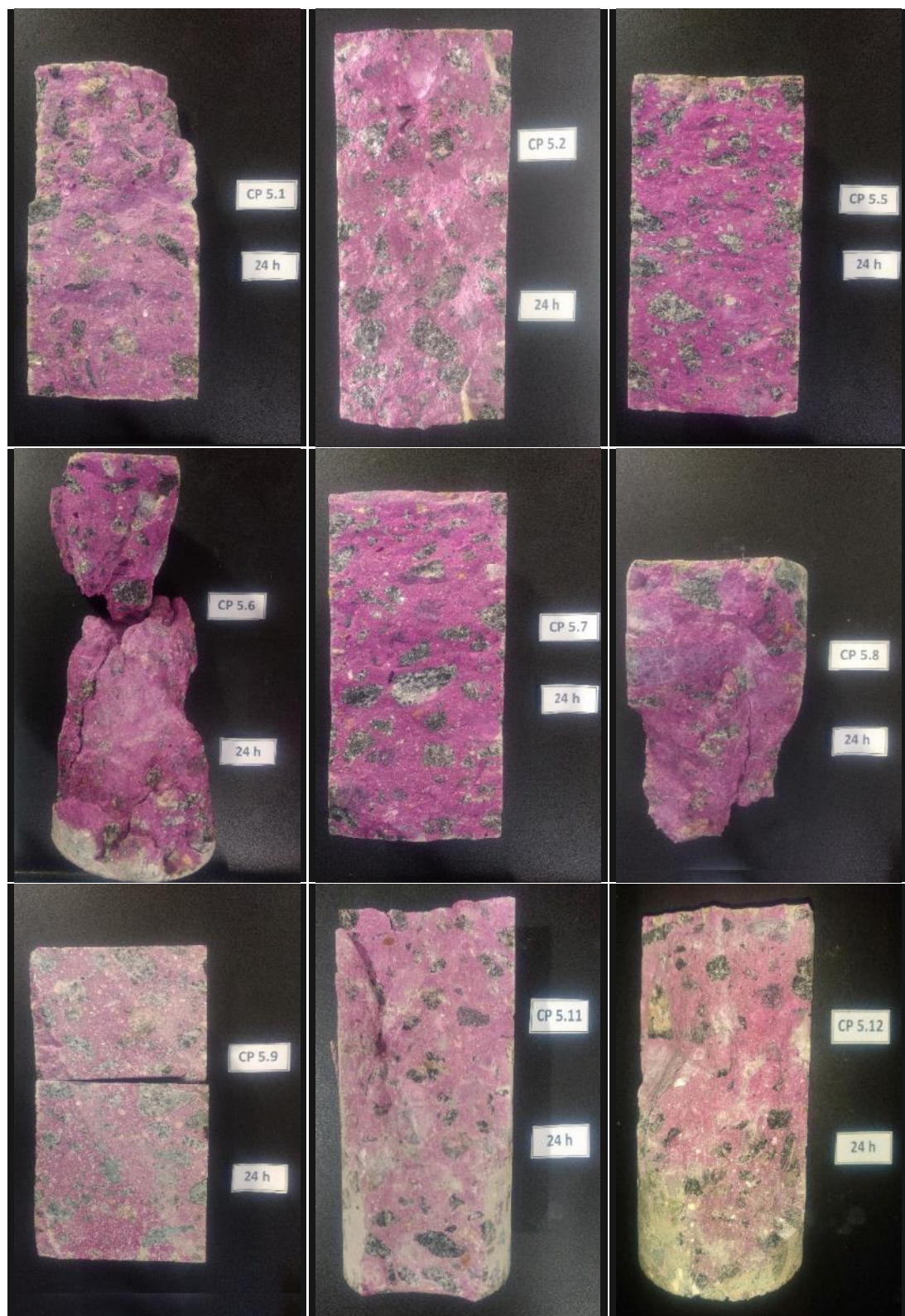
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 61 - Frentes de carbonatação em testemunhos dos concretos das placas do pavimento do lote 4.



Fonte: Produção do próprio autor.

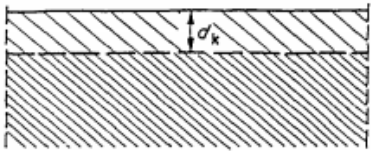
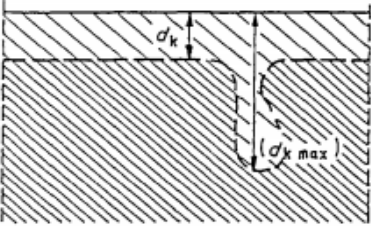
Figura 62 - Frentes de carbonatação em testemunhos dos concretos das placas do pavimento do lote 5.



Fonte: Produção do próprio autor.

As frentes de carbonatação medidas nos testemunhos são apresentadas na Tabela 35. Cabe lembrar que a superfície do pavimento é a face superior dos testemunhos. Dessa forma, a frente de carbonatação medida foi da face superior em direção à face inferior.

Tabela 35 – Frentes de carbonatação dos testemunhos dos concretos das placas do pavimento.

Lote	Testemunho	Frente de carbonatação			OBS: Tipos de formas (Fonte: RILEM CPC-18):
		Forma	dk (mm)	dk max (mm)	
3	CP 3.1	A	0,0	0,0	Forma A: 
	CP 3.2	A	0,0	0,0	
	CP 3.3	A	191,5	191,5	
	CP 3.4	B	7,5	10,0	
	CP 3.5	B	16,9	18,4	
	CP 3.8	C	22,5	38,5	
	CP 3.9	C	4,0	7,0	
	CP 3.11	C	0,0	5,0	
	CP 3.12	B	9,0	17,5	
4	CP 4.1	B	3,5	5,0	Forma B 
	CP 4.3	C	1,0	4,0	
	CP 4.4	A	4,5	4,5	
	CP 4.5	A	0,0	0,0	
	CP 4.6	C	2,0	10,0	
	CP 4.7	A	0,0	0,0	
	CP 4.8	A	0,0	0,0	
	CP 4.9	B	8,5	10,0	
	CP 4.12	A	0,0	0,0	
5	CP 5.1	A	16,5	16,5	Forma C 
	CP 5.2	B	0,0	3,5	
	CP 5.5	A	3,0	3,0	
	CP 5.6	A	0,0	0,0	
	CP 5.7	C	0,0	4,0	
	CP 5.8	C	1,0	6,5	
	CP 5.9	A	0,0	0,0	
	CP 5.11	A	0,0	0,0	
	CP 5.12	C	0,0	7,0	

Observando as Figura 60, Figura 61 e Figura 62, e a Tabela 35 é possível verificar que os concretos dos testemunhos apresentaram mínima carbonatação na sua superfície, com exceção do CP 3.3 que se apresentou totalmente carbonatado.

Para a modelagem, considerou-se para o ano inicial, logo após a construção do pavimento, uma frente de carbonatação nula para todas as amostras. Para os anos de 2016 e 2019 considerou-se a mesma frente de carbonatação, que foram aquelas indicadas na Tabela 35.

4.1.2.7 Caracterização microestrutural

A caracterização microestrutural foi feita com a realização dos ensaios de difração de raios X (DRX) com refinamento Rietveld, termogravimetria (TG), espectroscopia de infravermelho (IV) e microscopia eletrônica de varredura (MEV).

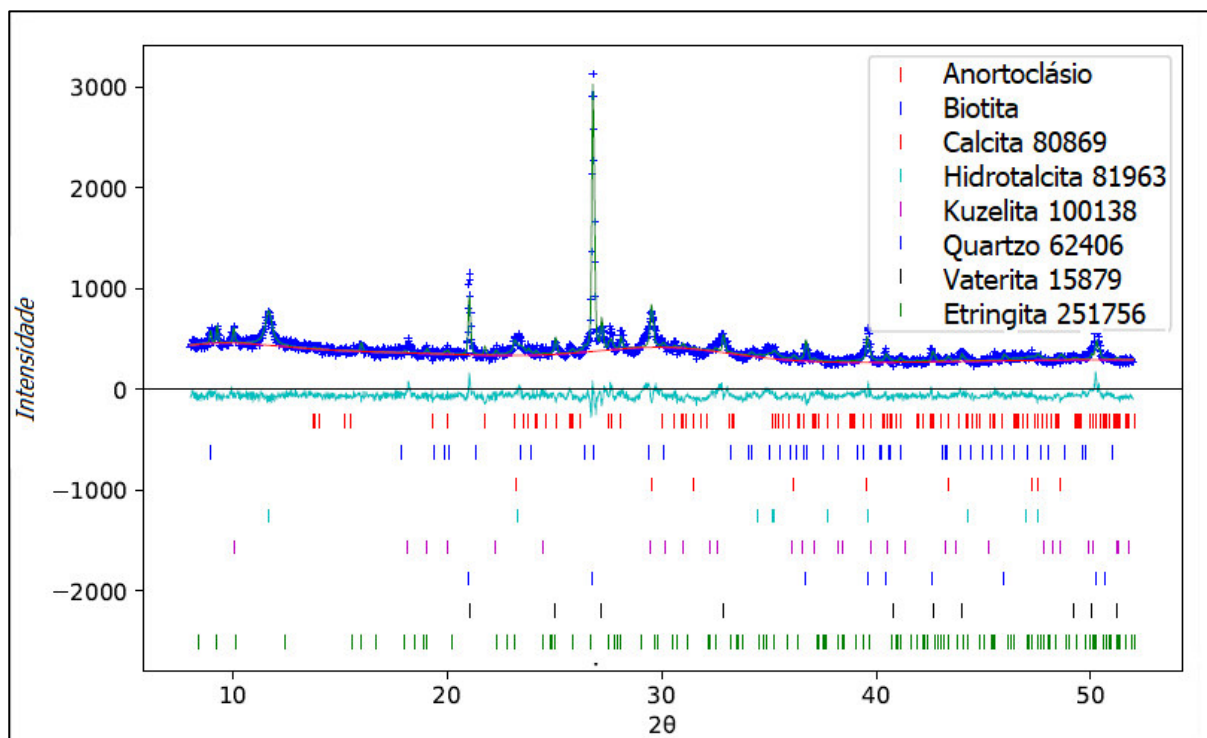
Os ensaios realizados forneceram informações das fases presentes no concreto das amostras e suas quantidades. A difração de raios X (DRX) com refinamento Rietveld forneceu informações qualitativas e quantitativas com os percentuais das fases presentes da parcela cristaliza dos materiais. A análise termogravimétrica (TG) permitiu o cálculo da quantidade da fase Portlandita presente nas amostras. Já a espectroscopia de infravermelho (IV) e microscopia eletrônica de varredura (MEV), através de análise qualitativa, corroboraram a presença das fases observadas nos ensaios anteriores.

4.1.2.7.1 Difração de Raios X (DRX)

Conforme informado no Capítulo 3.5.2.7, a difração de raios X foi feita em 20 amostras coletadas dos testemunhos de concreto. Posteriormente, o refinamento Rietveld dos dados foi realizado para a análise quantitativa das fases.

A Figura 63 apresenta o difratograma de raios X da amostra CP3.3. Os difratogramas das demais amostras são apresentados no Apêndice deste trabalho.

Figura 63 – Difratoograma de raio X da amostra CP3.3.



Fonte: Software GSas-II editada pelo autor.

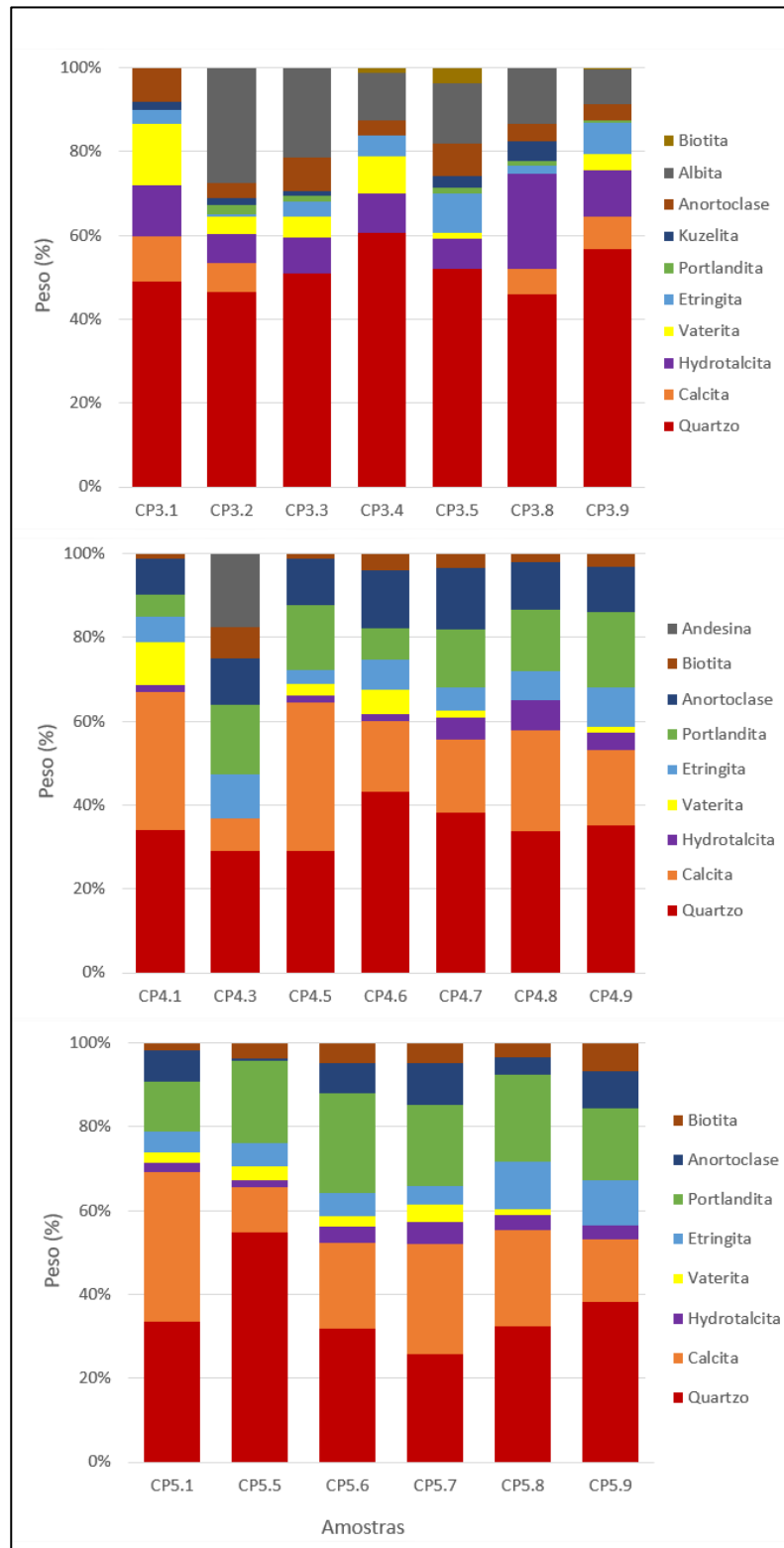
Da parcela do material agregado, foram identificadas fases dos grupos de minerais de sílica, carbonatos, micáceos, óxidos e hidróxidos, e feldspatos. Já com relação às fases cimentícias, foram observadas a presença das fases Etringita e Portlandita.

A quantificação de fases das amostras, obtidas pelo refinamento Rietveld, é apresentada na Tabela 36 e na Figura 64. Os percentuais se referem à quantidade em massa da parcela cristalina das amostras.

Tabela 36 - Quantificação de fases das amostras

Amostra	Fases (% em peso)										
	Agregado									Cimento	
	Minerais de sílica	Carbonatos			Micáceos	Óxidos e hidróxidos	Feldspatos				
		Quartzo	Calcita	Hydrotalcita			Vaterita	Biotita	Kuzelita	Anortoclásio	Albita
CP3.1	48,88%	10,94%	12,14%	14,62%	-	1,94%	8,05%	-	-	3,44%	-
CP3.2	46,51%	6,99%	6,91%	4,05%	-	1,66%	3,50%	27,64%	-	0,59%	2,15%
CP3.3	48,13%	-	8,16%	4,91%	-	0,90%	7,61%	20,35%	-	3,30%	1,39%
CP3.4	57,47%	-	8,95%	8,62%	1,06%	-	3,31%	10,93%	-	4,67%	-
CP3.5	48,19%	-	6,62%	1,35%	3,46%	2,40%	7,26%	13,33%	-	8,67%	1,27%
CP3.8	45,87%	6,23%	22,59%	-	-	4,53%	4,30%	13,37%	-	2,06%	1,05%
CP3.9	56,81%	7,80%	10,85%	3,94%	0,44%	0,06%	3,86%	8,27%	-	7,39%	0,58%
CP4.1	33,96%	32,88%	1,74%	10,34%	1,21%	-	8,64%	-	-	5,96%	5,27%
CP4.3	29,19%	7,60%	-	-	7,56%	-	10,94%	-	17,51%	10,42%	16,78%
CP4.5	29,06%	35,30%	1,69%	2,71%	1,24%	-	11,15%	-	-	3,35%	15,50%
CP4.6	43,30%	16,61%	1,88%	5,81%	4,07%	-	13,62%	-	-	7,21%	7,50%
CP4.7	38,17%	17,38%	5,31%	1,78%	3,37%	-	14,64%	-	-	5,50%	13,86%
CP4.8	33,68%	24,17%	7,28%	-	2,02%	-	11,44%	-	-	6,93%	14,48%
CP4.9	35,20%	17,81%	4,34%	1,28%	3,11%	-	10,74%	-	-	9,30%	18,21%
CP5.1	33,58%	35,54%	2,16%	2,61%	1,86%	-	7,33%	-	-	4,99%	11,93%
CP5.5	54,74%	10,86%	1,64%	3,21%	3,71%	-	0,71%	-	-	5,77%	19,37%
CP5.6	31,94%	20,43%	3,78%	2,62%	4,72%	-	7,24%	-	-	5,31%	23,96%
CP5.7	25,77%	26,34%	5,07%	4,23%	4,88%	-	9,81%	-	-	4,37%	19,52%
CP5.8	32,42%	22,78%	3,76%	1,33%	3,40%	-	4,33%	-	-	11,38%	20,59%
CP5.9	38,25%	14,87%	3,43%	0,04%	6,79%	-	8,95%	-	-	10,57%	17,10%

Figura 64 – Gráfico da quantificação de fases das amostras.



Fonte: Produção do próprio autor.

A observação do índice R_{wp} , calculado pelo software Gsas-II por meio da Equação (20), definiu a qualidade do refinamento realizado. A Tabela 37 apresenta os índices resultantes obtidos para cada amostra.

Tabela 37 - índice R_{wp} , do refinamento Rietveld

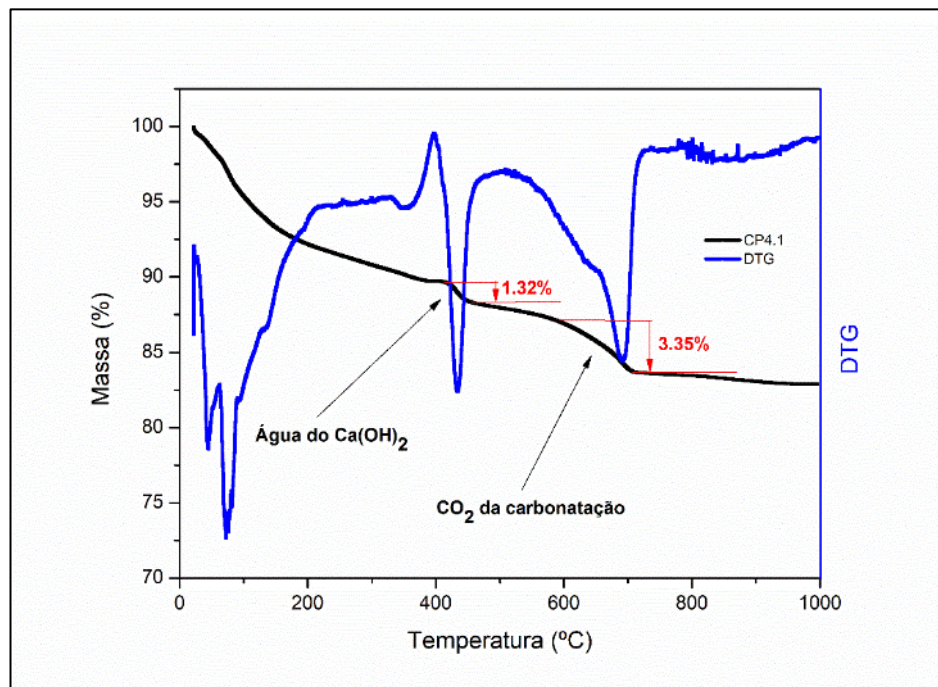
Nº	Amostra	R_{wp}
1	CP3.1	10,2%
2	CP3.2	10,4%
3	CP3.3	10,0%
4	CP3.4	10,3%
5	CP3.5	10,3%
6	CP3.8	10,8%
7	CP3.9	10,4%
8	CP4.1	8,9%
9	CP4.3	10,6%
10	CP4.5	8,8%
11	CP4.6	9,9%
12	CP4.7	10,7%
13	CP4.8	11,3%
14	CP4.9	9,6%
15	CP5.1	10,8%
16	CP5.5	9,2%
17	CP5.6	9,1%
18	CP5.7	10,0%
19	CP5.8	8,9%
20	CP5.9	10,5%

Por fim, para fins de modelagem, a difratometria de raios X forneceu três variáveis independentes que foram os percentuais de carbonatos (calcita, hidrotalcita e vaterita), portlandita e etringita da parcela cristalina das amostras.

4.1.2.7.2 Análises Térmicas (TG/DSC)

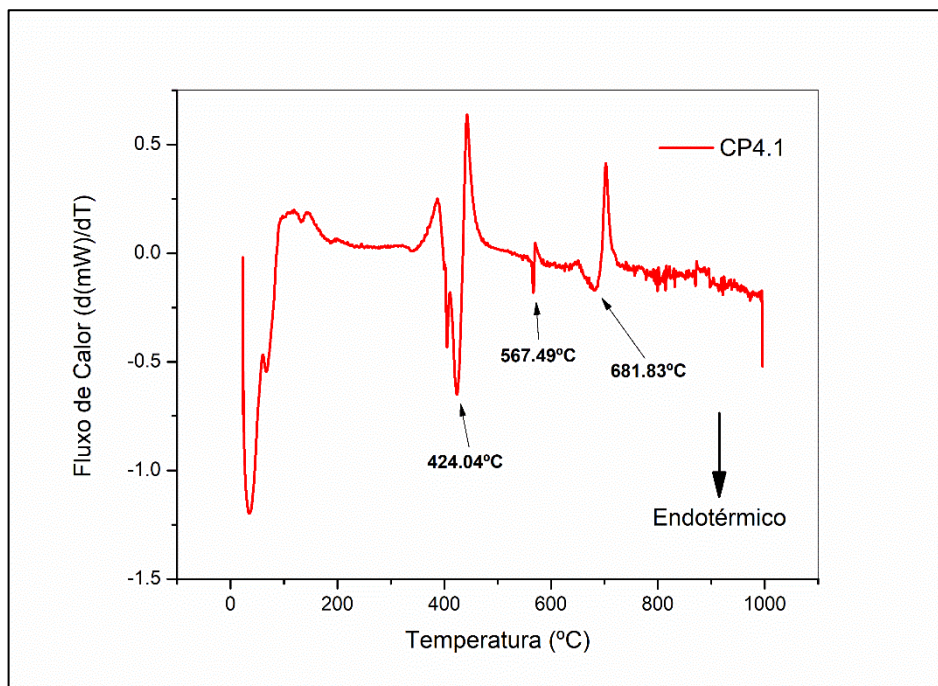
Foram plotadas as curvas de termogravimetria (TG) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) de 19 amostras de concreto das placas do pavimento. Na Figura 65 é apresentada a curva de TG e sua derivada (DTG) da amostra CP 4.1. Já na Figura 66 é ilustrada a curva de DCS da mesma amostra. As curvas das demais amostras são apresentadas no Apêndice.

Figura 65 – Curva TG/DTG da amostra CP 4.1.



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 66 – Curva de DSC da amostra CP 4.1.



Fonte: Produção do próprio autor

Na Figura 65, pode-se verificar que no eixo das abscissas (X) das curvas de termogravimetria é indicada a evolução da temperatura, enquanto que no eixo das ordenadas (eixo Y, lado esquerdo) é possível observar o percentual da perda de massa da amostra. A derivada da análise térmica (DTG) também é apresentada nesta figura, permitindo melhor visualização das reações que ocorrem nas amostras. Já na Figura 66, é indicada a evolução da temperatura no eixo X em função do fluxo de calor no eixo Y, permitindo a detecção da temperatura inicial dos processos térmicos e caracterizá-los como endotérmicos e exotérmicos.

A partir das curvas de TG/DTG e DSC de cada amostra, e utilizando a Equação (24), foi possível estimar a quantidade de Portlandita presente em cada uma das amostras. Os resultados são apresentados na Tabela 38.

Tabela 38 – Percentual estimado de Portlandita das amostras.

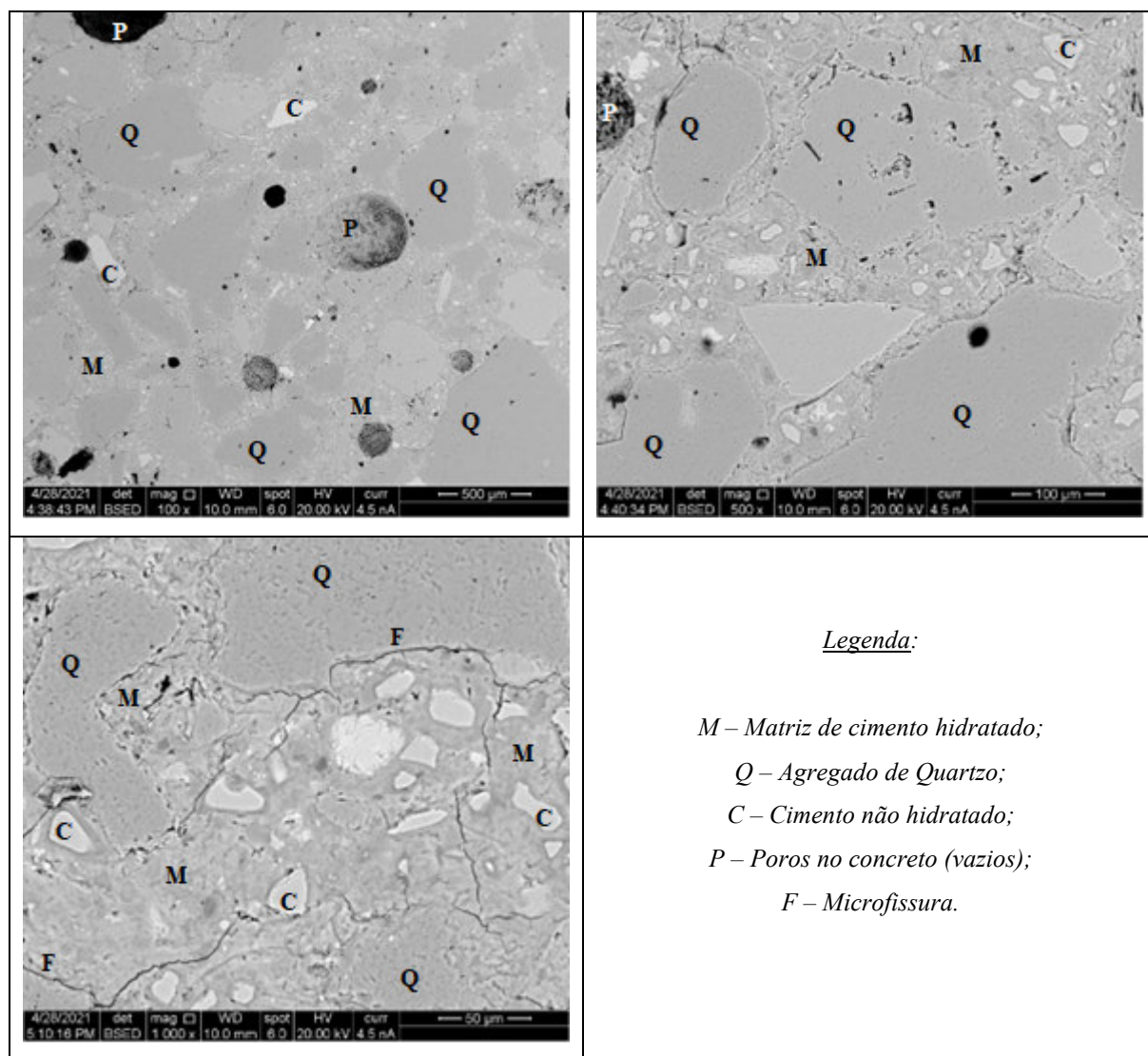
Nº	Amostras	Desidratação			Descarbonatação			% de Portlandita
		Δm1	Temperatura (°C)		Δm2	Temperatura (°C)		
			Ti	Tf		Ti	Tf	
1	CP3.1	1,01%	412,18	462,05	1,69%	601,94	695,06	6,99%
2	CP3.2	2,05%	373,35	461,17	3,81%	580,76	708,74	14,84%
3	CP3.3	1,68%	379,52	453,66	4,27%	588,26	717,56	14,09%
4	CP3.4	1,88%	367,61	445,72	6,05%	576,79	725,07	17,90%
5	CP3.5	1,05%	391,88	439,98	7,92%	558,69	733,01	17,64%
6	CP3.8	1,73%	378,64	448,81	5,35%	586,94	721,54	16,11%
7	CP3.9	1,58%	355,54	433,61	7,91%	556,68	730,92	19,80%
8	CP4.1	1,32%	413,06	453,22	3,35%	588,26	708,74	11,06%
9	CP4.3	1,39%	412,44	449,93	6,82%	612,7	730,92	17,18%
10	CP4.5	0,83%	426,74	456,31	8,36%	565,31	726,83	17,47%
11	CP4.6	1,15%	392,76	466,02	8,74%	560,46	735,66	19,43%
12	CP4.7	1,45%	410,86	453,22	5,45%	592,23	719,33	15,13%
13	CP4.8	1,75%	407,15	452,58	4,96%	587,12	715,92	15,54%
14	CP5.1	1,09%	417,92	453,66	7,46%	587,38	733,89	17,03%
15	CP5.5	1,05%	423,47	452,14	5,82%	591,97	722,1	14,10%
16	CP5.6	1,18%	421,89	452,78	6,79%	584,73	725,07	16,27%
17	CP5.7	1,58%	420,56	450,57	2,89%	593,12	703,88	11,36%
18	CP5.8	1,20%	416,85	453,46	4,92%	586,24	716,37	13,21%
19	CP5.9	1,07%	421,01	450,13	6,41%	585,61	724,62	15,18%

Como se pode observar na Tabela 38, as reações de desidratação do hidróxido de cálcio das amostras ocorreram entre 367,61°C e 466,02°C, enquanto que as reações de decarbonatação entre 556,68°C e 733,89°C. Os percentuais de Portlandita das amostras variaram entre 6,99% e 19,80%.

4.1.2.7.3 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

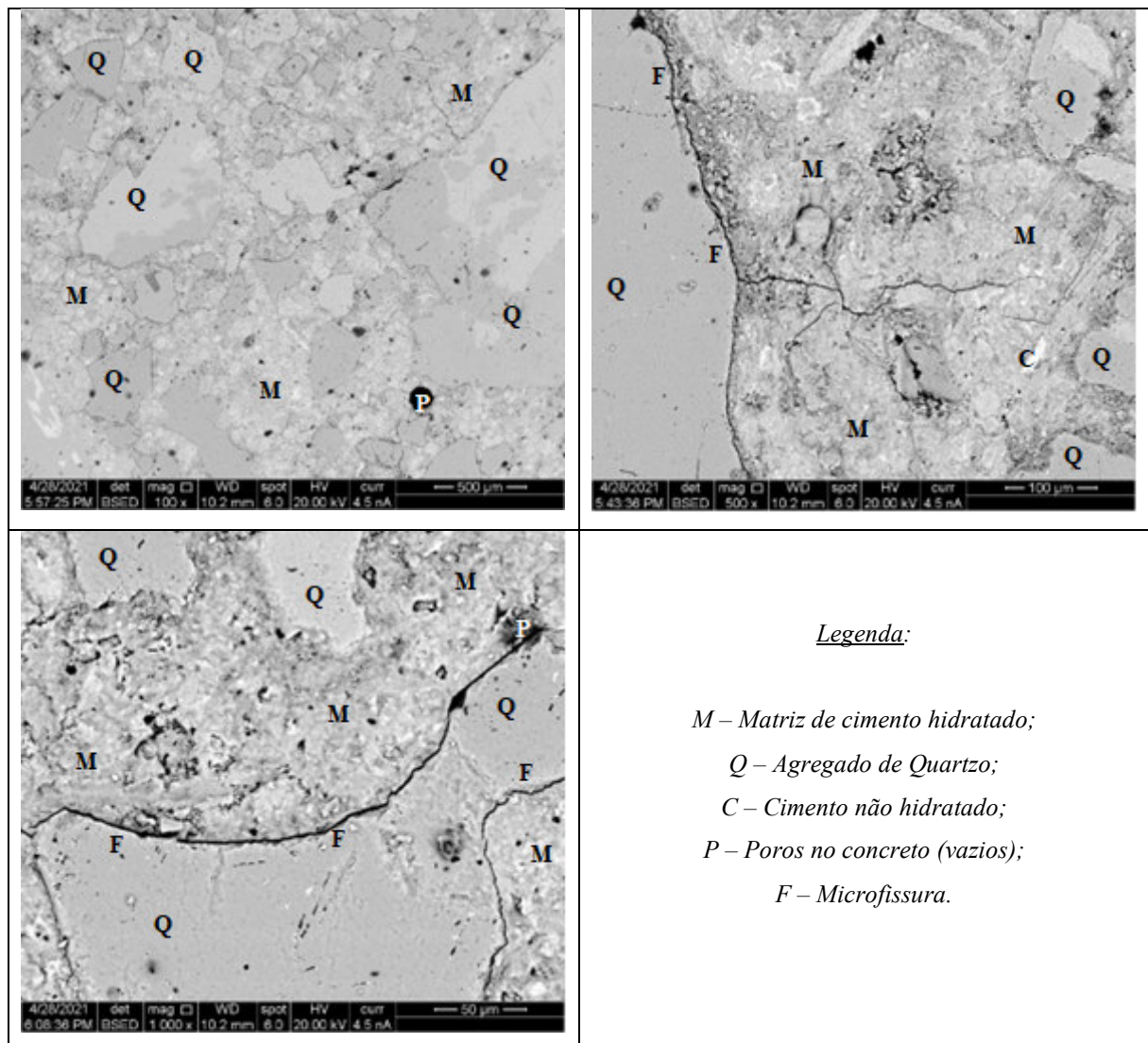
As imagens da microestrutura do concreto da placa das três amostras são apresentadas nas Figuras 67, 68 e 69. A microestrutura observada foi aquela típica dos concretos de cimento Portland, com uma matriz de pasta de cimento hidratado misturada com grãos de agregados.

Figura 67 – Micrografia da superfície polida da amostra CP 3.3, em modo retroespalhado.



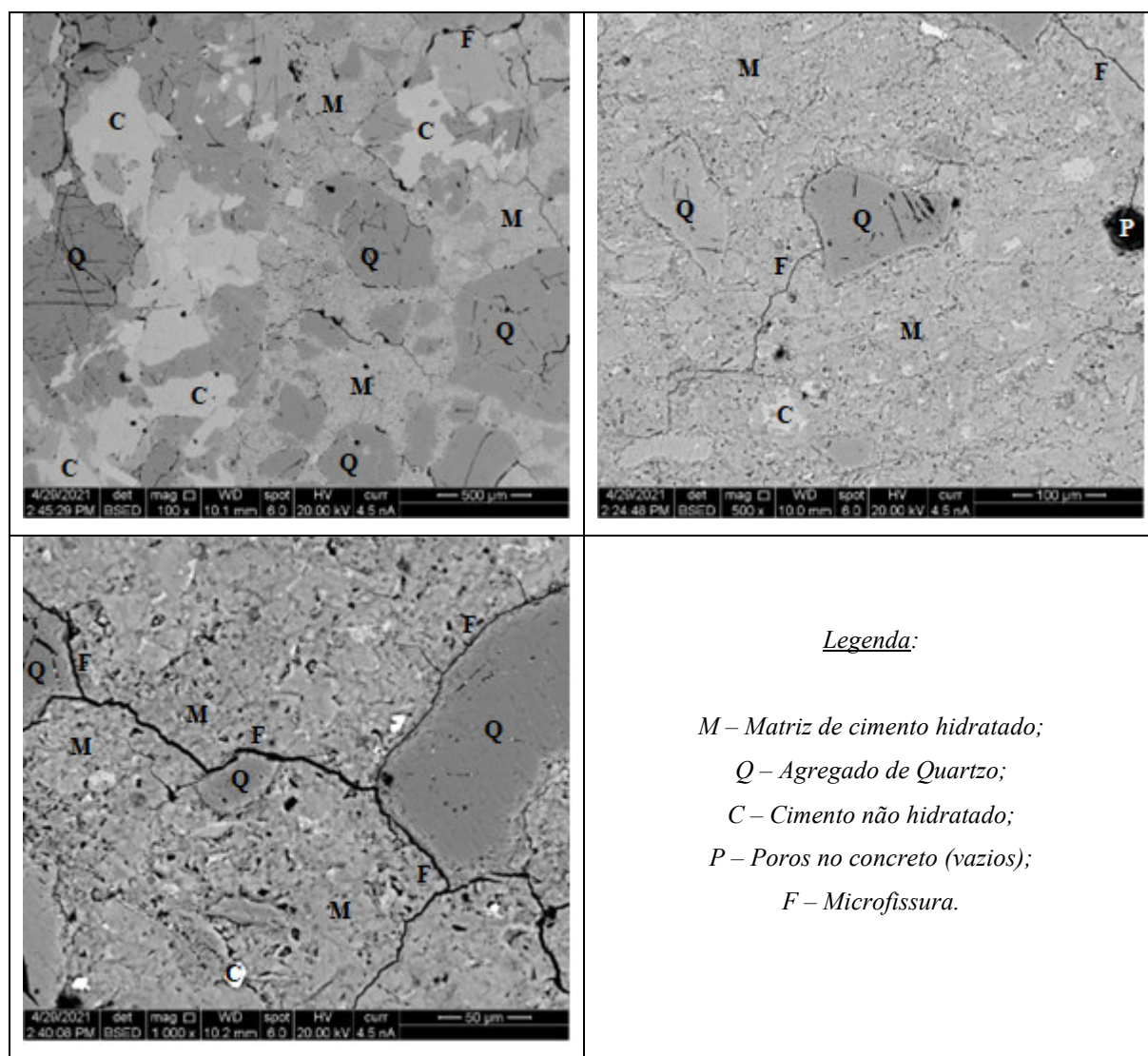
Fonte: Produção do próprio autor

Figura 68 – Micrografia da superfície polida da amostra CP 4.7, em modo retroespalhado.



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 69 – Micrografia da superfície polida da amostra CP 5.9, em modo retroespalhado.



Fonte: Produção do próprio autor

É possível observar ainda nas Figuras 67, 68 e 69 a presença de poros e de cimento não hidratado nas três amostras, só que em maior ocorrência na amostra CP3.3. Fissuras na zona de transição pasta/agregado também são observadas nas três amostras.

A amostra CP5.9, ilustrada na Figura 69, se mostrou com arranhões, ocasionados nos polimentos durante a preparação da amostra. Contudo, sua ocorrência não prejudicou as análises objeto desta pesquisa.

Já com relação à análise química, a EDS (espectroscopia de energia dispersiva) indicou de forma quantitativa os elementos químicos presentes nas amostras. Conforme mencionado no Capítulo 3.5.2.9, foram realizados três mapas em regiões distintas de cada amostra. Em cada mapa foram identificados seis pontos, sendo três da fase agregado e outros três da matriz

cimentícia. As Tabela 39, Tabela 40 e Tabela 41 apresentam os resultados das análises químicas das amostras CP3.3, CP4.7 e CP5.9, respectivamente.

Tabela 39 – Análise química por EDS da amostra CP3.3.

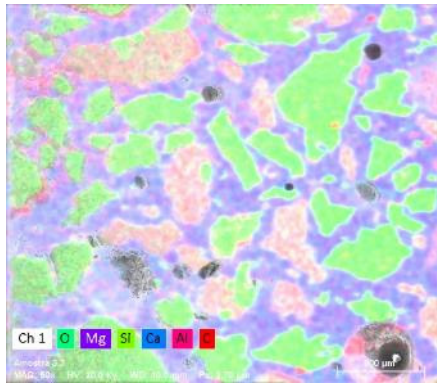
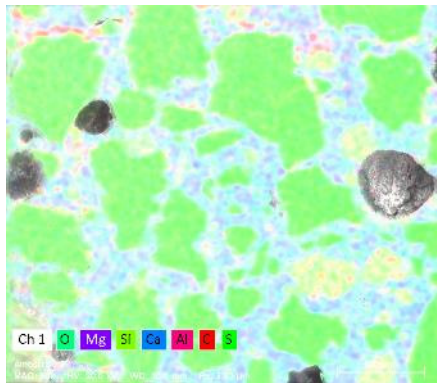
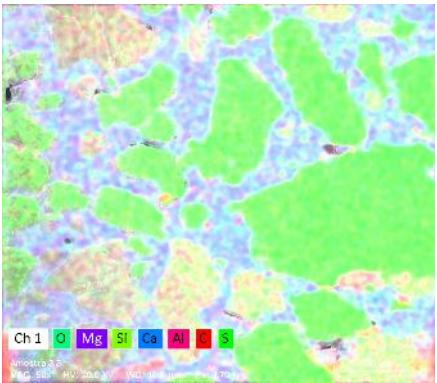
Mapa		Ponto	Elemento químico (%)								
			C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
1	 Ponto: M=Matriz ; Q=Agregado	1M	14	45	0	7	8	10	0	15	0
		2M	23	53	0	4	4	6	0	11	0
		3M	18	56	0	2	2	5	0	17	0
		4Q	21	44	0	0	0	35	0	0	0
		5Q	20	45	0	0	0	34	0	0	0
		6Q	20	46	0	0	0	34	0	0	0
		Média	19	48	0	4	4	21	0	14	0
		Σ	3	5	0	3	3	15	0	3	0
2	 Ponto: M=Matriz ; Q=Agregado	7M	26	48	0	0	3	7	1	16	0
		8M	18	55	0	1	3	6	0	18	0
		9M	20	53	0	1	2	7	0	16	0
		10Q	19	48	0	0	0	33	0	0	0
		11Q	20	46	0	0	8	20	6	0	0
		12Q	31	41	0	0	0	27	0	0	0
		Média	22	48	0	0	3	17	1	8	0
		Σ	5	5	0	1	3	12	3	9	0
3	 Ponto: M=Matriz ; Q=Agregado	13M	13	46	0	8	8	10	0	15	0
		14M	15	54	0	8	6	7	0	10	0
		15M	19	50	1	1	3	7	0	18	1
		16Q	19	47	0	0	0	34	0	0	0
		17Q	18	48	0	0	0	33	0	0	0
		18Q	21	42	1	0	8	21	7	0	0
		Média	18	48	0	3	4	19	1	7	0
		Σ	3	4	0	4	4	13	3	8	1
TOTAL CP3.3	Matriz M	Média	18	51	0	4	4	7	0	15	0
		Σ	4	4	0	3	2	2	0	3	0
	Agregado Q	Média	21	45	0	0	2	30	1	0	0
		Σ	4	3	0	0	4	6	3	0	0

Tabela 40 – Análise química por EDS da amostra CP4.7.

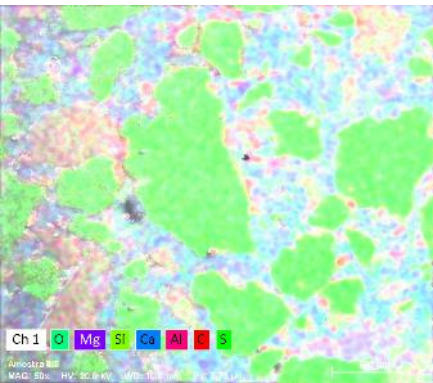
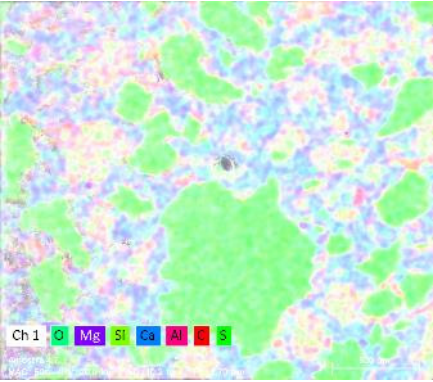
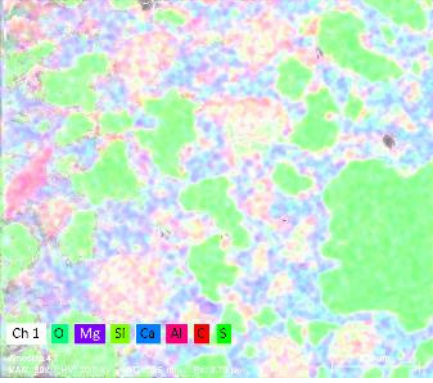
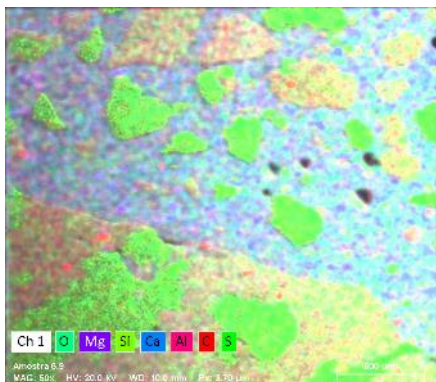
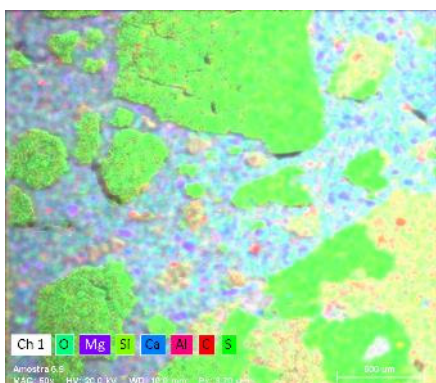
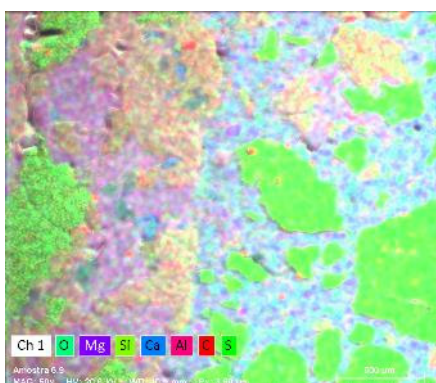
Mapa		Ponto	Elemento químico (%)								
			C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
1	 Ponto: M=Matriz ; Q=Agregado	1M	47	34	1	0	1	3	0	13	0
		2M	33	44	1	0	1	6	1	15	0
		3M	32	43	1	0	1	6	1	16	0
		4Q	25	40	1	0	8	20	7	0	0
		5Q	22	44	0	0	0	33	0	1	0
		6Q	23	45	0	0	0	32	0	0	0
		Média	30	42	1	0	2	17	2	7	0
		Σ	9	4	0	0	3	14	3	8	0
2	 Ponto: M=Matriz ; Q=Agregado	7M	24	44	0	1	2	8	1	19	1
		8M	51	31	0	1	1	4	1	11	0
		9M	41	35	0	0	1	9	1	13	0
		10Q	21	48	0	0	0	31	0	0	0
		11Q	22	45	0	0	0	33	0	0	0
		12Q	22	47	0	0	0	31	0	0	0
		Média	30	42	0	0	1	19	0	7	0
		Σ	13	7	0	1	1	14	0	8	0
3	 Ponto: M=Matriz ; Q=Agregado	13M	67	21	1	0	1	6	0	4	0
		14M	51	36	0	0	0	10	0	2	0
		15M	39	38	1	1	3	4	1	12	2
		16Q	35	41	0	0	0	24	0	0	0
		17Q	52	33	0	0	0	14	0	1	0
		18Q	24	43	4	0	9	18	0	2	0
		Média	45	35	1	0	2	13	0	4	0
		Σ	15	8	2	1	3	8	0	4	1
TOTAL CP4.7	Matriz M	Média	43	36	0	0	1	6	1	12	0
		Σ	13	7	0	1	1	2	0	5	1
	Agregado Q	Média	27	43	1	0	2	26	1	0	0
		Σ	10	4	1	0	4	7	2	1	0

Tabela 41 – Análise química por EDS da amostra CP5.9.

Mapa		Ponto	Elemento químico (%)								
			C	O	Na	Mg	Al	Si	K	Ca	Fe
1	 Ch 1 O Mg Si Ca Al K S Amostra 6.9 MAG: 50x HV: 20.0 kV WD: 10.6 mm Pic: 3.70 µm Ponto: M=Matriz ; Q=Agregado	1M	22	55	2	1	2	4	1	13	0
		2M	20	54	2	1	1	5	1	15	0
		3M	18	52	1	1	2	7	1	18	1
		4Q	22	45	0	0	0	32	0	0	0
		5Q	14	47	6	0	10	21	0	2	0
		6Q	19	44	4	0	11	18	0	3	0
		Média	19	50	2	0	4	15	0	9	0
		Σ	3	5	2	0	5	11	0	8	0
2	 Ch 1 O Mg Si Ca Al K S Amostra 6.9 MAG: 50x HV: 20.0 kV WD: 10.6 mm Pic: 3.70 µm Ponto: M=Matriz ; Q=Agregado	7M	15	50	0	0	1	7	0	26	0
		8M	17	55	1	0	1	6	1	19	0
		9M	17	56	1	1	2	5	1	17	0
		10Q	21	45	0	0	0	33	0	0	0
		11Q	19	46	0	0	0	35	0	0	0
		12Q	18	47	0	0	0	35	0	0	0
		Média	18	50	0	0	1	20	0	10	0
		Σ	2	5	1	0	1	15	0	12	0
3	 Ch 1 O Mg Si Ca Al K S Amostra 6.9 MAG: 50x HV: 20.0 kV WD: 10.6 mm Pic: 3.70 µm Ponto: M=Matriz ; Q=Agregado	13M	17	53	1	1	3	5	0	18	1
		14M	17	43	5	0	10	21	0	3	0
		15M	18	42	0	6	7	13	6	0	8
		16Q	13	53	0	0	8	20	7	0	0
		17Q	13	47	5	0	11	21	0	3	0
		18Q	17	46	0	0	8	21	8	0	0
		Média	16	47	2	1	8	17	4	4	2
		Σ	2	5	2	2	3	7	4	7	3
TOTAL CP5.9	Matriz M	Média	18	51	2	1	3	8	1	14	1
		Σ	2	5	1	2	3	6	2	8	3
	Agregado Q	Média	17	47	2	0	5	26	2	1	0
		Σ	4	2	3	0	5	7	3	1	0

Os elementos químicos observados nas três amostras, indicados nas Tabela 39, Tabela 40 e Tabela 41, são típicos de concretos de cimento Portland. Na matriz de cimento, além da grande presença de Carbono e Oxigênio, observa-se também a ocorrência de Cálcio, que é o principal elemento químico constituinte do cimento. Já na fase agregado, além do Carbono e do Oxigênio, o Silício também é um elemento bastante presente, como era de se esperar uma vez que se tratavam de agregados de quartzo.

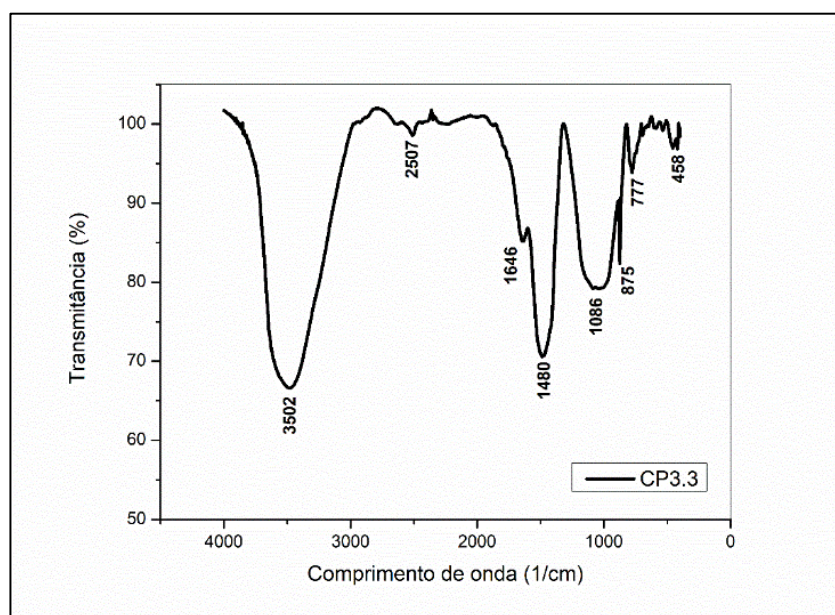
Finalmente, os resultados observados por meio da microscopia eletrônica de varredura - MEV mostraram coerência com àqueles obtidos nos demais ensaios realizados, oferecendo maior robustez à caracterização microestrutural realizada no presente trabalho.

4.1.2.7.4 Espectroscopia de Infravermelho (IV)

Foram obtidos os espectros da transmitância de infravermelho das 19 amostras de concreto das placas do pavimento, referentes aos comprimentos de onda (cm^{-1}).

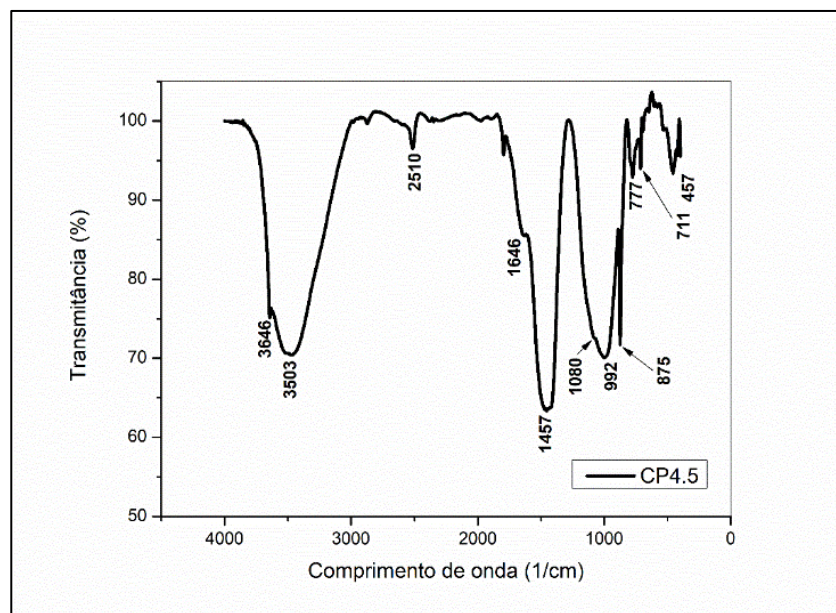
Observou-se semelhança entre os espectros das amostras de mesmo lote da rodovia. Dessa forma, as Figura 70, Figura 71 e Figura 72, apresentam os espectros das amostras CP3.3, CP4.5 e CP5.9, respectivamente, representativas para cada um dos três lotes. Os espectros das demais amostras são apresentados no Apêndice deste trabalho.

Figura 70 – Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP3.3.



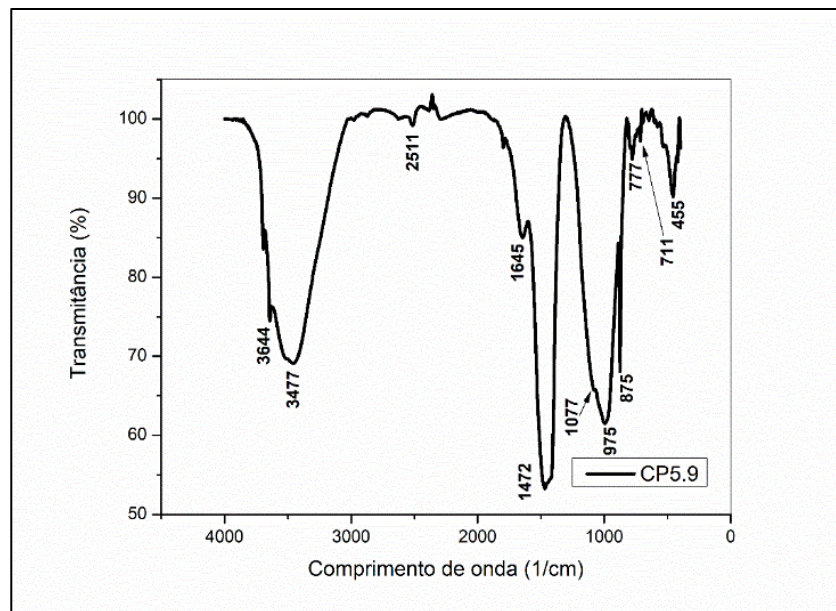
Fonte: Produção do próprio autor

Figura 71 - Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP4.5



Fonte: Produção do próprio autor

Figura 72 - Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP5.9



Fonte: Produção do próprio autor

Para a interpretação das bandas, utilizou-se como referências bibliográficas os trabalhos de Vaičiukynienė, et al (2013); Horgnies et al (HORGNIES; CHEN; BOUILLON, 2013); Ramachandran & Beaudoin (2001); Araújo Jr et al (2016); Eštokova et al (2012).

As bandas dos espectros das amostras analisadas, com suas prováveis atribuições, foram as seguintes:

- Banda larga entre 3100 e 3700 cm^{-1} causada pelo alongamento simétrico e assimétrico das ligações O -H das moléculas de água;
- Banda entre 1644 e 1646 cm^{-1} quando acontece a deformação H-O-H causada pela água absorvida;
- Bandas em 2510, 1450 a 1480, 875 e 711 cm^{-1} são atribuídas a CO_3^{2-} sugerindo a presença de CaCO_3 (calcita);
- Vibrações de Si – O são observadas nos picos 456, 777 e 970 cm^{-1} ;
- O pico entorno de 3644 cm^{-1} , visível apenas nas amostras dos lotes 4 e 5, pode ser atribuído ao alongamento das ligações O-H da Portlandita Ca(OH)_2 ;
- Já o Pico em 1456 cm^{-1} , sobreposto ao de calcita, sugere a presença de etringita.

Ainda com relação à etringita, os ombros existentes entre 1068 e 1091 cm^{-1} , presentes em picos alongados do SO_4^{2-} , são característicos do monosulfoaluminato de etringita. Picos em ~1068 e 1091 cm^{-1} são detectados após 3 dias de hidratação, apontando para a formação inicial de etringita. A intensidade desta banda diminui com o aumento do tempo de hidratação (VAIČIUKYNIENĖ et al., 2013).

Por fim, os resultados obtidos na espectroscopia de infravermelho se mostraram coerentes com àqueles observados nos demais ensaios realizados, dando maior robustez à caracterização microestrutural realizada na pesquisa.

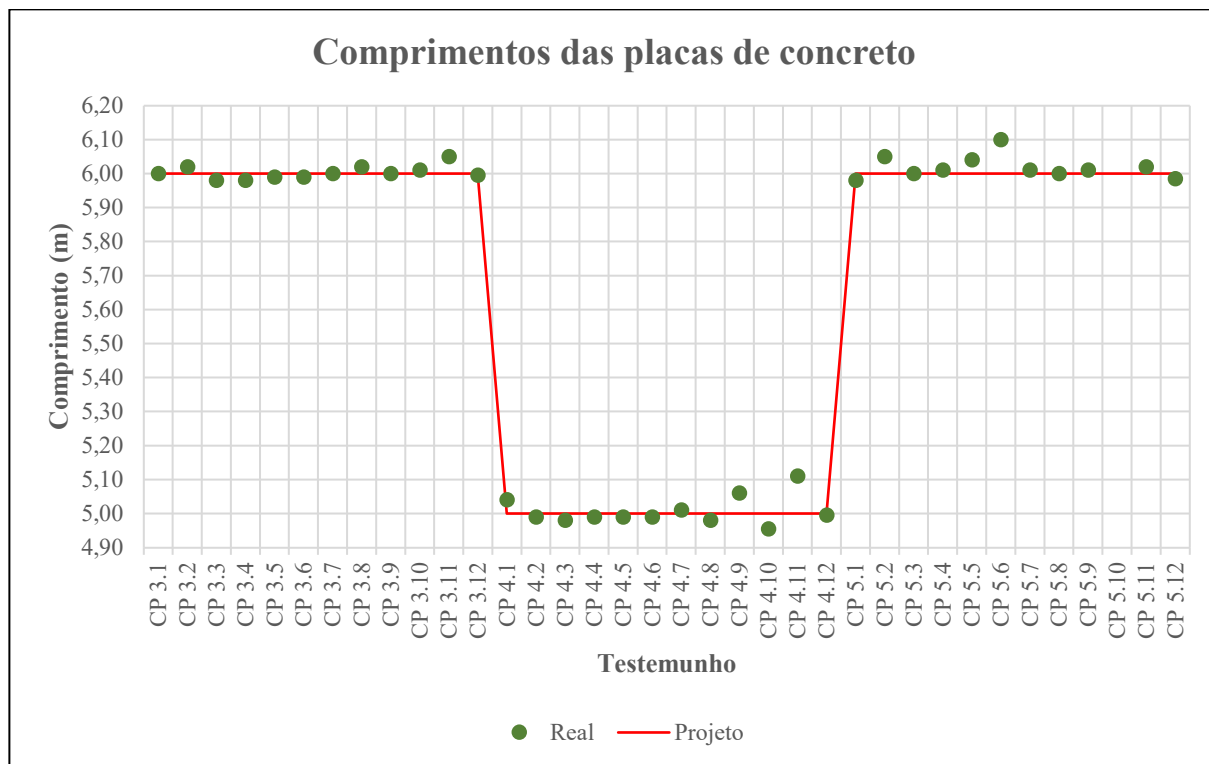
4.1.3 Dimensões das placas de concreto:

As dimensões das placas de concreto do pavimento, obtidas conforme descrito no Capítulo 3.4, foram comparadas com aquelas definidas em projeto. Os resultados, utilizados na modelagem, são apresentadas na Tabela 42 e na Figura 73, Figura 74 e Figura 75.

Tabela 42 – Dimensões das placas de concreto nos pontos de interesse.

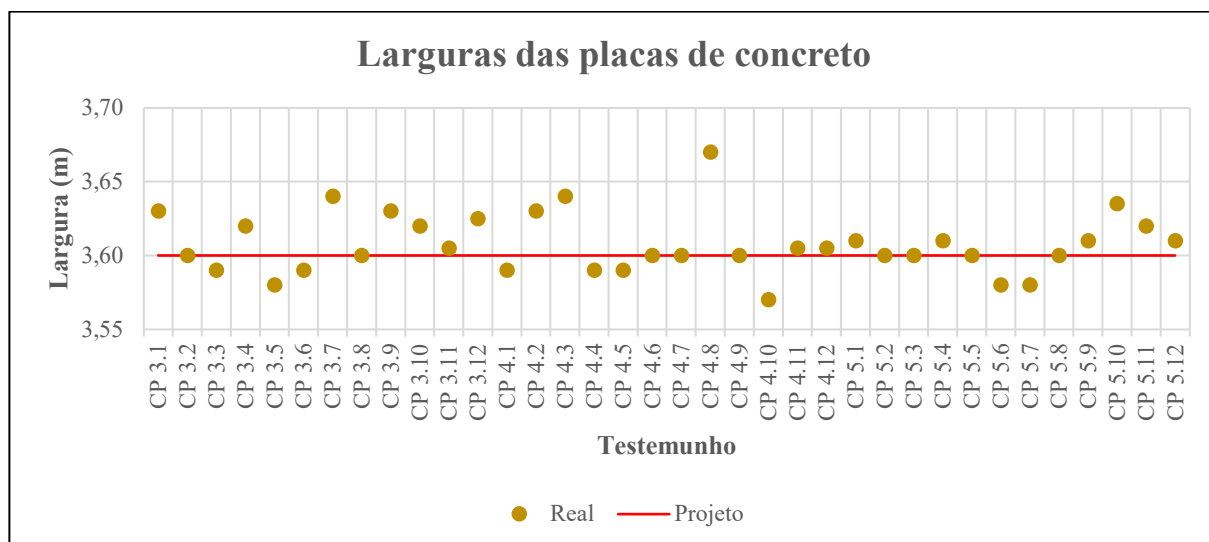
Lote	Testemunho	Placa de concreto					
		Comprimento (m)		Largura (m)		Espessura (m)	
		Projeto	Real	Projeto	Real	Projeto	Real
3	CP 3.1	6,00	6,00	3,60	3,63	0,21	0,21
	CP 3.2		6,02		3,60		0,22
	CP 3.3		5,98		3,59		0,19
	CP 3.4		5,98		3,62		0,21
	CP 3.5		5,99		3,58		0,20
	CP 3.6		5,99		3,59		0,20
	CP 3.7		6,00		3,64		0,20
	CP 3.8		6,02		3,60		0,21
	CP 3.9		6,00		3,63		0,21
	CP 3.10		6,01		3,62		0,23
	CP 3.11		6,05		3,61		0,20
	CP 3.12		6,00		3,63		0,21
4	CP 4.1	5,00	5,04	3,60	3,59	0,22	0,23
	CP 4.2		4,99		3,63		0,23
	CP 4.3		4,98		3,64		0,24
	CP 4.4		4,99		3,59		0,22
	CP 4.5		4,99		3,59		0,23
	CP 4.6		4,99		3,60		0,23
	CP 4.7		5,01		3,60		0,24
	CP 4.8		4,98		3,67		0,22
	CP 4.9		5,06		3,60		0,23
	CP 4.10		4,96		3,57		0,24
	CP 4.11		5,11		3,61		0,23
	CP 4.12		5,00		3,61		0,22
5	CP 5.1	6,00	5,98	3,60	3,61	0,22	0,23
	CP 5.2		6,05		3,60		0,22
	CP 5.3		6,00		3,60		0,23
	CP 5.4		6,01		3,61		0,26
	CP 5.5		6,04		3,60		0,20
	CP 5.6		6,10		3,58		0,19
	CP 5.7		6,01		3,58		0,23
	CP 5.8		6,00		3,60		0,22
	CP 5.9		6,01		3,61		0,22
	CP 5.10		6,25		3,64		0,26
	CP 5.11		6,02		3,62		0,24
	CP 5.12		5,99		3,61		0,24

Figura 73 – Gráfico dos comprimentos das placas de concreto nos pontos de interesse.



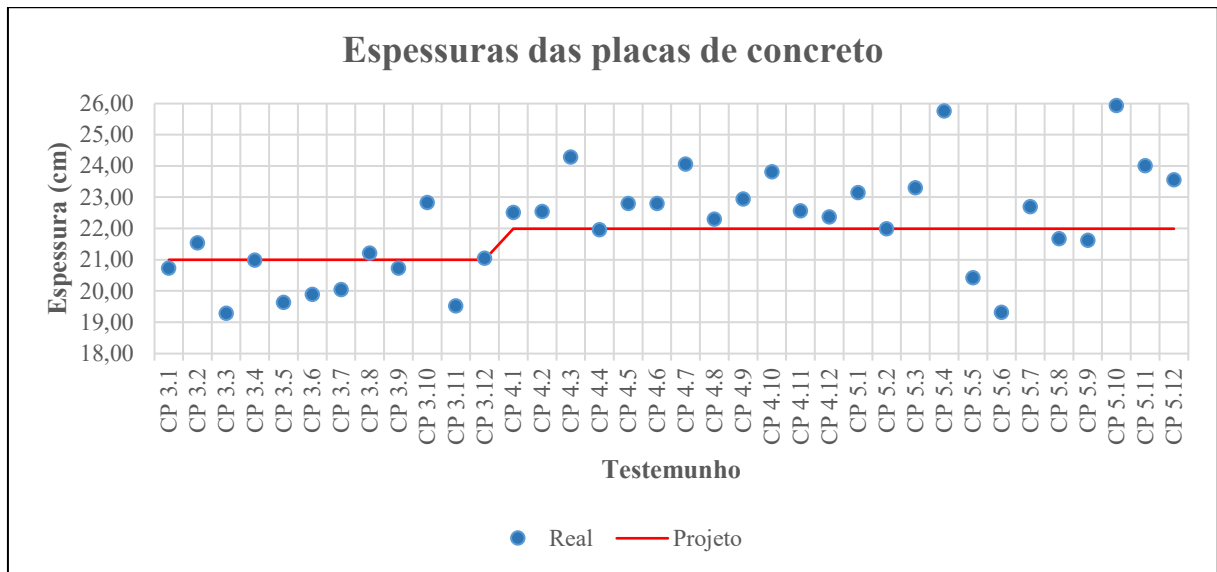
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 74 - Gráfico das larguras das placas de concreto nos pontos de interesse.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 75 - Gráfico das espessuras das placas de concreto nos pontos de interesse.



Fonte: Produção do próprio autor.

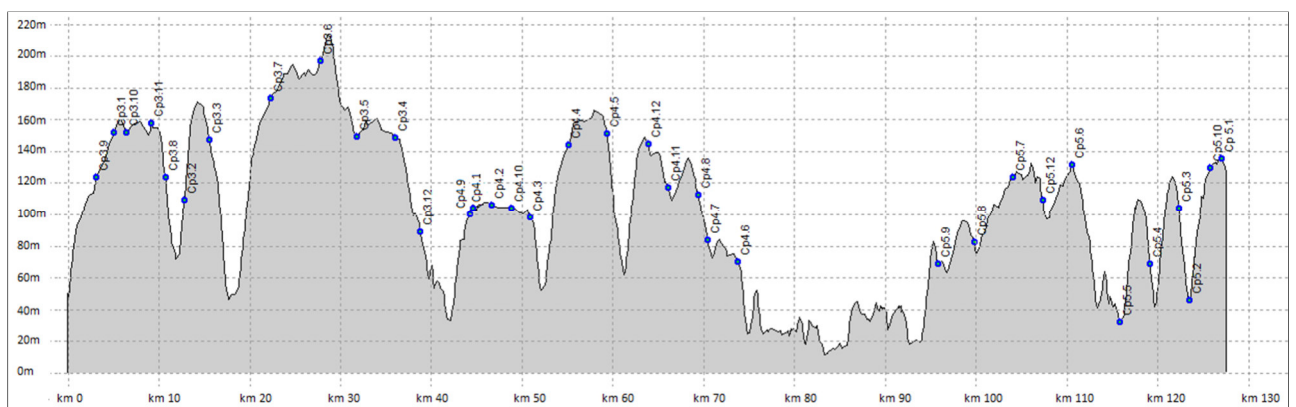
4.1.4 Topografia

As variáveis relacionadas com a topografia da rodovia foram as altitudes e declividades nos pontos de interesse.

4.1.4.1 Altitudes:

Os resultados das altitudes são apresentados na Figura 76, que ilustra o perfil longitudinal da rodovia e na Tabela 43 que aponta as altitudes nos pontos de interesse.

Figura 76 – Perfil longitudinal da BR-101/PB.



Fonte: Produção do próprio autor.

Tabela 43 – Altitudes nos pontos de interesse da rodovia.

Lote	Testemunho	Altitude (m)
3	CP 3.1	134,95
	CP 3.2	98,66
	CP 3.3	130,38
	CP 3.4	129,42
	CP 3.5	132,79
	CP 3.6	183,26
	CP 3.7	155,86
	CP 3.8	105,87
	CP 3.9	107,31
	CP 3.10	133,99
	CP 3.11	141,92
	CP 3.12	81,36
4	CP 4.1	97,94
	CP 4.2	99,14
	CP 4.3	95,30
	CP 4.4	137,11
	CP 4.5	142,40
	CP 4.6	64,53
	CP 4.7	74,15
	CP 4.8	104,43
	CP 4.9	95,30
	CP 4.10	88,81
	CP 4.11	108,27
	CP 4.12	135,91
5	CP 5.1	133,03
	CP 5.2	40,02
	CP 5.3	109,24
	CP 5.4	63,81
	CP 5.5	42,18
	CP 5.6	141,68
	CP 5.7	112,36
	CP 5.8	75,11
	CP 5.9	66,22
	CP 5.10	125,58
	CP 5.11	41,94
	CP 5.12	100,58

4.1.4.2 Declividades longitudinais:

Já as declividades longitudinais nos pontos de interesse são apresentadas na Tabela 44. A declividade positiva indica aclive e a negativa indica declive no ponto de interesse.

Tabela 44 – Declividades longitudinais nos pontos de interesse.

Lote	Testemunho	Altitude (m)		Extensão do segmento (m)	Declividade longitudinal	
		Inicial	Final		Real	Módulo
3	CP 3.1	148,180	152,026	244,000	1,6%	1,6%
	CP 3.2	105,402	109,247	70,000	5,5%	5,5%
	CP 3.3	149,622	146,258	97,000	-3,5%	3,5%
	CP 3.4	149,142	149,142	233,000	0,0%	0,0%
	CP 3.5	150,584	152,987	631,000	0,4%	0,4%
	CP 3.6	202,976	198,169	347,000	-1,4%	1,4%
	CP 3.7	176,059	172,694	257,000	-1,3%	1,3%
	CP 3.8	114,054	118,379	60,000	7,2%	7,2%
	CP 3.9	123,186	119,821	161,000	-2,1%	2,1%
	CP 3.10	153,948	151,064	346,000	-0,8%	0,8%
	CP 3.11	155,871	159,236	130,000	2,6%	2,6%
	CP 3.12	86,175	88,579	112,000	2,1%	2,1%
4	CP 4.1	102,998	104,440	275,000	0,5%	0,5%
	CP 4.2	106,844	105,402	483,000	-0,3%	0,3%
	CP 4.3	99,634	95,788	505,000	-0,8%	0,8%
	CP 4.4	142,893	146,258	192,000	1,8%	1,8%
	CP 4.5	154,429	151,064	97,000	-3,5%	3,5%
	CP 4.6	68,391	68,872	27,000	1,8%	1,8%
	CP 4.7	82,330	85,695	131,000	2,6%	2,6%
	CP 4.8	115,496	115,496	31,000	0,0%	0,0%
	CP 4.9	103,960	100,115	259,000	-1,5%	1,5%
	CP 4.10	104,440	103,960	606,000	-0,1%	0,1%
	CP 4.11	119,821	123,186	176,000	1,9%	1,9%
	CP 4.12	143,374	146,738	133,000	2,5%	2,5%
5	CP 5.1	136,164	133,280	284,000	-1,0%	1,0%
	CP 5.2	39,551	42,435	244,000	1,2%	1,2%
	CP 5.3	94,347	97,711	71,000	4,7%	4,7%
	CP 5.4	65,026	69,833	71,000	6,8%	6,8%
	CP 5.5	32,822	30,419	255,000	-0,9%	0,9%
	CP 5.6	130,877	128,954	289,000	-0,7%	0,7%
	CP 5.7	123,186	125,109	365,000	0,5%	0,5%
	CP 5.8	84,253	87,137	125,000	2,3%	2,3%
	CP 5.9	72,236	73,678	266,000	0,5%	0,5%

	CP 5.10	130,396	127,031	426,000	-0,8%	0,8%
	CP 5.11	52,049	48,684	69,000	-4,9%	4,9%
	CP 5.12	104,921	109,247	227,000	1,9%	1,9%

Para fins de modelagem, considerou-se as variáveis altitude, declividade e o módulo da declividade. Os valores indicados na Tabela 43 e na Tabela 44 foram repetidos para o ano inicial e para os anos de 2016 e 2019.

4.1.5 Tráfego

Para a obtenção do número N nos pontos de interesse foi necessário inicialmente definir as composições do tráfego, os fatores de equivalência de carga e fatores de veículo. Todos esses resultados são apresentados a seguir.

4.1.5.1 Composições de tráfego

As composições de tráfego para cada um dos sete subtrechos da rodovia, definidos conforme metodologia apresentada no capítulo 3.7.2, são apresentadas na Tabela 45.

Tabela 45 – Composições de tráfego dos subtrechos da BR-101/PB.

Subtrecho		1		2		3		4		5		6		7	
km	Inicial	0		6,1		29,9		40		92,4		99,4		110,2	
	final	6,1		29,9		40		73,5		99,4		110,2		127,7	
Dados		VDM	%	VDM	%	VDM	%	VDM	%	VDM	%	VDM	%	VDM	%
AUTO		1794	52,7%	2003	54,1%	3268	62,3%	4.700	68,1%	7446	75,6%	5943	74,6%	4742	69,2%
ÔNIBUS	2C	49	1,4%	42	1,1%	93	1,8%	185	2,7%	183	1,9%	97	1,2%	91	1,3%
	3C	85	2,5%	77	2,1%	68	1,3%	131	1,9%	150	1,5%	120	1,5%	77	1,1%
CAMINHÕES	2C	268	7,9%	293	7,9%	508	9,7%	441	6,4%	611	6,2%	538	6,8%	528	7,7%
	3C	564	16,6%	640	17,3%	683	13,0%	724	10,5%	830	8,4%	665	8,3%	750	10,9%
	4C	19	0,6%	3	0,1%	3	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%

SEMI- REBOQUES	2S1	1	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	4	0,1%	6	0,1%	12	0,2%	5	0,1%
	2S2	34	1,0%	45	1,2%	42	0,8%	37	0,5%	29	0,3%	40	0,5%	67	1,0%
	2S3	371	10,9%	397	10,7%	398	7,6%	485	7,0%	510	5,2%	427	5,4%	491	7,2%
	3S1	3	0,1%	3	0,1%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
	3S2	23	0,7%	6	0,2%	8	0,2%	15	0,2%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
	3S3	122	3,6%	119	3,2%	109	2,1%	118	1,7%	48	0,5%	76	1,0%	62	0,9%
REBOQUES	2C2	1	0,0%	0	0,0%	1	0,0%	4	0,1%	9	0,1%	13	0,2%	5	0,1%
	2C3	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1	0,0%	30	0,3%	39	0,5%	36	0,5%
	2C2-2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
	3C2-2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
	3S2.S2	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	58	0,8%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
	2S2-S2	45	1,3%	63	1,7%	51	1,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
	3S4-2	23	0,7%	9	0,2%	16	0,3%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
TOTAL	GERAL	3402	100%	3700	100%	5248	100%	6903	100%	9852	100%	7970	100%	6854	100%
	COMERC	1608	47,3%	1697	45,9%	1980	37,7%	2203	31,9%	2406	24,4%	2027	25,4%	2112	30,8%
Ano dos dados		abr/04		abr/04		abr/04		jan/02		jan/02		jan/02		jan/02	

4.1.5.2 Fatores de equivalência de carga

Os fatores de equivalência de carga (FC) por eixo obtidos, necessários para o cálculo do fator de veículo por subtrecho de acordo com a Equação (27), são apresentados na Tabela 46.

Tabela 46 – Fatores de equivalência de Carga dos veículos

Tipo de eixo	Veículo Carregado				Veículo Vazio			
	Peso bruto sobre o eixo (t)			FEC	Peso bruto sobre o eixo (t)			FC
	Máximo	Tolerância	Total		Vazio	Tolerância	Total	
Simplex de roda simples	6,0	0,0%	6,00	0,327	3,0	0,0%	3,0	0,016
Simplex de roda dupla	10,0	7,5%	10,75	3,273	5,0	0,0%	5,0	0,120

Tandem duplo (roda Simples+dupla)	13,5	7,5%	14,51	0,853	6,0	0,0%	6,0	0,022
Tandem duplo (roda dupla)	17,0	7,5%	18,28	2,216	6,0	0,0%	6,0	0,022
Tandem triplo (roda dupla)	25,5	7,5%	27,41	2,117	9,0	0,0%	9,0	0,019

4.1.5.3 Fatores de veículo

Os fatores de veículos, calculados a partir da composição do tráfego (Tabela 45) e dos fatores de equivalência de carga (Tabela 46), são apresentados com detalhes no APÊNDICE B. A Tabela 47 ilustra resumidamente os resultados obtidos.

Tabela 47 – Quadro resumido dos fatores de veículos por subtrecho da BR-101/PB.

Subtrecho	Segmento		Fator de veículo
	km i	km f	
1	0	6,1	3,48
2	6,1	29,9	3,41
3	29,9	40	3,30
4	40	73,5	3,35
5	92,4	99,4	3,07
6	99,4	110,2	3,24
7	110,2	127,7	3,24

4.1.5.4 Número N

Seguindo a metodologia descrita no Capítulo 3.7, foi identificado o número de repetições do eixo padrão nos 36 pontos de interesse em três momentos distintos: após a construção do pavimento e antes da abertura ao tráfego ($N = 0$) e nos anos de 2016 e 2019, quando foram realizados os levantamentos de defeitos nesta pesquisa. Dessa forma, foram obtidos 108 registros, apresentados no quadro resumo da Tabela 48, a serem inseridos na modelagem.

Tabela 48 – Quadro resumo do número N acumulado

Nº	Ponto de interesse		Ano	Número N acum.
	Nome	km		
1	CP 3.1	5.3	2008	0
2	CP 3.2	12.9	2008	0
3	CP 3.3	15.6	2008	0
4	CP 3.4	36.0	2008	0
5	CP 3.5	31.7	2009	0
6	CP 3.6	27.8	2009	0
7	CP 3.7	22.3	2008	0
8	CP 3.8	10.9	2009	0
9	CP 3.9	3.3	2008	0
10	CP 3.10	6.7	2008	0
11	CP 3.11	9.4	2009	0
12	CP 3.12	38.8	2008	0
13	CP 4.1	44.8	2008	0
14	CP 4.2	46.9	2008	0
15	CP 4.3	51.0	2008	0
16	CP 4.4	55.3	2008	0
17	CP 4.5	59.6	2008	0
18	CP 4.6	73.5	2008	0
19	CP 4.7	70.6	2008	0
20	CP 4.8	69.5	2008	0
21	CP 4.9	44.4	2008	0
22	CP 4.10	48.7	2008	0
23	CP 4.11	65.8	2008	0
24	CP 4.12	63.6	2008	0
25	CP 5.1	127.0	2012	0
26	CP 5.2	123.4	2008	0
27	CP 5.3	122.3	2008	0
28	CP 5.4	119.3	2008	0
29	CP 5.5	116.0	2009	0
30	CP 5.6	110.7	2010	0
31	CP 5.7	104.1	2008	0
32	CP 5.8	99.7	2009	0
33	CP 5.9	95.9	2009	0
34	CP 5.10	125.9	2008	0
35	CP 5.11	113.8	2008	0
36	CP 5.12	107.3	2008	0
37	CP 3.1	5.3	2016	1.06E+07
38	CP 3.2	12.9	2016	1.23E+07
39	CP 3.3	15.6	2016	1.23E+07
40	CP 3.4	36.0	2016	1.24E+07
41	CP 3.5	31.7	2016	1.13E+07

42	CP 3.6	27.8	2016	1.13E+07
43	CP 3.7	22.3	2016	1.23E+07
44	CP 3.8	10.9	2016	1.13E+07
45	CP 3.9	3.3	2016	1.06E+07
46	CP 3.10	6.7	2016	1.23E+07
47	CP 3.11	9.4	2016	1.13E+07
48	CP 3.12	38.8	2016	1.24E+07
49	CP 4.1	44.8	2016	1.63E+07
50	CP 4.2	46.9	2016	1.63E+07
51	CP 4.3	51.0	2016	1.63E+07
52	CP 4.4	55.3	2016	1.63E+07
53	CP 4.5	59.6	2016	1.63E+07
54	CP 4.6	73.5	2016	1.63E+07
55	CP 4.7	70.6	2016	1.63E+07
56	CP 4.8	69.5	2016	1.63E+07
57	CP 4.9	44.4	2016	1.63E+07
58	CP 4.10	48.7	2016	1.63E+07
59	CP 4.11	65.8	2016	1.63E+07
60	CP 4.12	63.6	2016	1.63E+07
61	CP 5.1	127.0	2016	1.01E+07
62	CP 5.2	123.4	2016	1.57E+07
63	CP 5.3	122.3	2016	1.57E+07
64	CP 5.4	119.3	2016	1.57E+07
65	CP 5.5	116.0	2016	1.44E+07
66	CP 5.6	110.7	2016	1.31E+07
67	CP 5.7	104.1	2016	1.58E+07
68	CP 5.8	99.7	2016	1.45E+07
69	CP 5.9	95.9	2016	2.11E+07
70	CP 5.10	125.9	2016	1.57E+07
71	CP 5.11	113.8	2016	1.57E+07
72	CP 5.12	107.3	2016	1.58E+07
73	CP 3.1	5.3	2019	1.53E+07
74	CP 3.2	12.9	2019	1.71E+07
75	CP 3.3	15.6	2019	1.71E+07
76	CP 3.4	36.0	2019	1.78E+07
77	CP 3.5	31.7	2019	1.67E+07
78	CP 3.6	27.8	2019	1.61E+07
79	CP 3.7	22.3	2019	1.71E+07
80	CP 3.8	10.9	2019	1.61E+07
81	CP 3.9	3.3	2019	1.53E+07
82	CP 3.10	6.7	2019	1.71E+07
83	CP 3.11	9.4	2019	1.61E+07
84	CP 3.12	38.8	2019	1.78E+07
85	CP 4.1	44.8	2019	2.36E+07

86	CP 4.2	46.9	2019	2.36E+07
87	CP 4.3	51.0	2019	2.36E+07
88	CP 4.4	55.3	2019	2.36E+07
89	CP 4.5	59.6	2019	2.36E+07
90	CP 4.6	73.5	2019	2.36E+07
91	CP 4.7	70.6	2019	2.36E+07
92	CP 4.8	69.5	2019	2.36E+07
93	CP 4.9	44.4	2019	2.36E+07
94	CP 4.10	48.7	2019	2.36E+07
95	CP 4.11	65.8	2019	2.36E+07
96	CP 4.12	63.6	2019	2.36E+07
97	CP 5.1	127.0	2019	1.62E+07
98	CP 5.2	123.4	2019	2.18E+07
99	CP 5.3	122.3	2019	2.18E+07
100	CP 5.4	119.3	2019	2.18E+07
101	CP 5.5	116.0	2019	2.05E+07
102	CP 5.6	110.7	2019	1.92E+07
103	CP 5.7	104.1	2019	2.25E+07
104	CP 5.8	99.7	2019	2.12E+07
105	CP 5.9	95.9	2019	3.34E+07
106	CP 5.10	125.9	2019	2.18E+07
107	CP 5.11	113.8	2019	2.18E+07
108	CP 5.12	107.3	2019	2.25E+07

As tabelas detalhadas com os dados para a obtenção do número N em cada ponto de interesse são apresentadas no APÊNDICE C.

4.1.6 Coeficiente de recalque da fundação do pavimento

Os valores dos coeficientes de recalque nos pontos de interesse, definidos conforme metodologia descrita no capítulo 3.8, são apresentados na Tabela 49.

Tabela 49 – Coeficientes de recalque da fundação do pavimento nos pontos de interesse.

lote	Testemunho	Localização		Subleito		Sub-base			Coef. de recalque (Mpa/m)
				Origem material das camadas finais (60cm)	ISC	Tipo	Espessura (cm)		
		km	estaca				Indiv.	média lote	
3	CP 3.1	5,3	263,5	Jazida E4	12%	CCR	-	11	175
	CP 3.2	12,9	644	Terreno natural	32%	CCR	-		225
	CP 3.3	15,6	782	Jazida E10	30%	CCR	-		222
	CP 3.4	36,0	1802	Jazida E24	31%	CCR	-		223
	CP 3.5	31,7	1585	Terreno natural	13%	CCR	-		179
	CP 3.6	27,8	1388	Jazida E19	37%	CCR	10,3		232
	CP 3.7	22,3	1112,5	Jazida E11	30%	CCR	-		222
	CP 3.8	10,9	545	Jazida E6	16%	CCR	-		189
	CP 3.9	3,3	166	Jazida E2	17%	CCR	-		193
	CP 3.10	6,7	332,5	Jazida E4	12%	CCR	10,0		175
	CP 3.11	9,4	469	Terreno natural	26%	CCR	13,0		214
	CP 3.12	38,8	1938,5	Jazida E25	28%	CCR	10,0		218
4	CP 4.1	44,8	251	Jazida EL1	20%	CCR	-	10	194
	CP 4.2	46,9	356	Jazida EL1	20%	CCR	-		194
	CP 4.3	51,0	561	Jazida EL1	20%	CCR	-		194
	CP 4.4	55,3	776	Jazida EL7	30%	CCR	10,0		213
	CP 4.5	59,6	991	Jazida EL11	22%	CCR	-		198
	CP 4.6	73,5	1686	Jazida EL16	16%	CCR	-		182
	CP 4.7	70,6	1541	Jazida EL15	17%	CCR	-		184
	CP 4.8	69,5	1486	Jazida EL14	19%	CCR	-		191
	CP 4.9	44,4	231	Jazida EL1	20%	CCR	-		194
	CP 4.10	48,7	448	Jazida EL1	20%	CCR	10,0		194
	CP 4.11	65,8	1302,5	Jazida EL14	19%	CCR	10,0		191
	CP 4.12	63,6	1192,5	Jazida EL11	22%	CCR	11,0		198
5	CP 5.1	127,1	2678,5	Jazida EC-16	13%	CCR	-	11	179
	CP 5.2	123,6	2499,5	Jazida EC-14	23%	CCR	-		208
	CP 5.3	122,7	2456,5	Jazida EC-14	23%	CCR	-		208
	CP 5.4	120,6	2349,5	Jazida EC-13	31%	CCR	-		223
	CP 5.5	117,2	2183,5	Jazida EC-11	9%	CCR	-		160
	CP 5.6	111,8	1913,5	Jazida EC-09	24%	CCR	-		210
	CP 5.7	105,4	1590	Jazida EC-08	14%	CCR	-		183
	CP 5.8	101,0	1373,5	Jazida EC-06	28%	CCR	-		218
	CP 5.9	95,9	1117	Jazida EC-03	33%	CCR	-		227
	CP 5.10	125,9	2615	Jazida EC-15	21%	CCR	11,0		203
	CP 5.11	113,8	2010,5	Jazida EC-10	28%	CCR	12,0		218
	CP 5.12	107,3	1687,5	Jazida EC-09	24%	CCR	9,0		210

Cabe registrar que os critérios adotados para se definir os coeficientes de recalque nos 36 pontos de interesse são meramente aproximados, diante da impossibilidade e inviabilidade de execução de ensaios de prova de carga, que indicariam resultados mais precisos. Contudo, para a necessidade desta pesquisa entende-se que a metodologia aplicada é satisfatória.

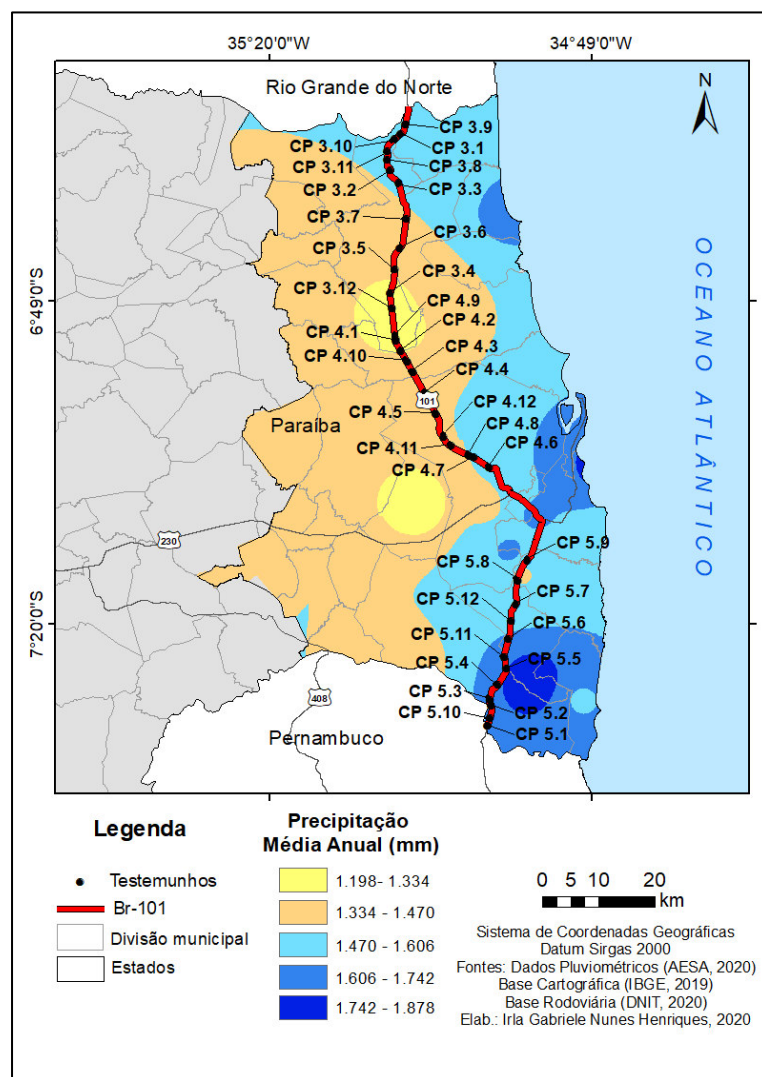
Para fins de modelagem, considerou-se não haver variação do coeficiente de recalque ao longo do tempo. Assim, os valores indicados na Tabela 49 foram repetidos para o ano inicial e para os anos de 2016 e 2019.

4.1.7 Pluviosidade

Conforme detalhado no Capítulo 3.9, a partir dos dados de 16 postos pluviométricos situados na mesorregião da Mata Paraibana, foram calculadas as pluviosidades médias anuais em todos os pontos de interesse no período entre 2009 e 2019.

A Figura 77 apresenta o mapa da pluviosidade média anual neste período ao longo de toda a rodovia BR-101/PB.

Figura 77 – Mapa da pluviosidade média anual ao longo da BR-101/PB.



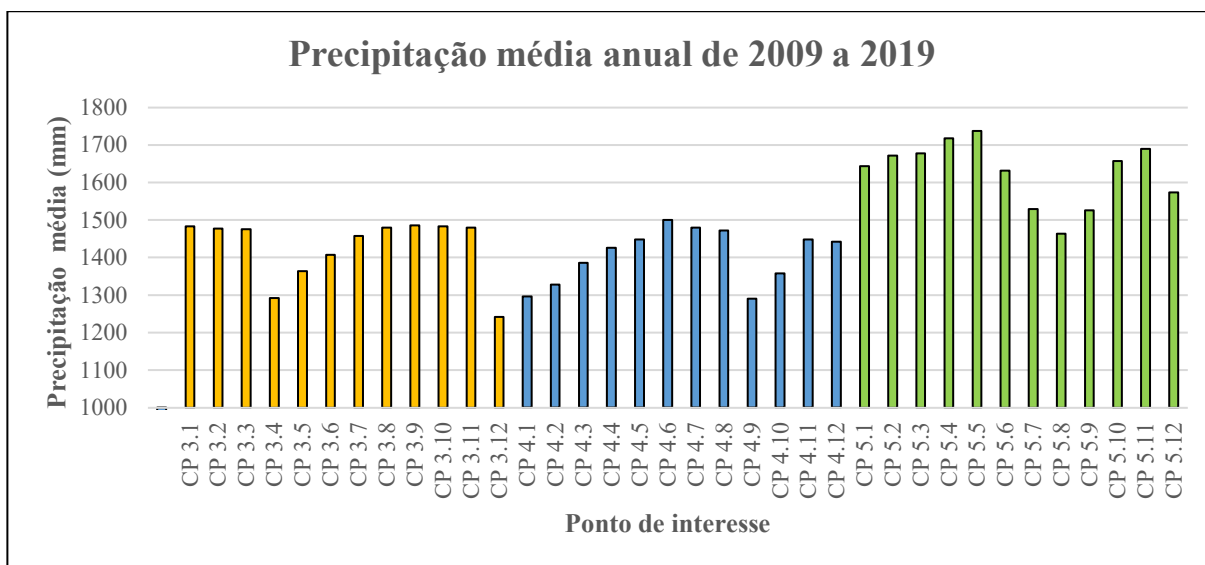
Fonte: Produção do próprio autor.

Já a Tabela 50 e a Figura 78 apresentam as pluviosidades médias anuais entre 2009 e 2019 nos pontos de interesse.

Tabela 50 – Pluviosidades médias anuais no período entre 2009 e 2019 nos pontos de interesse.

Testemunho	Precipitação média anual (mm)
CP 3.1	1484
CP 3.2	1478
CP 3.3	1476
CP 3.4	1292
CP 3.5	1364
CP 3.6	1408
CP 3.7	1458
CP 3.8	1480
CP 3.9	1486
CP 3.10	1484
CP 3.11	1480
CP 3.12	1242
CP 4.1	1296
CP 4.2	1328
CP 4.3	1386
CP 4.4	1426
CP 4.5	1448
CP 4.6	1500
CP 4.7	1480
CP 4.8	1472
CP 4.9	1290
CP 4.10	1358
CP 4.11	1448
CP 4.12	1442
CP 5.1	1644
CP 5.2	1672
CP 5.3	1678
CP 5.4	1718
CP 5.5	1738
CP 5.6	1632
CP 5.7	1530
CP 5.8	1464
CP 5.9	1526
CP 5.10	1658
CP 5.11	1690
CP 5.12	1574

Figura 78 – Histograma das pluviosidades médias anuais no período entre 2009 e 2019 nos pontos de interesse.



Fonte: Produção do próprio autor.

Para fins de modelagem, calculou-se a pluviosidade acumulada no período, multiplicando-se os valores indicados na Tabela 50 pelo número de anos decorridos no período. Dessa forma, os valores considerados na modelagem são os indicados na Tabela 51.

Tabela 51 – Pluviosidades acumuladas nos pontos de interesse.

Nº	Testemunho	Precipitação acumulada (mm)			
		Ano inicial		2016	2019
		Ano	Valor	Valor	Valor
1	CP 3.1	2008	0	11872	16324
2	CP 3.2	2008	0	11824	16258
3	CP 3.3	2008	0	11808	16236
4	CP 3.4	2008	0	10336	14212
5	CP 3.5	2009	0	9548	13640
6	CP 3.6	2009	0	9856	14080
7	CP 3.7	2008	0	11664	16038
8	CP 3.8	2009	0	10360	14800
9	CP 3.9	2008	0	11888	16346
10	CP 3.10	2008	0	11872	16324
11	CP 3.11	2009	0	10360	14800
12	CP 3.12	2008	0	9936	13662
13	CP 4.1	2008	0	10368	14256
14	CP 4.2	2008	0	10624	14608
15	CP 4.3	2008	0	11088	15246

16	CP 4.4	2008	0	11408	15686
17	CP 4.5	2008	0	11584	15928
18	CP 4.6	2008	0	12000	16500
19	CP 4.7	2008	0	11840	16280
20	CP 4.8	2008	0	11776	16192
21	CP 4.9	2008	0	10320	14190
22	CP 4.10	2008	0	10864	14938
23	CP 4.11	2008	0	11584	15928
24	CP 4.12	2008	0	11536	15862
25	CP 5.1	2012	0	6576	11508
26	CP 5.2	2008	0	13376	18392
27	CP 5.3	2008	0	13424	18458
28	CP 5.4	2008	0	13744	18898
29	CP 5.5	2009	0	12166	17380
30	CP 5.6	2010	0	9792	14688
31	CP 5.7	2008	0	12240	16830
32	CP 5.8	2009	0	10248	14640
33	CP 5.9	2009	0	10682	15260
34	CP 5.10	2008	0	13264	18238
35	CP 5.11	2008	0	13520	18590
36	CP 5.12	2008	0	12592	17314

4.1.8 Radiação solar

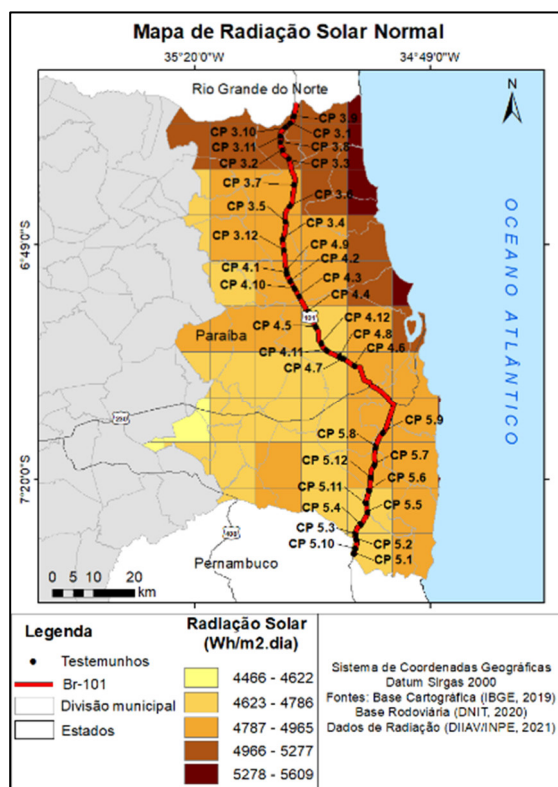
Os valores médios identificados das componentes da radiação solar, conforme descrito no Capítulo 3.10, são apresentadas na Tabela 52 e nas Figura 79, Figura 80 e Figura 81.

Tabela 52 – Componentes da radiação solar média diária nos pontos de interesse.

Testemunhos	Radiação Solar (Wh/m ² x dia)		
	Global Horizontal	Difusa	Normal
CP 3.1	5555	2177	5091
CP 3.2	5505	2191	5002
CP 3.3	5505	2191	5002
CP 3.4	5432	2208	4862
CP 3.5	5432	2208	4862
CP 3.6	5480	2197	4965
CP 3.7	5480	2197	4965
CP 3.8	5505	2191	5002
CP 3.9	5555	2177	5091
CP 3.10	5505	2191	5002
CP 3.11	5505	2191	5002

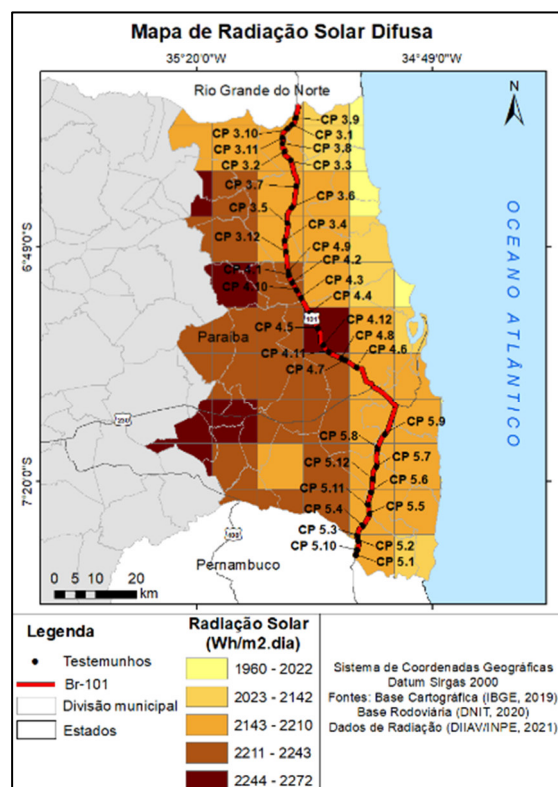
CP 3.12	5432	2208	4862
CP 4.1	5416	2226	4836
CP 4.2	5416	2226	4836
CP 4.3	5416	2226	4836
CP 4.4	5391	2249	4751
CP 4.5	5391	2249	4751
CP 4.6	5473	2184	4890
CP 4.7	5395	2225	4781
CP 4.8	5395	2225	4781
CP 4.9	5416	2226	4836
CP 4.10	5416	2226	4836
CP 4.11	5391	2249	4751
CP 4.12	5391	2249	4751
CP 5.1	5410	2190	4786
CP 5.2	5410	2190	4786
CP 5.3	5410	2190	4786
CP 5.4	5416	2206	4776
CP 5.5	5416	2206	4776
CP 5.6	5416	2206	4776
CP 5.7	5449	2201	4844
CP 5.8	5449	2201	4844
CP 5.9	5462	2195	4881
CP 5.10	5410	2190	4786
CP 5.11	5416	2206	4776
CP 5.12	5449	2201	4844

Figura 79 – Mapa de radiação solar normal.



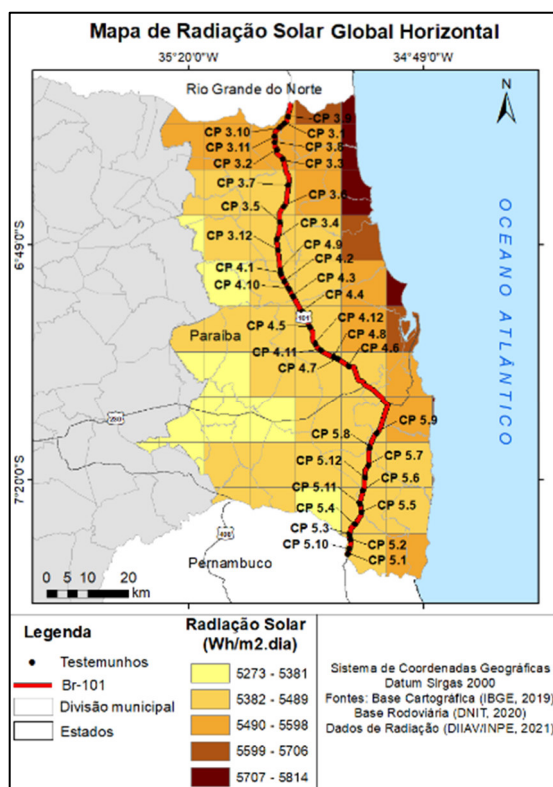
Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 80 - Mapa de radiação solar difusa.



Fonte: Produção do próprio autor.

Figura 81 - Mapa de radiação solar global horizontal.



Fonte: Produção do próprio autor.

Para fins de modelagem, calculou-se a radiação acumulada no período, multiplicando-se os valores indicados na Tabela 52 pelo número de dias decorridos no período (anos decorridos x 365 dias/ano). Dessa forma, os valores considerados na modelagem são os indicados na Tabela 53.

Tabela 53 – Componentes da radiação solar acumulada ao longo dos anos.

Ano	Testemunho	Radiação Solar acumulada (Wh/m ²)		
		Global Horizontal	Difusa	Normal
2008	CP 3.1	0	0	0
2008	CP 3.2	0	0	0
2008	CP 3.3	0	0	0
2008	CP 3.4	0	0	0
2009	CP 3.5	0	0	0
2009	CP 3.6	0	0	0
2008	CP 3.7	0	0	0
2009	CP 3.8	0	0	0
2008	CP 3.9	0	0	0
2008	CP 3.10	0	0	0
2009	CP 3.11	0	0	0
2008	CP 3.12	0	0	0
2008	CP 4.1	0	0	0
2008	CP 4.2	0	0	0
2008	CP 4.3	0	0	0
2008	CP 4.4	0	0	0
2008	CP 4.5	0	0	0
2008	CP 4.6	0	0	0
2008	CP 4.7	0	0	0
2008	CP 4.8	0	0	0
2008	CP 4.9	0	0	0
2008	CP 4.10	0	0	0
2008	CP 4.11	0	0	0
2008	CP 4.12	0	0	0
2012	CP 5.1	0	0	0
2008	CP 5.2	0	0	0
2008	CP 5.3	0	0	0
2008	CP 5.4	0	0	0
2009	CP 5.5	0	0	0
2010	CP 5.6	0	0	0
2008	CP 5.7	0	0	0
2009	CP 5.8	0	0	0
2009	CP 5.9	0	0	0
2008	CP 5.10	0	0	0
2008	CP 5.11	0	0	0

2008	CP 5.12	0	0	0
2016	CP 3.1	16220600	1,2889E+13	2,39505E+19
2016	CP 3.2	16074600	1,28551E+13	2,34699E+19
2016	CP 3.3	16074600	1,28551E+13	2,34699E+19
2016	CP 3.4	15861440	1,27831E+13	2,26852E+19
2016	CP 3.5	13878760	1,11852E+13	1,98495E+19
2016	CP 3.6	14001400	1,12278E+13	2,03473E+19
2016	CP 3.7	16001600	1,28318E+13	2,3254E+19
2016	CP 3.8	14065275	1,12482E+13	2,05362E+19
2016	CP 3.9	16220600	1,2889E+13	2,39505E+19
2016	CP 3.10	16074600	1,28551E+13	2,34699E+19
2016	CP 3.11	14065275	1,12482E+13	2,05362E+19
2016	CP 3.12	15861440	1,27831E+13	2,26852E+19
2016	CP 4.1	15814720	1,28493E+13	2,26808E+19
2016	CP 4.2	15814720	1,28493E+13	2,26808E+19
2016	CP 4.3	15814720	1,28493E+13	2,26808E+19
2016	CP 4.4	15741720	1,29221E+13	2,24085E+19
2016	CP 4.5	15741720	1,29221E+13	2,24085E+19
2016	CP 4.6	15981160	1,27395E+13	2,27382E+19
2016	CP 4.7	15753400	1,27937E+13	2,23259E+19
2016	CP 4.8	15753400	1,27937E+13	2,23259E+19
2016	CP 4.9	15814720	1,28493E+13	2,26808E+19
2016	CP 4.10	15814720	1,28493E+13	2,26808E+19
2016	CP 4.11	15741720	1,29221E+13	2,24085E+19
2016	CP 4.12	15741720	1,29221E+13	2,24085E+19
2016	CP 5.1	7898600	6,31375E+12	1,10294E+19
2016	CP 5.2	15797200	1,26275E+13	2,20588E+19
2016	CP 5.3	15797200	1,26275E+13	2,20588E+19
2016	CP 5.4	15814720	1,27339E+13	2,21982E+19
2016	CP 5.5	13837880	1,11421E+13	1,94234E+19
2016	CP 5.6	11861040	9,55039E+12	1,66486E+19
2016	CP 5.7	15911080	1,27824E+13	2,26001E+19
2016	CP 5.8	13922195	1,11846E+13	1,97751E+19
2016	CP 5.9	13955410	1,11807E+13	1,99192E+19
2016	CP 5.10	15797200	1,26275E+13	2,20588E+19
2016	CP 5.11	15814720	1,27339E+13	2,21982E+19
2016	CP 5.12	15911080	1,27824E+13	2,26001E+19
2019	CP 3.1	22303325	1,77223E+13	3,29319E+19
2019	CP 3.2	22102575	1,76758E+13	3,22712E+19
2019	CP 3.3	22102575	1,76758E+13	3,22712E+19
2019	CP 3.4	21809480	1,75767E+13	3,11921E+19
2019	CP 3.5	19826800	1,59788E+13	2,83565E+19
2019	CP 3.6	20002000	1,60397E+13	2,90676E+19
2019	CP 3.7	22002200	1,76437E+13	3,19743E+19

2019	CP 3.8	20093250	1,60689E+13	2,93374E+19
2019	CP 3.9	22303325	1,77223E+13	3,29319E+19
2019	CP 3.10	22102575	1,76758E+13	3,22712E+19
2019	CP 3.11	20093250	1,60689E+13	2,93374E+19
2019	CP 3.12	21809480	1,75767E+13	3,11921E+19
2019	CP 4.1	21745240	1,76678E+13	3,11861E+19
2019	CP 4.2	21745240	1,76678E+13	3,11861E+19
2019	CP 4.3	21745240	1,76678E+13	3,11861E+19
2019	CP 4.4	21644865	1,77679E+13	3,08117E+19
2019	CP 4.5	21644865	1,77679E+13	3,08117E+19
2019	CP 4.6	21974095	1,75169E+13	3,1265E+19
2019	CP 4.7	21660925	1,75914E+13	3,06981E+19
2019	CP 4.8	21660925	1,75914E+13	3,06981E+19
2019	CP 4.9	21745240	1,76678E+13	3,11861E+19
2019	CP 4.10	21745240	1,76678E+13	3,11861E+19
2019	CP 4.11	21644865	1,77679E+13	3,08117E+19
2019	CP 4.12	21644865	1,77679E+13	3,08117E+19
2019	CP 5.1	13822550	1,10491E+13	1,93015E+19
2019	CP 5.2	21721150	1,73628E+13	3,03309E+19
2019	CP 5.3	21721150	1,73628E+13	3,03309E+19
2019	CP 5.4	21745240	1,7509E+13	3,05225E+19
2019	CP 5.5	19768400	1,59173E+13	2,77477E+19
2019	CP 5.6	17791560	1,43256E+13	2,49729E+19
2019	CP 5.7	21877735	1,75758E+13	3,10751E+19
2019	CP 5.8	19888850	1,5978E+13	2,82501E+19
2019	CP 5.9	19936300	1,59725E+13	2,8456E+19
2019	CP 5.10	21721150	1,73628E+13	3,03309E+19
2019	CP 5.11	21745240	1,7509E+13	3,05225E+19
2019	CP 5.12	21877735	1,75758E+13	3,10751E+19

4.2 Modelos de desempenho

Após a produção de todas as informações mencionadas anteriormente, que se converteram em variáveis à modelagem, foram desenvolvidos, utilizando as técnicas de regressão linear múltipla, dois modelos de desempenho: o modelo com caracterização macroestrutural e o modelo com caracterização microestrutural. Cada um deles é descrito a seguir.

4.2.1 Modelo com caracterização macroestrutural:

Este modelo consiste na consideração de todas as variáveis levantadas na pesquisa, com exceção daquelas da caracterização microestrutural. Sua matriz inicial bruta, composta por 89 observações de 19 variáveis (sendo 18 independentes e o ICP como dependente), é indicada na Tabela 54.

Tabela 54 – Matriz inicial do modelo macroestrutural com dados brutos

Nº de observações	Variáveis																		
	dep	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	ICP	N_acum	k	Precip_acum	Rad_gh_acum	Rad_dif_acum	Rad_dn_acum	Altitude	Decliv	Decliv_mod	Comp	Larg	Espes	M_Elast	Poisson	Rcomp	Rtrac	Carbon	MassaEsp
1	100	0,E+00	175	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	135	2%	2%	6,0	3,6	0,21	34,4	0,27	45,0	4,7	0	2250
2	100	0,E+00	225	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	99	5%	5%	6,0	3,6	0,22	34,6	0,29	51,5	5,2	0	2273
3	100	0,E+00	222	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	130	-3%	3%	6,0	3,6	0,19	35,3	0,27	45,0	4,8	0	2269
4	100	0,E+00	223	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	129	0%	0%	6,0	3,6	0,21	38,4	0,26	48,5	5,0	0	2294
5	100	0,E+00	179	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	133	0%	0%	6,0	3,6	0,20	34,5	0,27	35,7	4,3	0	2230
6	100	0,E+00	232	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	183	-1%	1%	6,0	3,6	0,20	38,4	0,28	45,0	5,0	0	2305
7	100	0,E+00	222	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	156	-1%	1%	6,0	3,6	0,20	36,2	0,26	44,1	4,8	0	2266
8	100	0,E+00	189	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	106	7%	7%	6,0	3,6	0,21	33,6	0,29	41,5	4,6	0	2259
9	100	0,E+00	193	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	107	-2%	2%	6,0	3,6	0,21	38,6	0,27	42,2	4,7	0	2308
10	100	0,E+00	175	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	134	-1%	1%	6,0	3,6	0,23	36,1	0,26	49,2	4,8	0	2339
11	100	0,E+00	214	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	142	3%	3%	6,1	3,6	0,20	37,3	0,27	48,5	4,9	0	2286
12	100	0,E+00	218	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	81	2%	2%	6,0	3,6	0,21	36,8	0,26	48,3	5,8	0	2277
13	100	0,E+00	194	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	98	1%	1%	5,0	3,6	0,23	23,1	0,32	56,2	4,4	0	2241
14	100	0,E+00	194	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	99	0%	0%	5,0	3,6	0,23	25,2	0,32	56,2	4,0	0	2299
15	100	0,E+00	194	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	95	-1%	1%	5,0	3,6	0,24	24,7	0,27	52,5	4,0	0	2270
16	100	0,E+00	213	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	137	2%	2%	5,0	3,6	0,22	29,7	0,34	60,3	4,2	0	2355
17	100	0,E+00	198	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	142	-3%	3%	5,0	3,6	0,23	29,9	0,29	68,0	4,4	0	2345
18	100	0,E+00	182	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	65	2%	2%	5,0	3,6	0,23	20,1	0,33	64,5	3,2	0	2237
19	100	0,E+00	184	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	74	3%	3%	5,0	3,6	0,24	24,1	0,30	55,2	3,9	0	2263
20	100	0,E+00	191	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	104	0%	0%	5,0	3,7	0,22	28,2	0,29	53,8	4,2	0	2252
21	100	0,E+00	194	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	95	-1%	1%	5,1	3,6	0,23	28,6	0,27	50,5	4,3	0	2208
22	100	0,E+00	194	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	89	0%	0%	5,0	3,6	0,24	25,0	0,35	63,6	4,0	0	2318
23	100	0,E+00	191	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	108	2%	2%	5,1	3,6	0,23	22,9	0,36	58,0	3,8	0	2296
24	100	0,E+00	198	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	136	3%	3%	5,0	3,6	0,22	31,1	0,32	66,4	4,1	0	2343
25	100	0,E+00	179	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	133	-1%	1%	6,0	3,6	0,23	26,8	0,32	66,4	4,1	0	2348
26	100	0,E+00	208	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	40	1%	1%	6,1	3,6	0,22	33,5	0,30	71,0	3,4	0	2374
27	100	0,E+00	223	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	64	7%	7%	6,0	3,6	0,26	24,9	0,35	73,8	4,0	0	2374

28	100	0,E+00	160	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	42	-1%	1%	6,0	3,6	0,20	28,3	0,33	74,7	4,6	0	2385
29	100	0,E+00	210	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	142	-1%	1%	6,1	3,6	0,19	39,4	0,27	61,5	5,1	0	2416
30	100	0,E+00	183	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	112	1%	1%	6,0	3,6	0,23	40,4	0,28	58,9	5,5	0	2412
31	100	0,E+00	218	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	75	2%	2%	6,0	3,6	0,22	31,3	0,32	72,0	4,5	0	2380
32	100	0,E+00	227	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	66	1%	1%	6,0	3,6	0,22	28,9	0,31	55,2	4,3	0	2370
33	100	0,E+00	203	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	126	-1%	1%	6,3	3,6	0,26	26,6	0,37	70,6	4,1	0	2399
34	100	0,E+00	218	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	42	-5%	5%	6,0	3,6	0,24	25,6	0,36	57,8	4,0	0	2382
35	100	0,E+00	210	0	0,E+00	0,E+00	0,E+00	101	2%	2%	6,0	3,6	0,24	28,5	0,35	63,5	4,3	0	2405
36	65	1,E+07	175	11872	2,E+07	1,E+13	2,E+19	135	2%	2%	6,0	3,6	0,21	34,4	0,27	45,0	4,7	0	2250
37	69	1,E+07	225	11824	2,E+07	1,E+13	2,E+19	99	5%	5%	6,0	3,6	0,22	34,6	0,29	51,5	5,2	0	2273
38	71	1,E+07	222	11808	2,E+07	1,E+13	2,E+19	130	-3%	3%	6,0	3,6	0,19	35,3	0,27	45,0	4,8	192	2269
39	56	1,E+07	223	10336	2,E+07	1,E+13	2,E+19	129	0%	0%	6,0	3,6	0,21	38,4	0,26	48,5	5,0	10	2294
40	32	1,E+07	179	9548	1,E+07	1,E+13	2,E+19	133	0%	0%	6,0	3,6	0,20	34,5	0,27	35,7	4,3	18	2230
41	53	1,E+07	189	10360	1,E+07	1,E+13	2,E+19	106	7%	7%	6,0	3,6	0,21	33,6	0,29	41,5	4,6	39	2259
42	70	1,E+07	193	11888	2,E+07	1,E+13	2,E+19	107	-2%	2%	6,0	3,6	0,21	38,6	0,27	42,2	4,7	7	2308
43	80	1,E+07	214	10360	1,E+07	1,E+13	2,E+19	142	3%	3%	6,1	3,6	0,20	37,3	0,27	48,5	4,9	5	2286
44	66	1,E+07	218	9936	2,E+07	1,E+13	2,E+19	81	2%	2%	6,0	3,6	0,21	36,8	0,26	48,3	5,8	18	2277
45	63	2,E+07	194	10368	2,E+07	1,E+13	2,E+19	98	1%	1%	5,0	3,6	0,23	23,1	0,32	56,2	4,4	5	2241
46	67	2,E+07	194	11088	2,E+07	1,E+13	2,E+19	95	-1%	1%	5,0	3,6	0,24	24,7	0,27	52,5	4,0	4	2270
47	75	2,E+07	213	11408	2,E+07	1,E+13	2,E+19	137	2%	2%	5,0	3,6	0,22	29,7	0,34	60,3	4,2	5	2355
48	71	2,E+07	198	11584	2,E+07	1,E+13	2,E+19	142	-3%	3%	5,0	3,6	0,23	29,9	0,29	68,0	4,4	0	2345
49	55	2,E+07	182	12000	2,E+07	1,E+13	2,E+19	65	2%	2%	5,0	3,6	0,23	20,1	0,33	64,5	3,2	10	2237
50	93	2,E+07	184	11840	2,E+07	1,E+13	2,E+19	74	3%	3%	5,0	3,6	0,24	24,1	0,30	55,2	3,9	0	2263
51	98	2,E+07	191	11776	2,E+07	1,E+13	2,E+19	104	0%	0%	5,0	3,7	0,22	28,2	0,29	53,8	4,2	0	2252
52	75	2,E+07	194	10320	2,E+07	1,E+13	2,E+19	95	-1%	1%	5,1	3,6	0,23	28,6	0,27	50,5	4,3	10	2208
53	72	2,E+07	198	11536	2,E+07	1,E+13	2,E+19	136	3%	3%	5,0	3,6	0,22	31,1	0,32	66,4	4,1	0	2343
54	91	1,E+07	179	6576	8,E+06	6,E+12	1,E+19	133	-1%	1%	6,0	3,6	0,23	26,8	0,32	66,4	4,1	17	2348
55	23	2,E+07	208	13376	2,E+07	1,E+13	2,E+19	40	1%	1%	6,1	3,6	0,22	33,5	0,30	71,0	3,4	4	2374
56	66	1,E+07	160	12166	1,E+07	1,E+13	2,E+19	42	-1%	1%	6,0	3,6	0,20	28,3	0,33	74,7	4,6	3	2385
57	74	1,E+07	210	9792	1,E+07	1,E+13	2,E+19	142	-1%	1%	6,1	3,6	0,19	39,4	0,27	61,5	5,1	0	2416
58	69	2,E+07	183	12240	2,E+07	1,E+13	2,E+19	112	1%	1%	6,0	3,6	0,23	40,4	0,28	58,9	5,5	4	2412
59	51	1,E+07	218	10248	1,E+07	1,E+13	2,E+19	75	2%	2%	6,0	3,6	0,22	31,3	0,32	72,0	4,5	7	2380
60	59	2,E+07	227	10682	1,E+07	1,E+13	2,E+19	66	1%	1%	6,0	3,6	0,22	28,9	0,31	55,2	4,3	0	2370
61	70	2,E+07	218	13520	2,E+07	1,E+13	2,E+19	42	-5%	5%	6,0	3,6	0,24	25,6	0,36	57,8	4,0	0	2382
62	66	2,E+07	210	12592	2,E+07	1,E+13	2,E+19	101	2%	2%	6,0	3,6	0,24	28,5	0,35	63,5	4,3	7	2405
63	60	2,E+07	175	16324	2,E+07	2,E+13	3,E+19	135	2%	2%	6,0	3,6	0,21	34,4	0,27	45,0	4,7	0	2250
64	50	2,E+07	225	16258	2,E+07	2,E+13	3,E+19	99	5%	5%	6,0	3,6	0,22	34,6	0,29	51,5	5,2	0	2273
65	63	2,E+07	222	16236	2,E+07	2,E+13	3,E+19	130	-3%	3%	6,0	3,6	0,19	35,3	0,27	45,0	4,8	192	2269
66	50	2,E+07	223	14212	2,E+07	2,E+13	3,E+19	129	0%	0%	6,0	3,6	0,21	38,4	0,26	48,5	5,0	10	2294
67	24	2,E+07	179	13640	2,E+07	2,E+13	3,E+19	133	0%	0%	6,0	3,6	0,20	34,5	0,27	35,7	4,3	18	2230
68	36	2,E+07	189	14800	2,E+07	2,E+13	3,E+19	106	7%	7%	6,0	3,6	0,21	33,6	0,29	41,5	4,6	39	2259
69	58	2,E+07	193	16346	2,E+07	2,E+13	3,E+19	107	-2%	2%	6,0	3,6	0,21	38,6	0,27	42,2	4,7	7	2308
70	51	2,E+07	214	14800	2,E+07	2,E+13	3,E+19	142	3%	3%	6,1	3,6	0,20	37,3	0,27	48,5	4,9	5	2286
71	35	2,E+07	218	13662	2,E+07	2,E+13	3,E+19	81	2%	2%	6,0	3,6	0,21	36,8	0,26	48,3	5,8	18	2277

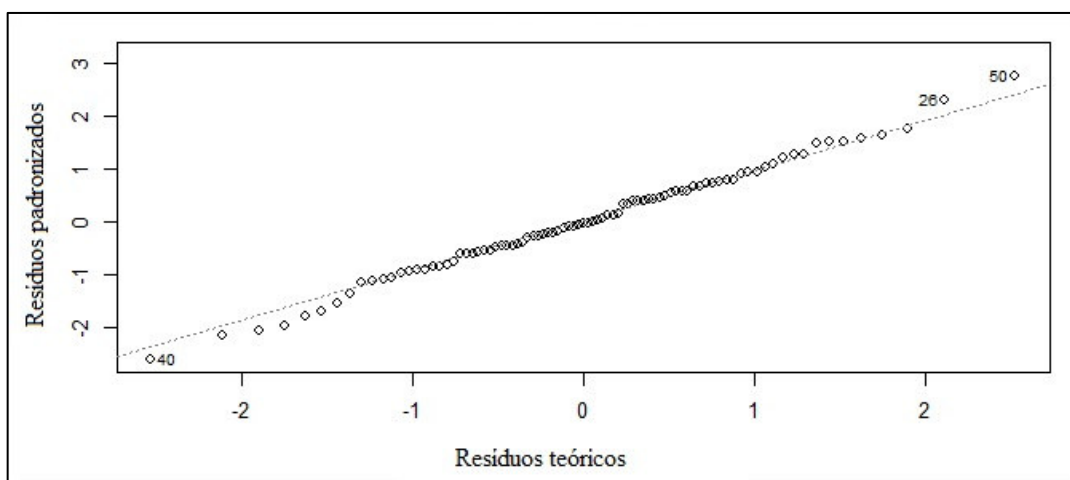
72	18	2,E+07	194	14256	2,E+07	2,E+13	3,E+19	98	1%	1%	5,0	3,6	0,23	23,1	0,32	56,2	4,4	5	2241
73	57	2,E+07	194	15246	2,E+07	2,E+13	3,E+19	95	-1%	1%	5,0	3,6	0,24	24,7	0,27	52,5	4,0	4	2270
74	67	2,E+07	213	15686	2,E+07	2,E+13	3,E+19	137	2%	2%	5,0	3,6	0,22	29,7	0,34	60,3	4,2	5	2355
75	69	2,E+07	198	15928	2,E+07	2,E+13	3,E+19	142	-3%	3%	5,0	3,6	0,23	29,9	0,29	68,0	4,4	0	2345
76	24	2,E+07	182	16500	2,E+07	2,E+13	3,E+19	65	2%	2%	5,0	3,6	0,23	20,1	0,33	64,5	3,2	10	2237
77	63	2,E+07	184	16280	2,E+07	2,E+13	3,E+19	74	3%	3%	5,0	3,6	0,24	24,1	0,30	55,2	3,9	0	2263
78	71	2,E+07	191	16192	2,E+07	2,E+13	3,E+19	104	0%	0%	5,0	3,7	0,22	28,2	0,29	53,8	4,2	0	2252
79	57	2,E+07	194	14190	2,E+07	2,E+13	3,E+19	95	-1%	1%	5,1	3,6	0,23	28,6	0,27	50,5	4,3	10	2208
80	70	2,E+07	198	15862	2,E+07	2,E+13	3,E+19	136	3%	3%	5,0	3,6	0,22	31,1	0,32	66,4	4,1	0	2343
81	73	2,E+07	179	11508	1,E+07	1,E+13	2,E+19	133	-1%	1%	6,0	3,6	0,23	26,8	0,32	66,4	4,1	17	2348
82	14	2,E+07	208	18392	2,E+07	2,E+13	3,E+19	40	1%	1%	6,1	3,6	0,22	33,5	0,30	71,0	3,4	4	2374
83	39	2,E+07	160	17380	2,E+07	2,E+13	3,E+19	42	-1%	1%	6,0	3,6	0,20	28,3	0,33	74,7	4,6	3	2385
84	53	2,E+07	210	14688	2,E+07	1,E+13	2,E+19	142	-1%	1%	6,1	3,6	0,19	39,4	0,27	61,5	5,1	0	2416
85	48	2,E+07	183	16830	2,E+07	2,E+13	3,E+19	112	1%	1%	6,0	3,6	0,23	40,4	0,28	58,9	5,5	4	2412
86	35	2,E+07	218	14640	2,E+07	2,E+13	3,E+19	75	2%	2%	6,0	3,6	0,22	31,3	0,32	72,0	4,5	7	2380
87	46	3,E+07	227	15260	2,E+07	2,E+13	3,E+19	66	1%	1%	6,0	3,6	0,22	28,9	0,31	55,2	4,3	0	2370
88	57	2,E+07	218	18590	2,E+07	2,E+13	3,E+19	42	-5%	5%	6,0	3,6	0,24	25,6	0,36	57,8	4,0	0	2382
89	55	2,E+07	210	17314	2,E+07	2,E+13	3,E+19	101	2%	2%	6,0	3,6	0,24	28,5	0,35	63,5	4,3	7	2405

Os dados da Tabela 54 foram inicialmente normalizados, buscando-se a obtenção de uma mesma escala para todas as variáveis indicadas e, dessa forma, melhores resultados. Foram realizadas as transformações de dados indicadas na Tabela 17. Contudo, ao final do processo, verificou-se a obtenção dos mesmos resultados (R^2 , R^2 ajustado, F de significação, premissas da regressão linear múltipla) para o modelo utilizando dados normalizados e não normalizados. Dessa forma, a normalização dos dados foi desconsiderada.

Para a aplicação da regressão linear múltipla na matriz inicial foram verificadas se os dados atendiam as premissas da regressão, que são: ausência de outliers; os resíduos devem apresentar distribuição normal; devem apresentar homoscedasticidade; deve haver independência dos resíduos; e ausência de multicolinearidade.

Para o atendimento das premissas foram excluídas as observações 50 e 72. Após tal exclusão, não foram verificados outliers nos dados (dados discrepantes), como pode-se observar na Figura 82.

Figura 82 – Ausência de outliers e existência de distribuição normal dos resíduos.



Fonte: Produção do próprio autor.

A verificação da distribuição normal dos resíduos foi realizada através do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, cujo valor de p foi de 0,998, superior aos 5% que indicam uma distribuição normal. Também é possível observar a normalidade dos resíduos na Figura 82.

A Homocedasticidade foi observada com a utilização do teste de Breusch-Pagan., cujo valor de p foi de 0,082, superior aos 5% que indicam haver Homocedasticidade.

Já a independência dos resíduos foi observada com a aplicação do teste de Durbin Watson, cujo valor de p foi de 0,24 (superior a 5%) e o valor D-W estatístico foi de 1,81 (valor no intervalo entre 1,5 e 2,5).

As variáveis N_acum , $Precip_acum$, Rad_gh_acum , Rad_dif_acum , Rad_dn_acum apresentaram multicolinearidade (correlação muito alta entre variáveis independentes), verificado por meio do teste VIF, cujo valor deve ser inferior a 10. Como a variável N apresentou o menor valor, esta foi mantida e as demais variáveis foram descartadas, eliminando a multicolinearidade, como se observa na Tabela 55.

Tabela 55 – Eliminação da multicolinearidade das variáveis.

<u>Antes da exclusão:</u>								
N_acum	Precip_acum	Rad_gh_acum	Rad_dif_acum	Rad_dn_acum	Comp	Larg	Espes	Rtrac
22.337834	123.566459	23167.574319	10763.000187	4531.854079	2.337749	1.104669	1.610358	1.966270
<u>Após a exclusão (variáveis finais):</u>								
N_acum	Comp	Espes	Rtrac					
1.007870	1.408042	1.441444	1.536160					

Após a verificação de que todas as premissas da regressão linear múltipla haviam sido atendidas foi realizada a modelagem dos dados, descartando as variáveis identificadas com não significantes (valor p >5% no teste t). Ao final, mantendo apenas as variáveis significantes (N_acum, comp, espes e RTrac), o modelo linear resultante foi o indicado na Tabela 56.

Tabela 56 – Modelo de desempenho com caracterização macroestrutural.

Termo	Tipo	Coefficiente	Desvio padrão	t	Valor p
Intercepto	Constante	78,38	35,38	2,215	0,029534
N_acum	Variável	-2,212 x 10 ⁻⁶	1,390 x 10 ⁻⁷	-15,913	< 2 x 10 ⁻¹⁶
Comp	Variável	-11,76	3,216	-3,658	0,000448
Espes	Variável	245,50	101,00	2,432	0,017208
Rtrac	Variável	7,40	2,87	2,582	0,011606
R²:	0,77		R² ajustado:	0,76	
F-Estatístico:	68,69		Valor p do F:	< 2,2 x 10 ⁻¹⁶	

Uma vez que a variável N_acum, que é o número de repetições do eixo padrão acumulado no período, é equivalente ao número de repetições do eixo padrão anual médio (número N anual médio) vezes o tempo decorrido, em anos, então o modelo de desempenho com caracterização macroestrutural, detalhado na Tabela 56, pode ser escrito conforme Equação (28).

$$ICP = 78,38 - \frac{2,21}{10^6} \cdot (N_{AM} \cdot T) - 11,76 \cdot Comp + 245,50 \cdot Espes + 7,40 \cdot Rtrac \quad (28)$$

Onde:

ICP é o Índice de Condição do Pavimento final que se pretende determinar;

N_{AM} é o número de repetições do eixo padrão anual médio (número N anual médio);

T é o tempo decorrido, em anos, da construção do pavimento até a data que se pretende determinar o ICP;

Comp é o comprimento da placa de concreto, em metros;

Espes é a espessura da placa de concreto, em metros;

RTrac é a resistência a tração do concreto da placa, em MPa.

4.2.1.1 *Análise do modelo:*

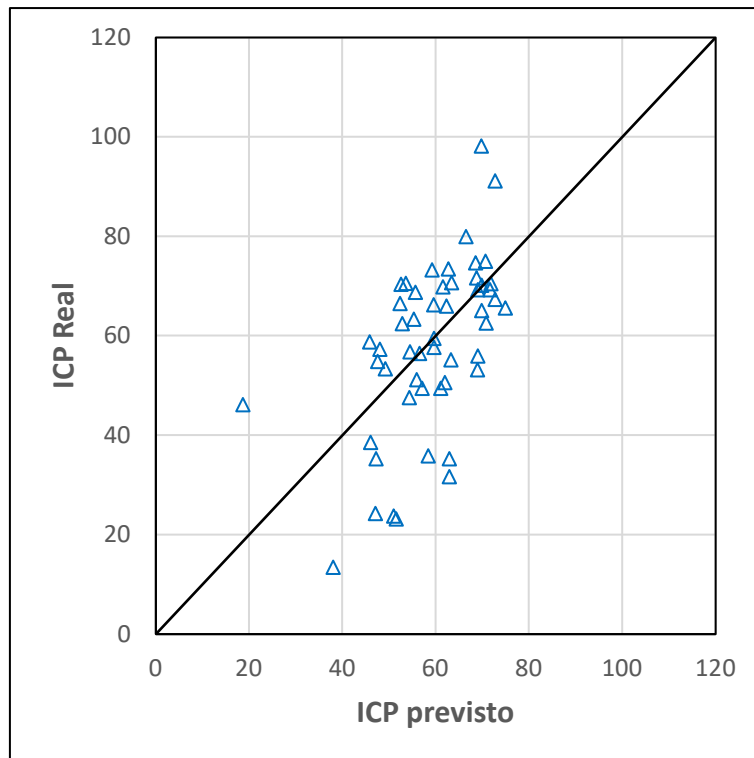
A modelagem apontou um valor de P do F-estatístico foi inferior a 5%. Dessa forma, podemos afirmar que há evidências estatísticas de que o modelo é significativo e pode ser utilizado para a previsão de desempenho do pavimento por meio da variável ICP.

O coeficiente de determinação encontrado foi de 0,77, o que implica dizer que 77% da variação das amostras de ICP são explicados pela equação obtida.

A regressão linear múltipla mostrou que o número N acumulado oriundo do tráfego, o comprimento e a espessura da placa e a resistência à tração do concreto da placa têm efeito na condição do pavimento, através do ICP. A cada 10^6 unidades do número N que passam no local, o ICP do pavimento se reduz em 2,212 ($t=-15,913$; $p<2 \times 10^{-16}$). Já para cada metro linear a mais de comprimento da placa de concreto, o ICP se reduz em 11,76 ($t=-3,658$; $p=0,000448$). Já para cada centímetro linear a mais de espessura da placa de concreto, o ICP aumenta em 2,46 ($t=2,432$; $p=0,017208$). E para cada 1MPa a mais de resistência à tração do concreto da placa, o ICP se eleva em 7,40 ($t=2,582$; $p=0,011606$).

A Figura 83 apresenta um gráfico relacionando o ICP real, medido em campo de acordo com as normas vigentes do DNIT (indicadas no item 2.3.4), com o ICP previsto pelo modelo obtido.

Figura 83 – Gráfico ICP real vs. ICP previsto pelo modelo com caracterização macroestrutural.



Fonte: Produção do próprio autor.

Percebe-se na Figura 83 que o modelo apresenta um comportamento satisfatório (ICP previsto aproximado do ICP real) quando o ICP é superior a 50, ou seja, quando o pavimento apresenta um conceito de conservação de razoável à excelente. Abaixo desse valor, de razoável à destruído, alguns pontos indicados pelo modelo apresentam um ICP maior do que o valor real. Isso talvez se deva ao fato de que a amostra levantada na pesquisa apresentou poucas observações com ICP inferior a 50. Contudo, a modelagem realizada permite sua atualização através da realização futura de novos levantamentos de dados visando o aumento de sua precisão.

4.2.2 Modelo com caracterização microestrutural

Este modelo consiste da adição das variáveis microestruturais levantadas na pesquisa àquelas variáveis finais significantes ao modelo de desempenho com caracterização macroestrutural, indicadas na Tabela 56. Dessa forma, sua matriz inicial, composta por 57

observações de oito variáveis (sendo 8 independentes e o ICP como dependente), é indicada na Tabela 57.

Tabela 57 – Matriz inicial do modelo microestrutural com dados brutos

Nº de observações	Variáveis								
	dep	1	2	3	4	5	6	7	8
	ICP	N_acum	Comp	Espes	Rtrac	Carbonatos	Etringita	Portlandita_DRX	Portlandita_TG
1	100	0	6,00	0,21	4,70	0,38	0,03	0,00	0,07
2	100	0	6,02	0,22	5,20	0,18	0,01	0,02	0,15
3	100	0	5,98	0,19	4,77	0,13	0,03	0,01	0,14
4	100	0	5,98	0,21	5,00	0,18	0,05	0,00	0,18
5	100	0	5,99	0,20	4,30	0,08	0,09	0,01	0,18
6	100	0	6,02	0,21	4,64	0,29	0,02	0,01	0,16
7	100	0	6,00	0,21	4,70	0,23	0,07	0,01	0,20
8	100	0	5,04	0,23	4,40	0,45	0,06	0,05	0,11
9	100	0	4,98	0,24	3,97	0,08	0,10	0,17	0,17
10	100	0	4,99	0,23	4,36	0,40	0,03	0,16	0,17
11	100	0	4,99	0,23	3,20	0,24	0,07	0,08	0,19
12	100	0	5,01	0,24	3,93	0,24	0,05	0,14	0,15
13	100	0	4,98	0,22	4,24	0,31	0,07	0,14	0,16
14	100	0	5,98	0,23	4,10	0,40	0,05	0,12	0,17
15	100	0	6,04	0,20	4,60	0,16	0,06	0,19	0,14
16	100	0	6,10	0,19	5,08	0,27	0,05	0,24	0,16
17	100	0	6,01	0,23	5,50	0,36	0,04	0,20	0,11
18	100	0	6,00	0,22	4,47	0,28	0,11	0,21	0,13
19	100	0	6,01	0,22	4,29	0,18	0,11	0,17	0,15
20	65	10644446	6,00	0,21	4,70	0,38	0,03	0,00	0,07
21	69	12300910	6,02	0,22	5,20	0,18	0,01	0,02	0,15
22	71	12300910	5,98	0,19	4,77	0,13	0,03	0,01	0,14
23	56	12425122	5,98	0,21	5,00	0,18	0,05	0,00	0,18
24	32	11280932	5,99	0,20	4,30	0,08	0,09	0,01	0,18
25	53	11287562	6,02	0,21	4,64	0,29	0,02	0,01	0,16
26	70	10644446	6,00	0,21	4,70	0,23	0,07	0,01	0,20
27	63	16294505	5,04	0,23	4,40	0,45	0,06	0,05	0,11
28	67	16294505	4,98	0,24	3,97	0,08	0,10	0,17	0,17
29	71	16294505	4,99	0,23	4,36	0,40	0,03	0,16	0,17
30	55	16294505	4,99	0,23	3,20	0,24	0,07	0,08	0,19
31	93	16294505	5,01	0,24	3,93	0,24	0,05	0,14	0,15

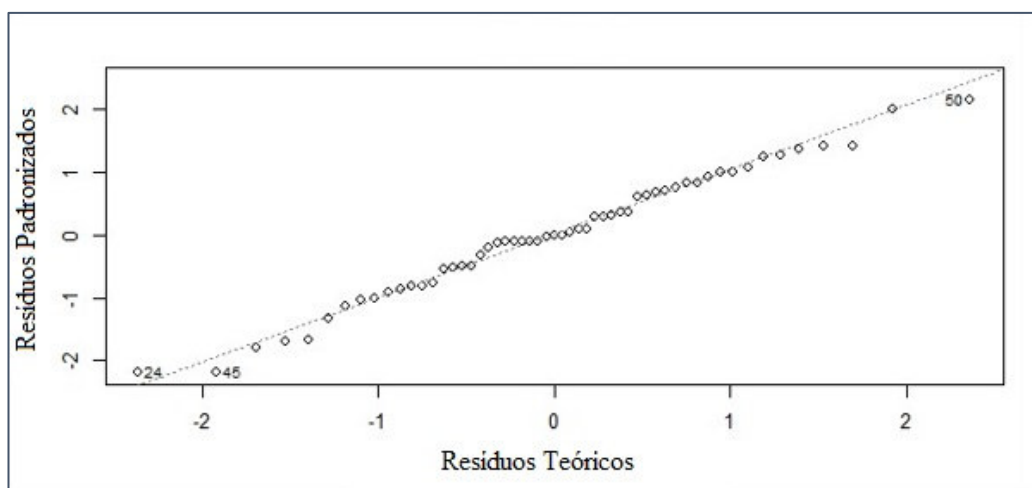
32	98	16294505	4,98	0,22	4,24	0,31	0,07	0,14	0,16
33	91	10138105	5,98	0,23	4,10	0,40	0,05	0,12	0,17
34	66	14417753	6,04	0,20	4,60	0,16	0,06	0,19	0,14
35	74	13054073	6,10	0,19	5,08	0,27	0,05	0,24	0,16
36	69	15814538	6,01	0,23	5,50	0,36	0,04	0,20	0,11
37	51	14502153	6,00	0,22	4,47	0,28	0,11	0,21	0,13
38	59	21057883	6,01	0,22	4,29	0,18	0,11	0,17	0,15
39	60	15270805	6,00	0,21	4,70	0,38	0,03	0,00	0,07
40	50	17083656	6,02	0,22	5,20	0,18	0,01	0,02	0,15
41	63	17083656	5,98	0,19	4,77	0,13	0,03	0,01	0,14
42	50	17825410	5,98	0,21	5,00	0,18	0,05	0,00	0,18
43	24	16681220	5,99	0,20	4,30	0,08	0,09	0,01	0,18
44	36	16070308	6,02	0,21	4,64	0,29	0,02	0,01	0,16
45	58	15270805	6,00	0,21	4,70	0,23	0,07	0,01	0,20
46	18	23619460	5,04	0,23	4,40	0,45	0,06	0,05	0,11
47	57	23619460	4,98	0,24	3,97	0,08	0,10	0,17	0,17
48	69	23619460	4,99	0,23	4,36	0,40	0,03	0,16	0,17
49	24	23619460	4,99	0,23	3,20	0,24	0,07	0,08	0,19
50	63	23619460	5,01	0,24	3,93	0,24	0,05	0,14	0,15
51	71	23619460	4,98	0,22	4,24	0,31	0,07	0,14	0,16
52	73	16243562	5,98	0,23	4,10	0,40	0,05	0,12	0,17
53	39	20523211	6,04	0,20	4,60	0,16	0,06	0,19	0,14
54	53	19159530	6,10	0,19	5,08	0,27	0,05	0,24	0,16
55	48	22472433	6,01	0,23	5,50	0,36	0,04	0,20	0,11
56	35	21160048	6,00	0,22	4,47	0,28	0,11	0,21	0,13
57	46	33353488	6,01	0,22	4,29	0,18	0,11	0,17	0,15

Os dados da Tabela 57 foram inicialmente normalizados, buscando-se a obtenção de uma mesma escala para todas as variáveis indicadas e, dessa forma, melhores resultados. Foram realizadas as transformações de dados indicadas na Tabela 17. Contudo, ao final do processo, verificou-se a obtenção dos mesmos resultados (R^2 , R^2 ajustado, F de significação, premissas da regressão linear múltipla) para o modelo utilizando dados normalizados e não normalizados. Dessa forma, a normalização dos dados foi desconsiderada.

Para a aplicação da regressão linear múltipla na matriz inicial foram verificadas se os dados atendiam as premissas da regressão, que são: ausência de outliers; os resíduos devem apresentar distribuição normal; devem apresentar homoscedasticidade; deve haver independência dos resíduos; e ausência de multicolinearidade.

Para o atendimento das premissas foram excluídas as observações 32 e 57. Após tal exclusão, não foram verificados outliers nos dados (dados discrepantes), como pode-se observar na Figura 84.

Figura 84 – Ausência de outliers e existência de distribuição normal dos resíduos.



Fonte: Produção do próprio autor.

A verificação da distribuição normal dos resíduos foi realizada através do teste de normalidade de Shapiro-Wilk, cujo valor de p foi de 0,82, superior aos 5% que indicam uma distribuição normal. Também é possível observar a normalidade dos resíduos na Figura 84.

A Homocedasticidade foi observada com a utilização do teste de Breusch-Pagan., cujo valor de p foi de 0,084, superior aos 5% que indicam haver Homocedasticidade.

Já a independência dos resíduos foi observada com a aplicação do teste de Durbin Watson, cujo valor de p foi de 0,198 (superior a 5%) e o valor D-W estatístico foi de 1,75 (valor no intervalo entre 1,5 e 2,5).

A multicolinearidade (correlação muito alta entre variáveis independentes) foi verificada por meio do teste VIF, cujos valores devem ser inferiores a 10. Conforme se observa na Figura 85 essa premissa também foi atendida.

Figura 85 - Ausência de multicolinearidade entre as variáveis.

N_acum	Comp	Espe	Rtrac	Carbonatos	Etringita	Portlandita_DRX
1.036146	2.902391	2.329148	2.809221	1.607682	1.953918	1.485117
Portlandita_TG						
1.433506						

Após a verificação de que todas as premissas da regressão linear múltipla haviam sido atendidas foi realizada a modelagem dos dados, descartando as variáveis identificadas com não significantes (valor $p > 5\%$ no teste t). Ao final, mantendo apenas as variáveis significantes (N_acum, Comp, Etringita e Portlandita_DRX), o modelo linear resultante foi o indicado na Tabela 58.

Tabela 58 – Modelo de desempenho com caracterização macro e microestrutural.

Termo	Tipo	Coefficiente	Desvio padrão	t	Valor p
Intercepto	Constante	152,90	21,27	7,190	$3,03 \times 10^{-9}$
N_acum	Variável	$-2,491 \times 10^{-6}$	$1,847 \times 10^{-7}$	-13,482	$< 2 \times 10^{-16}$
Comp	Variável	-9,18	3,497	-2,625	0,01146
Etringita	Variável	-142,40	62,01	-2,296	0,02589
Portlandita_DRX	Variável	72,89	21,15	3,446	0,00116
R²:	0,79		R² ajustado:	0,77	
F-Estatístico:	47,36		Valor p do F:	$< 2,2 \times 10^{-16}$	

Uma vez que a variável N_acum, que é o número de repetições do eixo padrão acumulado no período, é equivalente ao número de repetições do eixo padrão anual médio (número N anual médio) vezes o tempo decorrido, em anos, então o modelo de desempenho com caracterização microestrutural, detalhado na Tabela 58, pode ser escrito conforme Equação (29).

$$ICP = 152,90 - \frac{2,49}{10^6} \cdot (N_{AM} \cdot T) - 9,18 \cdot Comp - 142,40 \cdot Etring + 72,89 \cdot Port \quad (29)$$

Onde:

ICP é o Índice de Condição do Pavimento final que se pretende determinar;

N_{AM} é o número de repetições do eixo padrão anual médio (número N anual médio);

T é o tempo decorrido, em anos, da construção do pavimento até a data que se pretende determinar o ICP;

Comp é o comprimento da placa de concreto, em metros;

Etring é o percentual da fase Etringita presente na parcela cristalina do concreto da placa;

Port é o percentual da fase Portlandita presente na parcela cristalina do concreto da placa;

4.2.2.1 *Análise do modelo:*

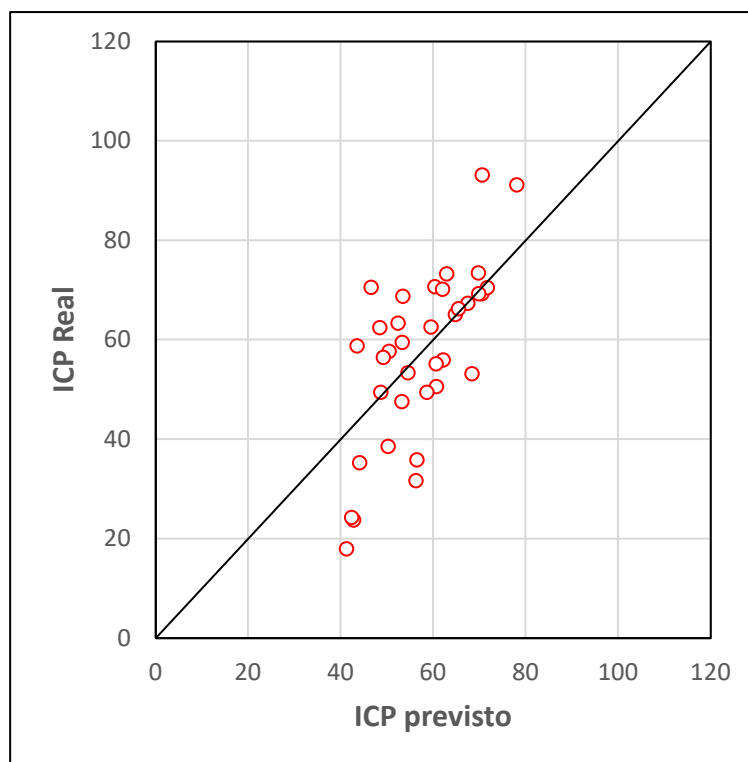
A modelagem apontou um valor de P do F-estatístico foi inferior a 5%. Dessa forma, podemos afirmar que há evidências estatísticas de que o modelo é significativo e pode ser utilizado para a previsão de desempenho do pavimento por meio da variável ICP.

O coeficiente de determinação encontrado foi de 0,79, o que implica dizer que 79% da variação das amostras de ICP são explicados pela equação obtida.

A regressão linear múltipla mostrou que o número N acumulado oriundo do tráfego, o comprimento da placa e o percentual das fases Etringita e Portlandita presentes na parcela cristalina do concreto da placa têm efeito na condição do pavimento, através do ICP. A cada 10^6 unidades do número N que passam no local, o ICP do pavimento se reduz em 2,49 ($t=-13,482$; $p < 2 \times 10^{-16}$). Já para cada metro linear a mais de comprimento da placa de concreto, o ICP se reduz em 9,18 ($t=-2,625$; $p=0,01146$). Para cada 1% de Etringita presente no concreto da placa, o ICP se reduz em 1,42 ($t=-2,296$; $p=0,02589$). E para cada 1% de Portlandita presente no concreto da placa, o ICP se eleva em 0,73 ($t=3,446$; $p=0,00111$).

A Figura 86 apresenta um gráfico relacionando o ICP real, medido em campo de acordo com as normas vigentes do DNIT (indicadas no item 2.3.4), com o ICP previsto pelo modelo obtido.

Figura 86 – Gráfico ICP real vs. ICP previsto pelo modelo com caracterização microestrutural.



Fonte: Produção do próprio autor.

Assim como no modelo de caracterização macroestrutural, percebe-se na Figura 86 que o modelo apresenta um comportamento satisfatório (ICP previsto e ICP real aproximados) quando o ICP é superior a 50, ou seja, quando o pavimento apresenta um conceito de conservação de razoável à excelente. Abaixo desse valor, de razoável à destruído, alguns pontos indicados pelo modelo apresentam um ICP maior do que o valor real. Isso talvez se deva ao fato de que a amostra levantada na pesquisa apresentou poucas observações com ICP inferior a 50. Contudo, a modelagem realizada permite sua atualização através da realização futura de novos levantamentos de dados visando o aumento de sua precisão.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho consistiu da elaboração de modelos de desempenho do pavimento rígido da rodovia BR-101/PB, utilizando como parâmetro o ICP – Índice de Condição do Pavimento. Para isso foram levantadas informações do tráfego da rodovia (número N), da fundação do pavimento (coeficiente de recalque), da topografia (altitudes e declividades), das dimensões da placa de concreto, do meio ambiente (pluviosidade e radiação solar) e dados de caracterização do material da placa de concreto, a nível macro e microestrutural.

Foram obtidos dois modelos de desempenho utilizando as técnicas de regressão linear múltipla. O modelo com caracterização macroestrutural consistiu da utilização de variáveis comumente utilizadas na engenharia rodoviária com a caracterização do material da placa de concreto apenas a nível macroestrutural. As variáveis significantes deste modelo foram o número N de repetições do eixo padrão, comprimento e espessura da placa, e a resistência à tração do concreto da placa. Já o modelo com caracterização microestrutural consistiu da inclusão de variáveis microestruturais do concreto da placa do pavimento, identificadas por meio da realização de ensaios de caracterização microestrutural da engenharia dos materiais. Permaneceram como variáveis significantes ao modelo o número N de repetições do eixo padrão, o comprimento da placa e os percentuais de Portlandita e Etringita do concreto da placa.

As variáveis presentes nos dois modelos e sua relação com o ICP apresentaram coerência com a expectativa técnica. O número N, o comprimento e espessura da placa e a resistência à tração do concreto da placa são parâmetros importantes e presentes no dimensionamento de pavimentos rígidos. O número N representa o principal agente de solicitação do pavimento, que é a ação do tráfego. O comprimento da placa define o espaçamento entre as juntas transversais de retração, que visam evitar o surgimento de trincas por retração no concreto. Já a espessura e a resistência à tração da placa definem a rigidez desse elemento estrutural. No que se refere à microestrutura, as variáveis Portlandita e Etringita são minerais produtos de hidratação do cimento Portland, que é o principal componente do concreto de cimento Portland. Sobre a Portlandita, a sua contribuição à resistência mecânica do concreto é mínima quando comparada com a dos Silicatos de cálcio hidratados, por exemplo. No entanto, a presença desse mineral pode indicar traços de concreto ricos em clínquer hidratado, o que de fato contribui com a resistência e durabilidade do concreto. Assim, sua presença no modelo, com coeficiente de sinal positivo, indica coerência com a literatura. A observação da presença

da Etringita (que normalmente se forma nos primeiros estágios de hidratação e se transforma posteriormente em monossulfato hidratado) nos concretos analisados já de idade avançada (superiores a três anos) e a sua permanência na modelagem, indicando sua significância na deterioração do concreto podem sugerir a ocorrência do fenômeno conhecido como Etringita retardada, que consiste de uma reação expansiva deletéria que compromete o desempenho e durabilidade do concreto. Dessa forma, sua presença no modelo, com coeficiente de sinal negativo, está de acordo com a literatura. Contudo, a investigação aprofundada do fenômeno deletério Etringita carece de estudos mais aprofundados que fogem dos objetivos desta pesquisa.

A estatística mostrou que ambos os modelos são significativos (F-estatístico inferior a 5%) e podem ser empregados para a previsão de desempenho do pavimento. Os coeficientes de determinação (R^2), que indicam o percentual da variação das amostras de ICP que são explicados pelos modelos obtidos, e o R^2 ajustado que é um coeficiente mais indicado para se comparar modelos com números de variáveis distintas, foram bem próximos nos dois modelos, mas com o com caracterização microestrutural se mostrando sutilmente melhor que o modelo macroestrutural.

A definição de modelos distintos permite a opção de uso a partir do nível de caracterização do material que se pretenda adotar. O modelo com caracterização macroestrutural, por utilizar apenas variáveis comumente utilizadas na engenharia rodoviária, demonstrou ser o mais simples e prático para o uso. Já o modelo caracterização microestrutural, dentro do escopo deste trabalho, ao se apresentar com resultados sutilmente melhores que o modelo anterior, demonstram a potencialidade que a engenharia de materiais tem a oferecer à engenharia rodoviária.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando a continuidade dos trabalhos desenvolvidos e melhor compreensão da influência microestrutural na deterioração do concreto do pavimento, são listadas na sequência algumas possíveis sugestões para pesquisas futuras:

- a) Investigar a influência das fases presentes na deterioração do concreto de cimento Portland do pavimento da BR-101/PB, em especial, da etringita, verificando a possível ocorrência do fenômeno conhecido com Etringita retardada.
- b) Investigar a influência da Zona de transição da interface agregado/pasta de cimento na deterioração do concreto de cimento Portland do pavimento da BR-101/PB.
- c) Atualizar os modelos de desempenho desenvolvidos com a realização de novos ensaios de caracterização dos materiais, novos levantamentos de ICP e da demais variáveis presentes. Os modelos podem ser atualizados a nível local, com a coleta de novos dados da BR-101/PB ou a nível regional com dados dos demais estados do corredor nordeste da BR-101, que são: Rio Grande do Norte, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia.
- d) Elaborar modelos de desempenho, verificando a influência de parâmetros microestruturais, também nos pavimentos de concreto asfáltico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR - 5739. **Concreto — Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro - RJ - Brasil, 1994.

ABNT NBR - 8802. **Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultra-sônica.** ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro - RJ - Brasil, 1994.

ABNT NBR - 7222. **Argamassas e concretos – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.** ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro - RJ - Brasil, 1994.

ABNT NBR – 7584. **Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio.** ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro - RJ - Brasil, 2012.

ABNT NBR - 6118. **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.** ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro - RJ - Brasil, 2014.

ABNT NBR – 7680-1. **Concreto — Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto Parte 1: Resistência à compressão axial.** ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro - RJ - Brasil, 2015.

Al-Omari B., & Darter M.I. **Relationships Between IRI and PSR.** Transportation Research Board, 73rd Annual Meeting. Washington DC, USA. 1994.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - AASHTO. **Pavement Management Guide**. Second Edition. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP. **Governar é abrir estradas. O concreto pavimentando os caminhos na formação de um novo país**. São Paulo, 2009.

ALBUQUERQUE, F. S. **Sistema de gerência de pavimento para departamentos de estradas do nordeste brasileiro**. Porto Alegre, 2007.

ARAÚJO JR, M. C. et al. **Técnicas de Caracterização Microestruturais aplicadas à Análise da Durabilidade e Ciclo de Vida de Pavimentos de Concreto**. II Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 2016.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **C294-98 - Standard Descriptive Nomenclature for Constituents of Concrete Aggregates**. ASTM International, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **C215-14 - Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens**. ASTM International, 2015.

BALBO, J. T. **Pavimentos de Concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BARTHOLOMEU, D. B. **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras**. Piracicaba/SP, 2006.

BRASIL, G. F. DO. **Greve dos caminhoneiros impacta a economia em cerca de R\$ 15,9 bilhões. Ministério da Economia.** Notícia, 2018. Disponível em < <http://www.fazenda.gov.br/noticias/2018/junho/greve-dos-caminhoneiros-impacta-a-economia-em-cerca-de-r-15-9-bilhoes> >. Acesso em: 03/05/2021. 15:59.

Collischonn W., Dorneles F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2ª Impressão. 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2019.** Brasília, 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES – CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2021.** Brasília, 2021.

CONTO, A. L. D. DE. **Estudo comparativo de ensaios destrutivos e não destrutivos para concreto.** [s.l.] Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.

CWIRZEN, A.; PENTTALA, V. **Aggregate-cement paste transition zone properties affecting the salt-frost damage of high-performance concretes.** Cement and Concrete Research, v. 35, n. 4, p. 671–679, 2005.

DARTER, M. I. **Requirements for Reliable Predictive Pavement Models.** Transportation Research Record, v. 766. Washington D. C., 1980.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA. INSTITUTO DE PESQUISAS

RODOVIÁRIAS. **Norma DNIT 060/2004 – PRO – Pavimento Rígido – Inspeção visual - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2004a.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Norma DNIT 061/2004 – TER – Pavimento Rígido – Defeitos - Terminologia.** Rio de Janeiro, 2004b.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Norma DNIT 062/2004 – PRO – Pavimento Rígido – Avaliação Objetiva - Procedimento.** Rio de Janeiro, 2004c.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Norma DNIT 055/2004 – ME – Pavimento rígido – prova de carga estática para a determinação do coeficiente de recalque do subleito e sub-base em projeto e avaliação de pavimentos – Método de Ensaio.** Rio de Janeiro, 2004d.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Norma DNIT 049/2004 – ES – Pavimento Rígido – Execução de pavimento rígido com equipamento de fôrma deslizante – Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2004e.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. COORDENAÇÃO GERAL DE ESTUDOS E PESQUISA. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de Pavimentos Rígidos.** Rio de Janeiro, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. COORDENAÇÃO GERAL DE ESTUDOS E PESQUISA. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de estudos de tráfego**. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. DIRETORIA EXECUTIVA. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de Recuperação de Pavimentos Rígidos**. Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. DIRETORIA EXECUTIVA. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de Gerência de Pavimentos**. Rio de Janeiro, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA. **Sistema de Gerência de Pavimentos: Lista de dados de LVC (Levantamento Visual Contínuo)**. Disponível em < <https://servicos.dnit.gov.br/sgplan/SGPDNIT/Home/ListarDadosLVC> >. Acesso em: 28/09/2022. 06:00.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional 2019 – Relatório Base / ano base 2018**. Rio de Janeiro, 2019.

ERES Consultants, and FHWA. **Performance of Concrete Pavements, Volume III: Improving Concrete Pavement Performance**. U.S. Department of Transportation and Federal Highway Administration. Champaign, Illinois. 1995.

EŠTOKOVA, A. et al. **Study of the deterioration of concrete influenced by biogenic sulphate attack**. *Procedia Engineering*, v. 42, p. 1731–1738, 2012.

HAAS, RALPH; HUDSON W.R.;ZANIEWSKI, J. **Modern Pavement Management**. Flórida/USA, 1994.

HDM-4. **Volume 4 – Analytical framework & model descriptions: Part C3 – Concrete Pavements**. International Study of Highway Development and Management Tools (ISOHDM), The World Bank, Washington, USA, 2000.

HORGNIES, M.; CHEN, J. J.; BOUILLON, C. **Overview about the use of fourier transform infrared spectroscopy to study cementitious materials**. WIT Transactions on Engineering Sciences, v. 77, p. 251–262. 2013.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Custos Dos Acidentes De Trânsito No Brasil: Estimativa Simplificada Com Base Na Atualização Das Pesquisas Do Ipea Sobre Custos De Acidentes Nos Aglomerados Urbanos E Rodovias**. Brasília, 2020.

LEE Y.H., Mohseni A., & DARTER M.Y., **Pavement Model Enhancements for The Highway Performance Monitoring System (HPMS)**. Final Report, Illinois Department of Transportation and Federal Highway Administration. 1991.

LEE Y.H., & DARTER M.Y., **Development of Pavements Performance Prediction Models**. Report N°529-2, Illinois Department of Transportation. University of Illinois at Urbana-Champaign. 1994.

LIMA, M. R. F. **Efeito da imobilização de CO2 supercrítico nas propriedades mecânicas, térmicas e microestruturais de compósitos cimentícios leves**. João Pessoa/PB, 2013.

LYDON, F. D., & R. V. BALENDRAN. **Some observations on elastic properties of plain concrete**. Cement and Concrete Research. 16 (3): 314–324. USA, 1986.

LYTTON, R. **Concepts of pavement performance prediction and modeling**. Second North American Conference on Managing Pavements, Vol II, Toronto, 1987.

MASO, J.C. **Proceedings of the Seventh International Congress on the Chemistry of Cements**, Edition Septima, Paris, 1980.

MEHTA, P.K., MONTEIRO P.J.M. **Concreto – Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 2ª Edição. IBRACON. São Paulo. 2014.

NUNEZ, M. M.; SHAHIN, M. Y. **Pavement Condition Data Analysis and Modeling**. Transportation Research Record, p. 125–132, Austin, 1986.

OLLIVIER J. P., VICHOT A. **Durabilidade do Concreto**. 1ª Edição. Editora IBRACON. São Paulo. 2014

OWUSU-ANTWI, E. DARTER, M. I. **Early results of the LTPP concrete pavement data analysis**. In: International workshop on the Design and Evaluation of Concrete pavements, 3., 1994, krumbach. Proceeding... Krumbach: Crow-Piarc-Cembureau, 1994. p. 463-477

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. v. 2.ed., n. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p., p. 80, 2017.

PITTA, Márcio Rocha. **Dimensionamento dos Pavimentos Rodoviários de Concreto**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. 10ª Edição. ET-14. São Paulo, 1998a.

PITTA, Márcio Rocha. **Concreto rolado: aplicações em pavimentação**. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. 7ª Edição. ET-10. São Paulo, 1998b.

PREGO, A. S. da Silva. **A memória da pavimentação no Brasil**, Associação Brasileira de Pavimentação, Rio de Janeiro, 2001.

RAMACHANDRAN, V. S.; BEAUDOIN, J. J. **HANDBOOK OF ANALYTICAL TECHNIQUES IN CONCRETE SCIENCE AND TECHNOLOGY**. New York, 2001.

REGOURD M., HORNAIN H. **Applications de la microscopie électronique à balayage, Revue des matériaux de construction**, 1975, n.693, pp.73-87.

Reunión Internacional de Laboratorios d'Essais et de Recherches Sur Les Matériaux e les Constructions – RILEM. **Measurement of Hardened concrete carbonation depth: Rilem Recommendation CPC-18**. Materials and Structures, p.453-455, 1988.

ROLIM, A. da Paz. **Hidrologia Aplicada**. Caxias do Sul/RS, 2004.

SHAHIN, M. Y., KOHN, S. D. **Development of a pavement condition rating procedure for roads, streets, and parking lots**. Champaign, III CERL, 1979, 2v.

SHRP. **Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project Report**. SHRP-P-338, Strategic Highway Research Program. National Research Council. 1993.

SHÜEPP, W. **Concrete roads in Switzerland with particular reference to site control**. Paper presented at the Fifth World Meeting of the International Road Federation, London, 1966.

UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS – USACE. **Pavement maintenance management. Technical Manual N° 5-623.** Headquarters, Department of the Army, Washington D.C., 1982.

VAIČIUKYNIENĖ, D. et al. **Cement hydration with zeolite-based additive.** Chemija, v. 24, n. 4, p. 271–278, 2013.

VISCONTI, T. S. **O sistema gerencial de pavimentos do DNER.** Departamento Nacional De Estradas De Rodagem (DNER). Instituto De Pesquisas Rodoviárias (IPR)-Divisão De Apoio Tecnológico. Rio de Janeiro/RJ, p. 84, 2000.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Índice de Condição do Pavimento (ICP) das amostras: fichas de campo.

APÊNDICE B - Fatores de veículos.

APÊNDICE C – Número N (repetições do eixo padrão).

APÊNDICE D – Difrátogramas de raios X das amostras.

APÊNDICE E – Curvas de termogravimetria (TG/DTG) e Calorimetria Exploratória

Diferencial (DSC) das amostras.

APÊNDICE F – Espectros da transmitância de infravermelho das amostras.

APÊNDICE A - Índice de Condição do Pavimento (ICP) das amostras: fichas de campo.

A seguir são apresentadas as fichas de campo das amostras de ICP dos levantamentos de 2016 e 2019.

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 03

Total de amostras: 30

Data: set/16

Tipos de defeitos

1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

Amostra: 01

Testemunho: CP 3.1

Segmento: km 5,24 ao km 5,30 Sentido: Crescente

7M 10 15 11 5B	15
7M 10 15 11 17B	15
5B 10 15 11	15
5B 10 15 11 7B	15
17B 7A 5B 15 10 11	
3M	
7M 3B 16B 5B 11	17B
20 7M 10 11	
15 10 5B 17B	
5B 15 11	

Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
3	Baixo	1	5%	6
3	Médio	1	5%	12
5	Baixo	7	35%	2
7	Baixo	1	5%	3
7	Médio	4	20%	14
7	Alto	1	5%	7
10	Unico	7	35%	6
11	Unico	8	40%	21
15	Unico	11	55%	3
16	Baixo	1	5%	1
17	Baixo	4	20%	5
Valor dedutível total:				80
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				6
Valor dedutível corrigido (VDC):				35
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):				65
Conceito:				Bom

Amostra: 02

Testemunho: CP 3.10

Segmento: km 6,62 ao km 6,68 Sentido: Crescente

5B 7B 11 16B	7B
5B 7B 11	7B 11
5B 7M 11	
5B 7M 11	
5B 7M 11	7B 11
5B 7M 11	7B
5B 7M 11 16B	7B
5B 7M 11	7B
5B 7M 11 17B	7B
5B 7M 17M 11	

Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5	Baixo	10	50%	2
7	Baixo	9	45%	17
7	Médio	8	40%	24
11	Unico	12	60%	28
16	Baixo	2	10%	2
17	Baixo	1	5%	1
17	Médio	1	5%	2
Valor dedutível total:				75
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				3
Valor dedutível corrigido (VDC):				49
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):				51
Conceito:				Razoável

Amostra: 03

Testemunho: NAO

Segmento: km 8,00 ao km 8,06 Sentido: Crescente

5B 7B 11	
5B 7M 16B	
5B 10 16B	
5B 10 16B	
5B 10	
5B 10	
5B 10 16B	
5B 10 16B	
5B 10 16B	
5B 10	

Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5	Baixo	10	50%	2
7	Baixo	1	5%	3
7	Médio	1	5%	4
10	Unico	8	40%	7
11	Unico	1	5%	3
16	Baixo	6	30%	6
Valor dedutível total:				25
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				2
Valor dedutível corrigido (VDC):				20
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):				80
Conceito:				Muito Bom

ICP 2016					
Pavimento: BR-101/PB - Lote 03		Total de amostras: 30		Data: set/16	

Tipos de defeitos					
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível			
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação			
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica			
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto			
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas			
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina			

Amostra: 04						
Testemunho: CP 3.11		Segmento km 9,38 ao km 9,44 Sentido: Crescente				
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5B 7B 16B 17B		5	Baixo	10	50%	2
5B 7B 11 15		7	Baixo	2	10%	5
5B 7M 17B 11		7	Médio	1	5%	4
5B 15		10	Unico	2	10%	2
5B 10 15		11	Unico	2	10%	6
5B 16B		15	Unico	4	20%	1
5B		16	Baixo	2	10%	2
5B		17	Baixo	2	10%	3
5B 10		Valor dedutível total:				25
5B 15		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				2
					Valor dedutível corrigido (VDC):	20
					Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):	80
					Conceito:	Muito Bom

Amostra: 05						
Testemunho: NAO		Segmento km 10,76 ao km 10,82 Sentido: Crescente				
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5B 15		3	Baixo	1	5%	6
5B 15		5	Baixo	10	50%	2
5B 15 16B		7	Médio	6	30%	19
5B 7M		11	Unico	3	15%	9
5B 7M 17B		15	Unico	8	40%	2
5B 7M 16B 15	15	16	Baixo	5	25%	5
3B 7M 15 5B 11		17	Baixo	2	10%	3
5B 7M 16B 17B		Valor dedutível total:				46
5B 11 15 16B		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				3
5B 7M 15 16B 11		Valor dedutível corrigido (VDC):				30
					Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):	70
					Conceito:	Muito Bom

Amostra: 06						
Testemunho: CP 3.2		Segmento km 12,86 ao km 12,91 Sentido: Crescente				
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
6B 7B		5	Baixo	4	20%	2
7B	15	6	Baixo	1	5%	0
5B 7M 15	10 15	7	Baixo	6	30%	13
7B 15 16B	15	7	Médio	4	20%	14
5B 7M 15 17B	15	10	Unico	2	10%	2
7M	7B	15	Unico	14	70%	3
7M	15	16	Baixo	1	5%	1
15 17B	10 15	17	Baixo	2	10%	3
5B 7B 15	15	Valor dedutível total:				38
5B 7B 15	15	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				2
					Valor dedutível corrigido (VDC):	31
					Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):	69
					Conceito:	Bom

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 03 Total de amostras: 30 Data: set/16

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

Amostra: 07		Segmento	km	14,24	ao	km	14,29	Sentido: Crescente		
Testemunho: NAO										
		Tipos de defeitos		Grau de severidade		Nº de placas afetadas		% de placas afetadas		Valor dedutível
5B 6B 7M 16B	5B	3		Baixo		1		5%		6
3B 5B 7M 6B 11	5B	3		Médio		1		5%		12
5B 7M 11 6B		5		Baixo		13		65%		2
5B 7M	5B	6		Baixo		7		35%		2
3M	5B	7		Baixo		1		5%		3
5B 7M		7		Médio		5		25%		17
5B 7B 6B		10		Unico		1		5%		1
5B 6B		11		Unico		2		10%		6
5B 6B		15		Unico		1		5%		0
5B 10 6B	15	16		Baixo		1		5%		1
Valor dedutível total:										50
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):										4
Valor dedutível corrigido (VDC):										30
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):										70
Conceito:										Bom

Amostra: 08		Segmento	km	15,62	ao	km	15,67	Sentido: Crescente		
Testemunho: CP 3.3										
		Tipos de defeitos		Grau de severidade		Nº de placas afetadas		% de placas afetadas		Valor dedutível
5B 11 17B		5		Baixo		13		65%		2
5B		7		Baixo		2		10%		5
5B 11		7		Médio		1		5%		4
5B 7M 16B 11		11		Unico		8		40%		21
5B 7B 11		15		Unico		1		5%		-1
5B 7B 11	5B	16		Baixo		2		10%		2
5B 11 15	5B	17		Baixo		1		5%		1
5B 11 16B	5B 17M	17		Médio		1		5%		2
5B 11		Valor dedutível total:								36
5B		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)								2
Valor dedutível corrigido (VDC):										29
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):										71
Conceito:										Muito Bom

Amostra: 09		Segmento	km	17,00	ao	km	17,05	Sentido: Crescente		
Testemunho: NAO										
		Tipos de defeitos		Grau de severidade		Nº de placas afetadas		% de placas afetadas		Valor dedutível
5B 7M 11		5		Baixo		10		50%		2
5B 7M 11 6B		6		Baixo		2		10%		1
5B 6B 7M 11		7		Baixo		1		5%		3
5B 11 7M		7		Médio		9		45%		25
5B 7M 11		11		Unico		8		40%		21
5B 7M 11		15		Unico		1		5%		-1
5B 7M 11 15		17		Baixo		2		10%		3
5B 7M 11 17B		Valor dedutível total:								53
5B 7M		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):								2
5B 7B 17B		Valor dedutível corrigido (VDC):								42

ICP 2016					
Pavimento: BR-101/PB - Lote 03		Total de amostras: 30		Data: set/16	

Tipos de defeitos					
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível			
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação			
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica			
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto			
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas			
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina			

Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):		58
Conceito:		Bom

Amostra: 10						
Testemunho: NAO		Segmento km 18,44 ao km 18,50 Sentido: Crescente				
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5B 7M		5	Baixo	9	45%	2
5B 7M		7	Médio	3	15%	11
5B 7M 15		15	Unico	8	40%	2
5B 15						
5B 15						
5B 15						
5B 15						
5B 15						
5B 15						
15						
Valor dedutível total:						15
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						1
Valor dedutível corrigido (VDC):						15
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						85
Conceito:						Excelente

Amostra: 11						
Testemunho: NAO		Segmento km 40,24 ao km 40,30 Sentido: Decrescente				
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
15	18 5B 7M 15	1	Baixo	1	5%	4
15	5B 15	5	Baixo	11	55%	2
15	5B 7M 11 15	7	Médio	3	15%	11
	5B 15	10	Unico	2	10%	2
15	5B 15	11	Unico	2	10%	6
15	5B 15 16	15	Unico	18	90%	4
5B 15	5B 7M 15	17	Baixo	2	10%	3
15	5B 10 11 15	Valor dedutível total:				32
15	5B 10 17B	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)				2
15	5B 15 17B	Valor dedutível corrigido (VDC):				26
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						74
Conceito:						Muito Bom

Amostra: 12						
Testemunho: CP 3.12		Segmento km 38,77 ao km 38,83 Sentido: Decrescente				
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
	5B 7M	1	Baixo	3	15%	12
	5B 7M	3	Baixo	1	5%	6
7M	5B 7M	5	Baixo	10	50%	2
7B	18 5B 7M 11	7	Baixo	5	25%	11
7B	18 5B 7M	7	Médio	12	60%	30
7B	5B 7M	11	Unico	3	15%	9
	5B 7M	Valor dedutível total:				70
18 7B	5B 7M 11	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)				5
7B	38 7M 5B 11	Valor dedutível corrigido (VDC):				34
7M	5B 7M	Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):				
Conceito:						Bom

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 03

Total de amostras: 30

Data: set/16

Tipos de defeitos

1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborçamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

Amostra: 13

Testemunho: NAO

Segmento km 37,39 ao km 37,45 Sentido: Decrescente

Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
1	Baixo	1	5%	4
5	Baixo	13	65%	2
7	Baixo	1	5%	3
7	Médio	3	15%	11
15	Unico	9	45%	2
17	Baixo	4	20%	5
Valor dedutível total:				27
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)				1
Valor dedutível corrigido (VDC):				27
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):				73
Conceito:				Muito Bom

Amostra: 14

Testemunho: CP 3.4

Segmento km 36,01 ao km 36,07 Sentido: Decrescente

Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
1	Baixo	8	40%	26
3	Médio	1	5%	12
5	Baixo	12	60%	2
7	Baixo	3	15%	8
7	Médio	6	30%	19
11	Unico	6	30%	17
15	Unico	9	45%	2
18	Baixo	1	5%	2
Valor dedutível total:				88
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)				5
Valor dedutível corrigido (VDC):				44
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):				56
Conceito:				Bom

Amostra: 15

Testemunho: NAO

Segmento km 34,63 ao km 34,69 Sentido: Decrescente

Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5	Baixo	10	50%	2
7	Médio	1	5%	4
11	Unico	10	50%	25
14	Baixo	4	20%	4
15	Unico	8	40%	2
16	Baixo	1	5%	1
17	Baixo	1	5%	1
Valor dedutível total:				40
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)				1
Valor dedutível corrigido (VDC):				40
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):				60
Conceito:				Bom

Amostra: 16

Testemunho: NAO

Segmento km 33,25 ao km 33,31 Sentido: Decrescente

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 03 Total de amostras: 30 Data: set/16

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
1	Baixo	3	15%	12
3	Baixo	2	10%	11
3	Médio	5	25%	35
5	Baixo	6	30%	2
7	Baixo	2	10%	5
7	Médio	3	15%	11
11	Unico	4	20%	12
15	Unico	1	5%	0
17	Médio	1	5%	2
Valor dedutível total:				89
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)				6
Valor dedutível corrigido (VDC):				39
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):				61
Conceito:				Bom

Amostra: 17
Segmento: CP 3.5 Segmento km 31,67 ao km 31,73 Sentido: Decrescente

Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
3	Baixo	4	20%	19
3	Médio	2	10%	19
3	Alto	3	15%	36
5	Médio	5	25%	4
7	Baixo	5	25%	11
7	Médio	6	30%	19
7	Alto	2	10%	14
10	Unico	1	5%	1
11	Unico	5	25%	15
14	Baixo	5	25%	5
15	Unico	9	45%	2
17	Baixo	1	5%	1
17	Médio	1	5%	2
18	Baixo	5	25%	9
Valor dedutível total:				158
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)				9
Valor dedutível corrigido (VDC):				68
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):				32
Conceito:				Ruim

Amostra: 18
Testemunho: NAO Segmento km 30,49 ao km 30,55 Sentido: Decrescente

Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5	Baixo	9	45%	2
7	Médio	3	15%	11
11	Unico	3	15%	9
14	Baixo	2	10%	2
15	Unico	18	90%	4
16	Baixo	2	10%	2
17	Baixo	1	5%	1
Valor dedutível total:				31

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 03	Total de amostras: 30	Data: set/16
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcimento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

15	5B 7M 11 15	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)	2
15	15B 15	Valor dedutível corrigido (VDC):	25
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):			75
Conceito:			Muito Bom

Amostra: 19		Segmento		km	29,11	ao	km	29,17	Sentido: Decrescente	
Testemunho: NAO				Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		
	5B 7M 11 16B	1	Baixo	5	25%	18				
	1B 5B 7M 11	3	Baixo	2	10%	11				
	3A	3	Médio	3	15%	25				
	3M	3	Alto	1	5%	17				
	3M	5	Baixo	6	30%	2				
15	3M	7	Médio	5	25%	17				
	1B 5B 7M 11 15 19B	11	Unico	6	30%	17				
	1B 3B 5B 7M 11 15	15	Unico	5	25%	1				
	1B 5B 7N 11 15 18B 19B	16	Baixo	1	5%	1				
	17M 15 11 7M 5B 3B 1B	17	Médio	1	5%	2				
		18	Baixo	1	5%	2				
						Valor dedutível total:		111		
						Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)		6		
						Valor dedutível corrigido (VDC):		49		
						Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):		51		
						Conceito:		Razoável		

Amostra: 20		Segmento		km	27,73	ao	km	27,79	Sentido: Decrescente	
Testemunho: CP 3.6										

Amostra: 21								
Testemunho: NAO		Segmento	km	26,35	ao km	26,41	Sentido: Decrescente	
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor deduzível		
15	5B 8A 14B 11 16A	1	Baixo	1	5%	4		
15	1B 5B 7M 11 15	5	Baixo	11	55%	2		
15	5B 7M 11 15	7	Médio	4	20%	14		

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 03 Total de amostras: 30 Data: set/16

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

15	5B 11 15	8	Alto	1	5%	9
5B 14M	5B 14M	11	Unico	7	35%	19
14B	5B 14B	14	Baixo	8	40%	7
14B	5B 7M 14M	14	Médio	4	20%	13
	5B 7M 11 14B	15	Unico	7	35%	2
14B	5B 11 14B	16	Alto	1	5%	4
14B	5B 11 14M	Valor dedutível total:				73
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						5
Valor dedutível corrigido (VDC):						36
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						64
Conceito:						Bom

Amostra: 22

Testemunho: NAO

Segmento

km

24,97

ao

km

25,03

Sentido: Decrescente

		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
	5B	4	Baixo	5	25%	15
	5B 7B 11	5	Baixo	13	65%	2
5B	5B 11	7	Baixo	1	5%	3
	5B 11 16B	7	Médio	5	25%	17
5B	5B 7M 11 17B	11	Unico	9	45%	23
15 17B	7M 5B 11 15	15	Unico	8	40%	2
15 17B	4B 5B 7M 11 17B	16	Baixo	1	5%	1
15 5B 17B	5B 4B 7M 11 15 17B	17	Baixo	9	45%	9
15 17B	5B 4B 11 15 17B 4B	Valor dedutível total:				71
15	5B 7M 11 17B 4B	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				4
Valor dedutível corrigido (VDC):						43
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						58
Conceito:						Bom

Amostra: 23

Testemunho: NÃO

Segmento

km

23,59

ao

km

23,65

Sentido: Decrescente

Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5	Baixo	11	55%	2
7	Baixo	1	5%	3
7	Médio	2	10%	8
7	Alto	1	5%	7
11	Unico	3	15%	9
12	Baixo	1	5%	6
15	Unico	8	40%	2
16	Baixo	1	5%	1
17	Baixo	11	55%	10
Valor dedutível total:				48
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)				5
Valor dedutível corrigido (VDC):				22
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):				78
Conceito:				Muito Bom

Amostra: 24
Testemunho: CP 3.7

Segmento	km	22,21	ao	km	22,27	Sentido: Decrescente
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 03 Total de amostras: 30 Data: set/16

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

15	5B 11 7M 20 15	4	Baixo	5	25%	15
15	5B 7B 15	5	Baixo	10	50%	2
15	5B 11 7A 17B	7	Baixo	1	5%	3
15	5B 7M 15 17B	7	Médio	7	35%	21
15	5B 4B 7M 17B	7	Alto	2	10%	14
	5B 7A 17B	11	Unico	2	10%	6
15	4B 5B 7M 17B 15	12	Baixo	1	5%	6
15	4B 5B 7M 17B 15	15	Unico	16	80%	3
15	4B 7M 5B 17B 15	17	Baixo	8	40%	8
15	5B 4B 7M 12B 17B 15	Valor dedutível total:				79
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						6
Valor dedutível corrigido (VDC):						34
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						66
Conceito:						Bom

Amostra: 25		Segmento	km	20,83	ao	km	20,89	Sentido: Decrescente
Testemunho: NAO								
7M	5B 7M 20 18B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		
7B	3B 5B 7M 17M 19B 18B	1	Baixo	2	10%	8		
7B	1B 5B 7M	1	Médio	2	10%	15		
7M	5B 7M	3	Baixo	3	15%	15		
7M	3B 5B 7M 17M	4	Baixo	1	5%	6		
7M 15	5B 7A 3B 1M	5	Baixo	10	50%	2		
15	5B 7A 11 4B 19B 1B	7	Baixo	5	25%	11		
7B	5B 7A 11	7	Médio	9	45%	25		
7B 15	5B 7A 15 18B 11 19B 1M	7	Alto	4	20%	26		
7B	5B 17B	11	Unico	3	15%	9		
		15	Unico	4	20%	1		
		17	Baixo	1	5%	1		
		17	Médio	2	10%	4		
		18	Baixo	3	15%	5		
Valor dedutível total:						127		
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						8		
Valor dedutível corrigido (VDC):						56		
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						44		
Conceito:						Razoável		

Amostra: 26		Segmento	km	19,45	ao	km	19,51	Sentido: Decrescente
Testemunho: NAO								
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		
7B	5B 7M 17M	1	Baixo	1	5%	4		
5B	5B 7M	5	Baixo	13	65%	2		
15	5B 7M	7	Baixo	5	25%	11		
7B	5B 7M	7	Médio	7	35%	21		
	1B 5N 7B	15	Unico	1	5%	0		
5B 7B	5B 7M	17	Baixo	1	5%	1		
5B	5B 7M 19B 18B	17	Médio	2	10%	4		
OK	5B	18	Baixo	1	5%	2		
5B	5B 7M 17M	Valor dedutível total:				46		
OK	5B 7B 17B	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				2		
Valor dedutível corrigido (VDC):						36		

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 03

Total de amostras: 30

Data: set/16

Tipos de defeitos

1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborçamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

	Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):	64
	Conceito:	Bom

Amostra: 27

Testemunho: NAO

Segmento km 12,25 ao km 12,31 Sentido: Decrescente

SB 15	SB 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
SB 15	SB 15	5	Baixo	20	100%	2
SB 7B	SB 7B 15	7	Baixo	2	10%	5
SB 15	SB 15	7	Médio	1	5%	4
SB 15	SB 15	15	Unico	19	95%	4
SB 15	SB 15	Valor dedutível total:				15
SB 15	SB 7M 15	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)				1
SB 15	SB 15	Valor dedutível corrigido (VDC):				15
SB 15	SB 15	Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):				85
						Conceito: Excelente

Amostra: 28

Testemunho: CP 3.8

Segmento km 10,87 ao km 10,93 Sentido: Decrescente

15	SB 10 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
15	SB 10 15	1	Baixo	1	5%	4
15	3B 7A 5B 15 6B	1	Alto	1	5%	27
7M 15	SB 6B 7A 15 1B	3	Baixo	1	5%	6
15	SB 15 7A 11	5	Baixo	10	50%	2
10 15	SB 7M 10 15	6	Baixo	2	10%	1
10 15	SB 7M 10 15 17B	7	Médio	4	20%	14
15	SB 7A 10 15	7	Alto	5	25%	30
15	SB 7A 1A 15 11	10	Unico	9	45%	8
10 15	SB 7M 10 15 11	11	Unico	3	15%	9
		15	Unico	20	100%	4
		17	Baixo	1	5%	1
						Valor dedutível total: 106
						Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q) 6
						Valor dedutível corrigido (VDC): 47
						Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD): 53
						Conceito: Razoável

Amostra: 29

Testemunho: CP 3.9

Segmento km 3,30 ao km 3,35 Sentido: Decrescente

15	SB 10 15 11	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5B	SB 7M	5	Baixo	11	55%	2
15 10	SB 10 15 11 17B	7	Médio	2	10%	8
15	SB 10 15 17B	7	Alto	1	5%	7
15	SB 10 15 11	10	Unico	6	30%	6
15	SB 11 15 10	11	Unico	7	35%	19
15	SB 11 15 20	15	Unico	18	90%	4
15	SB 11 15 17B	17	Baixo	3	15%	4
15	SB 11 15 7A	Valor dedutível total:				49
15	SB 7M 15	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)				4
						Valor dedutível corrigido (VDC): 30
						Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD): 70

ICP 2016					
Pavimento: BR-101/PB - Lote 03		Total de amostras: 30		Data: set/16	
Tipos de defeitos					
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível			
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação			
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica			
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto			
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas			
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina			
				Conceito: Muito Bom	
Amostra: 30					
Testemunho: NAO		Segmento km 1,92 ao km 1,97		Sentido: Decrescente	
15	58 10 15 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	Valor dedutível
15	58 15 10	5	Baixo	10	2
15	58 15	7	Baixo	2	5
15	58 10 15	10	Unico	3	3
15	58 15	15	Unico	20	4
15	58 15	16	Médio	1	2
15	58 7B 15	17	Baixo	1	1
15	58 15	Valor dedutível total:			18
15	58 7B 15 16M	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):			1
15	58 15	Valor dedutível corrigido (VDC):			18
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):				82	
				Conceito: Muito Bom	

ICP 2016																										
Pavimento: BR-101/PB - Lote 04		Total de amostras: 30		Data: set/16																						
Tipos de defeitos																										
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível																								
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação																								
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica																								
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto																								
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas																								
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina																								
Amostra: 01																										
Testemunho: CP 4.1		Segmento: km 44,52 ao km 44,56		Sentido: Crescente																						
<table><tr><td>5B 7B 10 15 17B</td><td>5B 7B 17B 15</td></tr><tr><td>5B 7B 17B 15</td><td>5B 7B 17B 1B 15</td></tr><tr><td>5B 7B 15 17B</td><td>5B 7B 15 17B</td></tr><tr><td>5B 7B 15 17B</td><td>7B 5B 15 17B</td></tr><tr><td>7B 10 15 17B 5B</td><td>7B 15 17B 5B</td></tr><tr><td>7B 15 17B</td><td>7B 15 17B</td></tr><tr><td>7B 15 10 17B</td><td>7B 15 17B</td></tr><tr><td>7B 5B 15</td><td>7B 15</td></tr><tr><td>7B 15 17B 5B</td><td>7B 15 5B</td></tr><tr><td>5B 7B 15 17B</td><td>7B 15 5B</td></tr></table>		5B 7B 10 15 17B	5B 7B 17B 15	5B 7B 17B 15	5B 7B 17B 1B 15	5B 7B 15 17B	5B 7B 15 17B	5B 7B 15 17B	7B 5B 15 17B	7B 10 15 17B 5B	7B 15 17B 5B	7B 15 17B	7B 15 17B	7B 15 10 17B	7B 15 17B	7B 5B 15	7B 15	7B 15 17B 5B	7B 15 5B	5B 7B 15 17B	7B 15 5B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
		5B 7B 10 15 17B	5B 7B 17B 15																							
		5B 7B 17B 15	5B 7B 17B 1B 15																							
		5B 7B 15 17B	5B 7B 15 17B																							
		5B 7B 15 17B	7B 5B 15 17B																							
		7B 10 15 17B 5B	7B 15 17B 5B																							
		7B 15 17B	7B 15 17B																							
		7B 15 10 17B	7B 15 17B																							
		7B 5B 15	7B 15																							
		7B 15 17B 5B	7B 15 5B																							
5B 7B 15 17B	7B 15 5B																									
1	Baixo	1	5%	4																						
5	Baixo	15	75%	2																						
7	Baixo	20	100%	22																						
10	Unico	3	15%	3																						
15	Unico	20	100%	4																						
17	Baixo	15	75%	11																						
Valor dedutível total:					47																					
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):					2																					
Valor dedutível corrigido (VDC):					37																					
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):					63																					
Conceito:					Bom																					
Amostra: 02																										
Testemunho: NÃO		Segmento: km 45,57 ao km 45,61		Sentido: Crescente																						
<table><tr><td>7B 15 17B</td><td>7B 15</td></tr><tr><td>7B 15</td><td>7B 15</td></tr><tr><td>7B 15</td><td>7B 15</td></tr><tr><td>7B 15 17B</td><td>7B 15</td></tr><tr><td>7B 15</td><td>7B 15 17B</td></tr><tr><td>7B 15</td><td>7B 15</td></tr><tr><td>7B 15</td><td>7B 15</td></tr><tr><td>7B 15 17B</td><td>7B 15</td></tr><tr><td>7B 15 17B</td><td>7B 15</td></tr><tr><td>7B 15</td><td>7B 15</td></tr></table>		7B 15 17B	7B 15	7B 15	7B 15	7B 15	7B 15	7B 15 17B	7B 15	7B 15	7B 15 17B	7B 15	7B 15	7B 15	7B 15	7B 15 17B	7B 15	7B 15 17B	7B 15	7B 15	7B 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
		7B 15 17B	7B 15																							
		7B 15	7B 15																							
		7B 15	7B 15																							
		7B 15 17B	7B 15																							
		7B 15	7B 15 17B																							
		7B 15	7B 15																							
		7B 15	7B 15																							
		7B 15 17B	7B 15																							
		7B 15 17B	7B 15																							
7B 15	7B 15																									
7	Baixo	20	100%	22																						
15	Unico	20	100%	4																						
17	Baixo	5	25%	6																						
Valor dedutível total:					32																					
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):					2																					
Valor dedutível corrigido (VDC):					26																					
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):					74																					
Conceito:					Muito Bom																					
Amostra: 03																										
Testemunho: CP 4.2		Segmento: km 46,62 ao km 46,66		Sentido: Crescente																						
<table><tr><td>7M 5B 17B 15 11</td><td>7B 15 17B</td></tr><tr><td>5B 7B 11 15 17B</td><td>7B 15</td></tr><tr><td>5B 7M 11 15 17B</td><td>7B 15 5B 17B</td></tr><tr><td>7M 5B 17B 15 11</td><td>7B 15</td></tr><tr><td>7M 5B 17B 15 11</td><td>7B 15</td></tr><tr><td>7B 15 17B 5B 11</td><td>7B 15 5B</td></tr><tr><td>7M 15 15 17B</td><td>5 7B 15 17B</td></tr><tr><td>7B 11 15 17B</td><td>5B 7B 15</td></tr><tr><td>7B 11 15 17B</td><td>5B 7B 15</td></tr><tr><td>5B 7B 11 15 17B</td><td>5B 7B 15</td></tr></table>		7M 5B 17B 15 11	7B 15 17B	5B 7B 11 15 17B	7B 15	5B 7M 11 15 17B	7B 15 5B 17B	7M 5B 17B 15 11	7B 15	7M 5B 17B 15 11	7B 15	7B 15 17B 5B 11	7B 15 5B	7M 15 15 17B	5 7B 15 17B	7B 11 15 17B	5B 7B 15	7B 11 15 17B	5B 7B 15	5B 7B 11 15 17B	5B 7B 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
		7M 5B 17B 15 11	7B 15 17B																							
		5B 7B 11 15 17B	7B 15																							
		5B 7M 11 15 17B	7B 15 5B 17B																							
		7M 5B 17B 15 11	7B 15																							
		7M 5B 17B 15 11	7B 15																							
		7B 15 17B 5B 11	7B 15 5B																							
		7M 15 15 17B	5 7B 15 17B																							
		7B 11 15 17B	5B 7B 15																							
		7B 11 15 17B	5B 7B 15																							
5B 7B 11 15 17B	5B 7B 15																									
5	Baixo	12	60%	2																						
7	Baixo	15	75%	20																						
7	Médio	5	25%	17																						
11	Unico	9	45%	23																						
15	Unico	21	105%	4																						
17	Baixo	13	65%	11																						
Valor dedutível total:					77																					
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):					4																					
Valor dedutível corrigido (VDC):					46																					
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):					54																					
Conceito:					Razoável																					
Amostra: 04																										
Testemunho: NAO		Segmento: km 47,67 ao km 47,71		Sentido: Crescente																						
<table><tr><td>5B 7B 15</td><td>7B 15</td></tr></table>		5B 7B 15	7B 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível																		
		5B 7B 15	7B 15																							
5	Baixo	10	50%	2																						

ICP 2016					
Pavimento: BR-101/PB - Lote 04		Total de amostras: 30		Data: set/16	
Tipos de defeitos					
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível			
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação			
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica			
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto			
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas			
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina			
5B 7B 15	7B 15	7	Baixo	20	100%
5B 7B 15	7B 15	15	Unico	20	100%
5B 7B 15 17B	7B 15	17	Baixo	3	15%
5B 7B 15 17B	7B 15 17B				
5B 7B 15	7B 15				
5B 7B 15	7B 15				
5B 7B 15	7B 15				
5B 7B 15	7B 15				
5B 7B 15	7B 15				
5B 7B 15	7B 15				
Valor dedutível total:					32
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):					1
Valor dedutível corrigido (VDC):					32
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):					68
Conceito:					Bom

Amostra: 05					
Testemunho: CP 4.10		Segmento	km 48,72	ao km 48,76	Sentido: Crescente
5B 7B 15	7B 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
7B 5B 15	7B 15	4	Baixo	3	15%
5B 7B 15	7B 15	5	Baixo	10	50%
5B 7B 15 17B	7B 15	7	Baixo	20	100%
5B 7B 15 17B	7B 15	15	Unico	20	100%
5B 7B 15 17B	7B 15	17	Baixo	4	20%
5B 7B 15 17B	7B 15				
5B 7B 15	4B 7B 15				
5B 7B 15	4B 7B 15				
5B 7B 15	4B 7B 15				
5B 7B 15	4B 7B 15				
Valor dedutível total:					43
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):					2
Valor dedutível corrigido (VDC):					35
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):					65
Conceito:					Bom

Amostra: 06					
Testemunho: NAO		Segmento	km 49,77	ao km 49,81	Sentido: Crescente
7B 15	15 7B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
7B 15 17B	7B 15	7	Baixo	20	100%
7B 15 17B	7B 15	15	Unico	20	100%
7B 15 17B	7B 15	17	Baixo	5	25%
7B 15	7B 15				
7B 15 17B	7B 15				
7B 15 17B	7B 15				
7B 15	7B 15				
7B 15	7B 15				
7B 15	7B 15				
7B 15	7B 15				
Valor dedutível total:					32
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):					2
Valor dedutível corrigido (VDC):					26
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):					74
Conceito:					Muito Bom

Amostra: 07					
Testemunho: CP 4.3		Segmento	km 50,82	ao km 50,86	Sentido: Crescente
5B 11 7B 15	7B 15 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
5B 7B 15 17B	7B 15 17B	5	Baixo	12	60%
5B 7B 15	7B 15 17B	7	Baixo	20	100%
7B 15 17B	7B 15	10	Unico	2	10%
7B 15 10	7B 15	11	Unico	1	5%
5B 7B 15 17B	5B 7B 15	15	Unico	20	100%
		17	Baixo	6	30%

ICP 2016		
Pavimento: BR-101/PB - Lote 04	Total de amostras: 30	Data: set/16

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

	Conceito: Bom
--	----------------------

Amostra: 11									
Testemunho: CP 4.4		Segmento	km	55,02	ao	km	55,06	Sentido: Crescente	
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas			Valor dedutível	
7B 15	15	5	Baixo	8	40%			2	
5B 7B 15	15 17B	7	Baixo	9	45%			17	
5B 7B 15	15	15	Unico	20	100%			4	
7B 15	15	17	Baixo	2	10%			3	
5B 7B 15	15								
5B 7B 15	15								
5B 7B 15	15								
5B 7B 15	15								
5B 7B 15	15								
5B 7B 15	15								
5B 17B 15	15								
Valor dedutível total:								25	
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):								1	
Valor dedutível corrigido (VDC):								25	
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):								75	
Conceito:								Muito Bom	

Amostra: 12									
Testemunho: NAO		Segmento	km	56,07	ao	km	56,11	Sentido: Crescente	
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas			Valor dedutível	
7B 15 17B	15	5	Baixo	1	5%			2	
7B 15 17B	15	7	Baixo	10	50%			18	
7B 15	15	15	Unico	20	100%			4	
7B 15 5B	15	16	Baixo	1	5%			1	
7B 15 16B 17B	15	17	Baixo	10	50%			10	
7B 15 17B	15								
7B 15 17B	15								
7B 15 17B	15								
7B 15 17B	15 17B								
7B 15 17B	15 17B								
Valor dedutível total:								34	
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):								2	
Valor dedutível corrigido (VDC):								27	
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):								73	
Conceito:								Muito Bom	

Amostra: 13									
Testemunho: NAO		Segmento	km	57,12	ao	km	57,16	Sentido: Crescente	
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas			Valor dedutível	
7B 10 15 17B	10 15	7	Baixo	12	60%			19	
7B 10 15 17B	10 15	10	Unico	17	85%			10	
7B 10 15 17B	7B 15	15	Unico	20	100%			4	
7B 10 15 17B	7B 15 17B	17	Baixo	11	55%			10	
7B 10 15	10 15								
7B 10 15	15 17B								
7B 10 15 17B	10 15 17B								
7B 10 15 17B	10 15								
7B 10 15 17B	10 15								
7B 10 15	17B 10 15								
Valor dedutível total:								43	
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):								3	
Valor dedutível corrigido (VDC):								28	
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):								72	
Conceito:								Muito Bom	

Amostra: 14									
Testemunho: NAO		Segmento	km	58,17	ao	km	58,21	Sentido: Crescente	

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 04	Total de amostras: 30	Data: set/16
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esbordamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

5B 7B 15	5B 15 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5B 7B 15	15 17B	5	Baixo	6	30%	2
5B 7B 15	15	7	Baixo	10	50%	18
5B 7B 15	15	15	Unico	19	95%	4
5B 7B 15	15	17	Baixo	7	35%	8
7B 15 17B	15					
7B 15	17B					
7B 15	15					
7B 15	15 17B					
7B 15 17B	15 17B					
Valor dedutível total:						31
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						2
Valor dedutível corrigido (VDC):						25
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						75
Conceito:						Muito Bom

Amostra: 15		Segmento km 59,22 ao km 59,26 Sentido: Crescente					
Testemunho: CP 4.5							
5B 7B 15	15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível	
5B 7B 15	7B 15	5	Baixo	10	50%	2	
5B 7B 15	7B 15	7	Baixo	17	85%	21	
5B 7B 15	7B 15	15	Unico	19	95%	4	
5B 7B 15	7B 15	17	Baixo	2	10%	3	
5B 7B 15	7B 15						
5B 7B 17B	7B 15						
5B 7B 15	15						
5B 7B 15 17B	15						
5B 7B 15	7B 15						
Valor dedutível total:						30	
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						1	
Valor dedutível corrigido (VDC):						30	
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						71	
Conceito:						Muito Bom	

Amostra: 16		Segmento km 73,51 ao km 73,56 Sentido: Decrescente					
Testemunho: CP 4.6							
15 17B	12B 7B 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível	
7B 15	5B 7B 15	5	Baixo	7	35%	2	
15	7B 15 16B	7	Baixo	14	70%	20	
5B 7B 15	5B 12B 15 16B 17B	8	Médio	1	5%	4	
7B 15	5B 7B 15 12B	12	Baixo	4	20%	21	
5B 15	5B 15 7B	15	Unico	19	95%	4	
7B 15	5B 12B 15	16	Baixo	1	5%	1	
7B 15	7B 15 17B	17	Baixo	3	15%	4	
7B 15	7B 15 17M	17	Médio	1	5%	2	
7B 15	8M	Valor dedutível total:				57	
		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				2	
		Valor dedutível corrigido (VDC):				45	
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):				55	
		Conceito:				Bom	

Amostra: 17						
Testemunho: NÃO		Segmento	km	72,41	ao	km 72,46 Sentido: Decrescente
		Tipos de	Grau de	Nº de placas	% de placas	Valor

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 04	Total de amostras: 30	Data: set/16
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

15	7B 15 16B		defeitos	severidade	afetadas	afetadas	deduzível
15	7B 15 16B		5	Baixo	1	5%	2
15	7B 15		7	Baixo	9	45%	17
15	7B 15		15	Unico	20	100%	4
15	7B 15		16	Baixo	5	25%	5
15	15 16B						
15	7B 15 16B						
15	7B 15 16B						
15	7B 15						
15	5B 7B 15						
Valor dedutível total:							27
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):							1
Valor dedutível corrigido (VDC):							27
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):							73
Conceito:							Muito Bom

Amostra: 18		Segmento km 71,31 ao km 71,36 Sentido: Decrescente					
Testemunho: NÃO							
15	7B 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor deduzível	
15	7B 15	7	Baixo	8	40%	16	
15	15	15	Unico	20	100%	4	
15	7B 15	16	Baixo	1	5%	1	
15	15						
15	7B 15						
15	7B 15						
15	7B 15						
15	7B 15						
15	7B 15						
15	7B 15 16B						
Valor dedutível total:						21	
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						1	
Valor dedutível corrigido (VDC):						21	
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						80	
Conceito:						Muito Bom	

Amostra: 19		Segmento km 70,21 ao km 70,26 Sentido: Decrescente					
Testemunho: CP 4.7							
	15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor deduzível	
	15	5	Baixo	1	5%	2	
		10	Unico	4	20%	4	
		15	Unico	4	20%	1	
10	15						
10	15						
10	10						
	58						
	20						
Valor dedutível total:						7	
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						0	
Valor dedutível corrigido (VDC):						7	
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						93	
Conceito:						Excelente	

Amostra: 20		Segmento km 69,11 ao km 69,16 Sentido: Decrescente				
Testemunho: CP 4.8						
		Tipos de	Grau de	Nº de placas	% de placas	Valor

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 04	Total de amostras: 30	Data: set/16
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

	Conceito: Muito Bom
--	----------------------------

Amostra: 26						
Testemunho: NAO		Segmento	km	62,51	ao	km 62,56
		Sentido: Decrescente				
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor deduzível
15	5B 15	5	Baixo	9	45%	2
15	15	15	Unico	12	60%	3
15	5B					
15	5B					
15	5B					
15	5B					
15	5B					
15	5B					
15	5B					
15	5B					
Valor dedutível total:						5
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						0
Valor dedutível corrigido (VDC):						5
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						95
Conceito:						Excelente

Amostra: 27						
Testemunho: NAO		Segmento	km	61,41	ao	km 61,46
		Sentido: Decrescente				
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor deduzível
15 17B	15	7	Baixo	4	20%	10
15 17B	15	15	Unico	20	100%	4
15	15	17	Baixo	2	10%	3
15	15					
15	15					
15	15					
7B 15	15					
7B 15	15					
7B 15	15					
7B 15	15					
Valor dedutível total:						16
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						1
Valor dedutível corrigido (VDC):						16
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						84
Conceito:						Muito Bom

Amostra: 28						
Testemunho: CP 4.9		Segmento	km	44,20	ao	km 44,24
		Sentido: Decrescente				
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor deduzível
7B 15	7B 15 17B	7	Baixo	10	50%	18
7B 15	7B 15	15	Unico	13	65%	3
7B 15 17B	7B 15	16	Baixo	2	10%	2
7B 15	7B 15	17	Baixo	2	10%	3
7B 15	7B 15					
	16B					
	15					
15	15 16B					
Valor dedutível total:						25
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						1

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 04

Total de amostras: 30

Data: set/16

Tipos de defeitos

1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

	Valor dedutível corrigido (VDC):	25
	Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):	75
	Conceito:	Muito Bom

Amostra: 29

Testemunho: NAO

Segmento km 42,96 ao km 43,00 Sentido: Decrescente

7B 15	7B 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
7B 15	7B 15 17B	5	Baixo	1	5%	2
7B 15	7B 15 17B	7	Baixo	20	100%	22
7B 15	7B 15 17B	15	Unico	20	100%	4
7B 15	7B 15 17B	17	Baixo	8	40%	8
7B 15 5B	7B 15 17B					
7B 15	7B 15					
7B 15	7B 15 17B					
7B 15	7B 15 17B					
7B 15	7B 15 17B					
Valor dedutível total:						36
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						2
Valor dedutível corrigido (VDC):						29
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						71
Conceito:						Muito Bom

Amostra: 30

Testemunho: NAO

Segmento km 41,82 ao km 41,87 Sentido: Decrescente

15 17B	5B 7M 15 17B 11	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
15 20 17B	7M 5B 11 15 17B	1	Baixo	1	5%	4
15 17B	4B 19 15 8A 11 17B	3	Baixo	1	5%	6
15 17B	7M 5B 11 15	4	Baixo	1	5%	6
15 17B	5B 7M 17B 15	5	Baixo	8	40%	2
15 16B	5B 7M 11 15 17B	6	Baixo	1	5%	0
7M 15 17B	5B 7M 17B 15	7	Médio	9	45%	25
15 17B	5B 6B 7A 17B 1B	7	Alto	1	5%	7
17B 15	5B 7M 17B 15 11	8	Alto	1	5%	9
15 17B	3B 7M 17B 19B	11	Unico	6	30%	17
		15	Unico	17	85%	3
		16	Baixo	1	5%	1
		17	Baixo	17	85%	12
Valor dedutível total:						92
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						7
Valor dedutível corrigido (VDC):						40
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						60
Conceito:						Bom

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 05 Total de amostras: 30 Data: set/16

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

Amostra: 01		Segmento: km 127,09 ao km 127,15 Sentido: Crescente				
Testemunho: CP 5.1						
5B 7B 15	15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5B 15	15	5	Baixo	10	50%	2
5B 15 20	15	7	Baixo	1	5%	3
5B 15	15	15	Unico	20	100%	4
5B 15	15					
5B 15	15					
5B 15	15					
5B 15	15					
5B 15	15					
5B 15	15					
5B 15	15					
Valor dedutível total:						9
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						0
Valor dedutível corrigido (VDC):						9
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						91
Conceito:						Excelente

Amostra: 02		Segmento: km 126,92 ao km 126,97		Sentido: Decrescente		
Testemunho: NAO						
15	5B 6B 15 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
15	5B 6B 7B 15 17B	5	Baixo	10	50%	2
15	5B 6B 7B 15 17B	6	Baixo	5	25%	2
15 17B	5B 7B 6B 15	7	Baixo	9	45%	17
15	5B 7B 15 17B	15	Unico	20	100%	4
15	5B 7B 15	17	Baixo	9	45%	9
15	5B 7B 15 17B					
15	5B 7B 15 17B					
15	5B 7B 15 17B					
15	5B 7B 15 6B 17B					
Valor dedutível total:					33	
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):					2	
Valor dedutível corrigido (VDC):					27	
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):					73	
Conceito:					Muito Bom	

Amostra: 03		Segmento		km	125,84	ao	km	125,89	Sentido: Decrescente	
Testemunho: CP 5.10										
		Tipos de defeitos		Grau de severidade		Nº de placas afetadas		% de placas afetadas		Valor dedutível
15 12A	5B 7M 11 15 12A	1		Baixo		2		10%		8
7B 15	5B 7M 11 15 12A	5		Baixo		10		50%		2
15 12A	5B 7M 11 15 12A	6		Baixo		1		5%		0
15 12A	5B 7B 11 6B 15 12A	7		Baixo		8		40%		16
15 17B 12A	5B 7B 1B 11 15 12A	7		Médio		6		30%		19
7B 15 12A	5B 7B 11 1B 15 12A	7		Alto		1		5%		7
7B 15	5B 7M 11 15 12A	11		Unico		10		50%		25
7B 15 12A	5B 7A 11 15	12		Baixo		1		5%		6
7 15	5B 7M 11 15 12A 20	12		Alto		14		70%		81
7B 15	5B 7M 11 15 12B 20	15		Unico		20		100%		4
		17		Baixo		1		5%		1
Valor dedutível total:										169

ICP 2016					
Pavimento: BR-101/PB - Lote 05		Total de amostras: 30		Data: set/16	
Tipos de defeitos					
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível			
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação			
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica			
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto			
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcimento de juntas			
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina			
		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):	7		
		Valor dedutível corrigido (VDC):	73		
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):	27		
		Conceito:	Ruim		
Amostra: 04					
Testemunho: NAO		Segmento	km 124,76	ao km 124,81	Sentido: Decrescente
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
7B 15	5B 7B 15 12A	1	Baixo	3	15%
7B 15	1B 5B 7B 15 12A	5	Baixo	10	50%
7B 15	5B 7M 15 12A	7	Baixo	15	75%
7B 15	1B 5B 7B 15 12A	7	Médio	5	25%
7B 15	5B 7B 15 12A	12	Baixo	1	5%
7M 15	5B 7B 15 12A	12	Alto	9	45%
7B 15	5B 7M 15 12A	15	Unico	20	100%
7B 15	1B 5B 7M 15 12A				
7M 15	5B 7B 15 12B				
7B 15	5B 7B 15 12A				
		Valor dedutível total:			
		131			
		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):			
		5			
		Valor dedutível corrigido (VDC):			
		65			
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):			
		35			
		Conceito:			
		Ruim			
Amostra: 05					
Testemunho: CP 5.2		Segmento	km 123,54	ao km 123,60	Sentido: Decrescente
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
3B 7M 15 17B	3A	3	Baixo	7	35%
5B 3B 7M 15 17B	3A	3	Médio	3	15%
5B 3B 7M 15	3A	3	Alto	3	15%
5B 7B 15 14A 17B	3M	5	Baixo	11	55%
14A 15 5B	3M	7	Baixo	5	25%
5B 7B 15 17B	3M	7	Médio	4	20%
5B 7M 15 17B	5B 3B 7A 15 11	7	Alto	4	20%
7B 5B 15 17B	5B 3B 7A 15 11	11	Unico	4	20%
7B 15	5B 3B 7A 15 11	14	Alto	2	10%
7B 15	5B 7A 15 3B 11	15	Unico	14	70%
		17	Baixo	6	30%
		Valor dedutível total:			
		180			
		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):			
		9			
		Valor dedutível corrigido (VDC):			
		77			
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):			
		23			
		Conceito:			
		Muito Ruim			
Amostra: 06					
Testemunho: CP 5.3		Segmento	km 122,34	ao km 122,40	Sentido: Decrescente
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
7B 15 17B	5B 7M 15 11	5	Baixo	10	50%
7B 15	5B 7B 15 17B	7	Baixo	17	85%
7B 15	5B 7B 15	7	Médio	3	15%
7B 15	5B 7B 15 17B	9	Baixo	1	5%
7B 15 9B	5B 7B 15				

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 05	Total de amostras: 30	Data: set/16
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

7B 15	5B 7M 15 12B	11	Unico	1	5%	3
7B 15	5B 7B 15	12	Baixo	2	10%	12
7B 15	5B 7B 15	15	Unico	20	100%	4
7B 15	5B 7B 15 12B	17	Baixo	3	15%	4
7B 15	5B 7M 15	Valor dedutível total:				57
		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				3
		Valor dedutível corrigido (VDC):				37
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):				63
		Conceito:				Bom

Amostra: 07		Segmento km 121,20 ao km 121,26 Sentido: Decrescente				
Testemunho: NAO		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
7B 15	7B 5B 15	5	Baixo	2	10%	2
7B 15	7B 5B 15 17B	7	Baixo	20	100%	22
7B 15	7B 15 17B	15	Unico	20	100%	4
7B 15	7B 15	17	Baixo	2	10%	3
7B 15	7B 15	17	Médio	1	5%	2
7B 15	7B 15					
7B 15	7B 15 17M					
7B 15	7B 15					
7B 15	7B 15					
Valor dedutível total:						33
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						1
Valor dedutível corrigido (VDC):						33
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						68
Conceito:						Bom

Amostra: 08		Segmento km 119,23 ao km 119,28 Sentido: Decrescente				
Testemunho: CP 5.4						
7M 15	3A	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
7B 15	3A	3	Baixo	3	15%	15
7B 15	3M	3	Médio	1	5%	12
7B 15	3A	3	Alto	9	45%	71
3B 7B 15	3A	7	Baixo	7	35%	14
7B 15	3A	7	Médio	3	15%	11
7B 15	3A	15	Unico	10	50%	3
3B 7B 15 17B	3A	17	Baixo	3	15%	4
7M 15 17B	3A	Valor dedutível total:				130
3B 7M 15 17B	3A	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				5
		Valor dedutível corrigido (VDC):				65
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):				35
		Conceito:				Ruim

Amostra: 09		Segmento km 118,07 ao km 118,12 Sentido: Decrescente				
Testemunho: NAO		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
7B 15	5B 7M 11 12B 15	5	Baixo	2	10%	2
7B 15	7M 15	7	Baixo	11	55%	18
7B 15	7M 15	7	Médio	8	40%	24

ICP 2016

Pavimento: BR-101/P8 - Lote 05	Total de amostras: 30	Data: set/16
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

7B 15	7B 15 20	11	Unico	1	5%	3
15	7M 15 12M	12	Baixo	1	5%	6
7B 15	7B 15 17B 20	12	Médio	1	5%	11
7B 15	5B 7M 15 17B	15	Unico	20	100%	4
7B 15	7M 15 17B	17	Baixo	4	20%	5
7B 15	7M 15 17B	Valor dedutível total:				73
		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)				4
		Valor dedutível corrigido (VDC):				43
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):				57
		Conceito:				Bom

Amostra: 10		Segmento						km	116,99	ao	km	117,04	Sentido: Decrescente	
Testemunho: NAO														

Amostra: 11		Segmento						km	115,90	ao	km	115,96	Sentido: Decrescente	
Testemunho: CP 5.5														
7B 15	5B 7B 15			Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível						
7B 15	5B 7B 15			5	Baixo	10	50%	2						
7B 15	5B 7B 15			6	Baixo	1	5%	0						
7B 15	5B 7M 15			7	Baixo	14	70%	20						
7M 15	5B 7B 15 11			7	Médio	6	30%	19						
7M 15	5B 7M 6B 11 15			11	Unico	2	10%	6						
7B 15	5B 7M 15			15	Unico	20	100%	4						
7B 15	5B 7B 15													
7B 15	5B 7B 15													
7B 15	5B 7B 15													
Valor dedutível total:								52						
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)								3						
Valor dedutível corrigido (VDC):								34						
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):								66						
Conceito:								Bom						

Amostra: 12								
Testemunho: NAO		Segmento	km	114,83	ao	km	114,88	Sentido: Decrescente
7M 15	5B 7B 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor deduzível		
7M 15	5B 7B 15	5	Baixo	10	50%	2		

ICP 2016

Pavimento: BR-101/P8 - Lote 05	Total de amostras: 30	Data: set/16
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

7B 15	5B 7B 15 17B	7	Baixo	15	75%	20
7B 15	5B 7B 15	7	Médio	5	25%	17
7M 15	5B 7B 15	9	Baixo	1	5%	0
7B 15	5B 7B 15	15	Unico	20	100%	4
7M 15	5B 7B 15	17	Baixo	2	10%	3
7B 15 9B	5B 7B 15					
7B 15	5B 7B 15					
7B 15	5B 7M 15 17B					
Valor dedutível total:						46
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						2
Valor dedutível corrigido (VDC):						37
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						63
Conceito:						Bom

Amostra: 13		Segmento	km	113,75	ao	km	113,80	Sentido: Decrescente
Testemunho: CP 5.11								
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		
15 17B	5B 7B 15 17B	5	Baixo	10	50%	2		
7B 15	5B 7B 15 17B	7	Baixo	15	75%	20		
7B 15	5B 7M 15 17B	7	Médio	1	5%	4		
7B 15	5B 15 17B	15	Unico	20	100%	4		
7B 15	5B 15	17	Baixo	6	30%	7		
7B 15	5B 7B 15 17B							
7B 15	5B 7B 15							
15	5B 7B 15							
7B 15	5B 7B 15							
7B 15	5B 7B 15							
Valor dedutível total:						37		
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						2		
Valor dedutível corrigido (VDC):						30		
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						70		
Conceito:						Bom		

Amostra: 14		Segmento	km	112,67	ao	km	112,72	Sentido: Decrescente
Testemunho: NAO								
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		
15	5B 15	5	Baixo	10	50%	2		
15 17B	5B 15	15	Unico	20	100%	4		
15	5B 15	17	Baixo	1	5%	1		
15	5B 15							
15	5B 15							
15	5B 15							
15	5B 15							
15	5B 15							
15	5B 15							
15	5B 15							
15	5B 15							
Valor dedutível total:						7		
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						0		
Valor dedutível corrigido (VDC):						7		
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						93		
Conceito:						Excelente		

Amostra: 15		Segmento	km	111,59	ao	km	111,64	Sentido: Decrescente
Testemunho: NÃO								
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 05	Total de amostras: 30	Data: set/16
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

7B 15	15	5	Baixo	4	20%	2
7B 15	15	7	Baixo	6	30%	13
15	15 17B	15	Unico	20	100%	4
15	7B 15	17	Baixo	2	10%	3
15	5B 15					
7B 15	15					
15	5B 15					
7B 15	5B 15 17B					
15	5B 15					
7B 15	15					
Valor dedutível total:						22
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						1
Valor dedutível corrigido (VDC):						22
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						78
Conceito:						Muito Bom

Amostra: 16		Segmento	km	110,51	ao	km	110,56	Sentido: Decrescente
Testemunho: CP 5.6		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		
7B 15	5B 7M 15	5	Baixo	10	50%	2		
15	5B 7M 15 17B	6	Baixo	2	10%	1		
15	5B 7B 15 17B 20	7	Baixo	9	45%	17		
15	5B 7B 15 17B	7	Médio	2	10%	8		
15	5B 6B 7B 15 17B	15	Unico	20	100%	4		
15 17B	5B 7B 6B 15 17B	17	Baixo	12	60%	10		
15	5B 7B 15 17B							
15 17B	5B 15 7B 17B							
15 17B	5B 7B 15 17B							
15 17B	5B 7B 15							
Valor dedutível total:						41		
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						3		
Valor dedutível corrigido (VDC):						27		
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						74		
Conceito:						Muito Bom		

Amostra: 17		Segmento	km	109,43	ao	km	109,48	Sentido: Decrescente
Testemunho: NAO		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		
15 17B	5B 7B 15	5	Baixo	9	45%	2		
15	5B 15	7	Baixo	7	35%	14		
15	5B 7B 15 17B	15	Unico	20	100%	4		
15	5B 7B 15	17	Baixo	7	35%	8		
15	5B 7B 15 17B							
15	5B 7B 15 17B							
15 17B	5B 15							
7B 15	5B 15							
15	15 17B							
Valor dedutível total:						28		
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						2		
Valor dedutível corrigido (VDC):						23		
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						78		
Conceito:						Muito Bom		

Amostra: 18		Segmento	km	108,35	ao	km	108,40	Sentido: Decrescente
Testemunho: NAO		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		

ICP 2016

Pavimento: BR-101/P8 - Lote 05	Total de amostras: 30	Data: set/16
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

7B 15	15 20	5	Baixo	2	10%	2
7B 15	7B 15	7	Baixo	8	40%	16
7B 15	15 17B	11	Unico	1	5%	3
15	5B 15	15	Unico	20	100%	4
7B 15	5B 15 11	17	Baixo	2	10%	3
15	15					
15	15 17B					
7B 15	15					
7B 15	15					
15	7B 15					
Valor dedutível total:						28
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						1
Valor dedutível corrigido (VDC):						28
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						72
Conceito:						Muito Bom

Amostra: 19		Segmento	km	107,27	ao	km	107,32	Sentido: Decrescente
Testemunho: CP 5.12								
15	7B 15 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		
15 17B	7B 15	5	Baixo	3	15%	2		
15	7M 15	7	Baixo	10	50%	18		
15	7B 15 20	7	Médio	1	5%	4		
15	5B 7B 15	14	Baixo	1	5%	1		
15	7B 5B 15 20	15	Unico	19	95%	4		
15	7B 15 17B	17	Baixo	3	15%	4		
15	7B 15 17M	17	Médio	1	5%	2		
15	7B 14B							
7B 15	7B 5B 15							
Valor dedutível total:						34		
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						1		
Valor dedutível corrigido (VDC):						34		
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						66		
Conceito:						Bom		

Amostra: 20		Segmento	km	106,19	ao	km	106,24	Sentido: Decrescente
Testemunho: NAO								
7B 15	5B 7M 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		
7B 15	7B 15	5	Baixo	8	40%	2		
7B 15	5B 7B 15	7	Baixo	17	85%	21		
7B 15	7B 15	7	Médio	1	5%	4		
7B 15	5B 7B 15	15	Unico	20	100%	4		
15	5B 7B 15							
7B 15	5B 7B 15							
7B 15	5B 7B 15							
7B 15	5B 7B 15							
7B 15	5B 7B 15							
7B 15	5B 15							
Valor dedutível total:						31		
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						1		
Valor dedutível corrigido (VDC):						31		
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						69		
Conceito:						Bom		

Amostra: 21		Segmento	km	105,11	ao	km	105,16	Sentido: Decrescente
Testemunho: NAO								

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 05 Total de amostras: 30 Data: set/16

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esbordamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
15	5B 15	5	Baixo	9	45%	2
15	5B 7A 15	7	Baixo	8	40%	16
7B 15	5B 7A 15	7	Médio	2	10%	8
7B 15	5B 7M 15	7	Alto	2	10%	14
7B 15	5B 7M 15	11	Unico	1	5%	3
15	5B 7B 15	15	Unico	20	100%	4
15	5B 7B 15 17B	17	Baixo	3	15%	4
15	5B 7B 11 15 17B					
7B 15	7B 15					
15	5B 15 17B					
Valor dedutível total:						50
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						3
Valor dedutível corrigido (VDC):						33
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						67
Conceito:						Bom

Amostra: 22

Testemunho: CP 5.7

Segmento km 104,03 ao km 104,08 Sentido: Decrescente

		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
7B 15	7B 15	5	Baixo	6	30%	2
7B 15	7B 15	7	Baixo	16	80%	21
7B 15	5B 7B 15	7	Médio	1	5%	4
7B 15	7B 15	15	Unico	20	100%	4
7B 15	15					
7B 15	5B 7B 15					
7B 15	7M 5B 15					
7B 15	5B 7B 15 20					
7B 15	5B 15					
7B 15	5B 15					
Valor dedutível total:						31
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						1
Valor dedutível corrigido (VDC):						31
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						69
Conceito:						Bom

Amostra: 23

Testemunho: NAO

Segmento km 102,95 ao km 103,00 Sentido: Decrescente

Sistema de Avaliação		Segmento	Valor	Valor	Valor	Valor
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
9B 15	5B 7M 15	5	Baixo	6	30%	2
15	5B 7B 15 17B	7	Baixo	6	30%	13
5B 15 17B	5B 15 17B	7	Médio	1	5%	4
15	7A 15	7	Alto	2	10%	14
15	7A 15	9	Baixo	1	5%	0
15	7B 15	10	Unico	1	5%	1
10 15	7B 15	15	Unico	20	100%	4
15	5B 7B 15	17	Baixo	3	15%	4
15	5B 7B 15					
15	7B 15					
Valor dedutível total:						42
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						2
Valor dedutível corrigido (VDC):						34

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 05 **Total de amostras:** 30 **Data:** set/16

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):	66
Conceito:	Bom

Amostra: 24		Segmento	km	101,87	ao	km	101,92	Sentido:	Decrescente
Testemunho: NAO									
Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível					
15	7M 15	5	Baixo	7	35%	2			
7B 15	5B 7B 15	7	Baixo	11	55%	18			
15	5B 15 17B	7	Médio	1	5%	4			
15	7B 15 17B	9	Baixo	2	10%	1			
15	5B 7B 15 17B	15	Unico	20	100%	4			
15	5B 7B 15	17	Baixo	4	20%	5			
9B 15	5B 15 9B 17B								
7B 15	7B 15								
7B 15	5B 7B 15								
7B 15	5B 7B 15								
Valor dedutível total:						34			
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						1			
Valor dedutível corrigido (VDC):						34			
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						66			
Conceito:						Bom			

Amostra: 25		Segmento	km	100,79	ao	km	100,84	Sentido:	Decrescente
Testemunho: NAO									
Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível					
7B 15	5B 15 6B	5	Baixo	10	50%	2			
7B 15	5B 7B 15	6	Baixo	4	20%	1			
7B 15	5B 7B 15	7	Baixo	15	75%	20			
7B 15	5B 7B 15	15	Unico	20	100%	4			
15	5B 7B 15	17	Baixo	3	15%	4			
7B 15	5B 7B 15 6B 17B								
7B 15	5B 7B 15 17B								
15	5B 7B 15 17B								
15	5B 7B 15 6B								
15	5B 7B 6B 15								
Valor dedutível total:						32			
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						1			
Valor dedutível corrigido (VDC):						32			
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						68			
Conceito:						Bom			

Amostra: 26		Segmento	km	99,71	ao	km	99,76	Sentido:	Decrescente
Testemunho: CP 5.8									
Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível					
7M 15	5B 7M 15 17B	5	Baixo	9	45%	2			
7B 15	7M 15	7	Baixo	9	45%	17			
7B 15	5B 7A 15 12B	7	Médio	10	50%	27			
7B 15	5B 7M 15 12B	7	Alto	1	5%	7			
7B 15	5B 7M 15	11	Unico	1	5%	3			
7B 15	5B 7M 15	12	Baixo	4	20%	21			
7B 15	5B 7M 15	15	Unico	20	100%	4			
7B 15	5B 7M 15	17	Baixo	2	10%	3			
7B 15	5B 7M 15 17B 12B								

ICP 2016

Pavimento: BR-101/PB - Lote 05	Total de amostras: 30	Data: set/16
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

	Valor dedutível total:	84
	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):	4
	Valor dedutível corrigido (VDC):	49
	Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):	51
	Conceito:	Razoavel

Amostra: 27		Segmento km 98,63 ao km 98,68 Sentido: Decrescente				
Testemunho: NÃO						
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
15	7B 15 6B	5	Baixo	9	45%	2
15	5B 7B 15 6B	6	Baixo	10	50%	3
15	6B 5B 7M 15	7	Baixo	10	50%	18
15	5B 6B 7A 15 20	7	Médio	4	20%	14
7B 15	5B 6B 7B 15	7	Alto	2	10%	14
7B 15	5B 6B 7B 15	11	Unico	3	15%	9
7B 15	5B 7M 15 6B	15	Unico	20	100%	4
7B 15	6B 5B 7M 15 11					
7B 15	5B 6B 7M 15 11					
7B 15	5B 7A 15 6B 11					
Valor dedutível total:						64
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						4
Valor dedutível corrigido (VDC):						38
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						62
Conceito:						Bom

Amostra: 28		Segmento km 97,55 ao km 97,60 Sentido: Decrescente				
Testemunho: NÃO						
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
7B 15	5B 6B 7M 15	5	Baixo	10	50%	2
7B 15	5B 7B 15 6B	6	Baixo	10	50%	3
7B 15	5B 6B 7B 15	7	Baixo	19	95%	22
7B 15	5B 6B 7B 15 17B	7	Médio	1	5%	4
7B 15	5B 6B 7B 15	15	Unico	20	100%	4
7B 15	5B 6B 7B 15	17	Baixo	1	5%	1
7B 15	5B 6B 7B 15					
7B 15	5B 6B 7B 15					
7B 15	6B 5B 7B 15					
Valor dedutível total:						36
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						1
Valor dedutível corrigido (VDC):						36
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						64
Conceito:						Bom

Amostra: 29		Segmento km 96,47 ao km 96,52 Sentido: Decrescente				
Testemunho: NÃO						
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
7B 15	5B 3B 7B 15 17B	3	Baixo	1	5%	6
7B 15	5B 6B 7M 15	5	Baixo	10	50%	2
7B 15	5B 6B 7B 15	6	Baixo	7	35%	2
7B 15	5B 6B 7B 15	7	Baixo	14	70%	20
7B 15	5B 6B 7M 15 12B	7	Médio	6	30%	19

ICP 2016

Pavimento: BR-101/P8 - Lote 05	Total de amostras: 30	Data: set/16
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

7B 15	5B 6B 7M 15 12B	12	Baixo	2	10%	12
7B 15	5B 6B 7M 15	15	Unico	20	100%	4
7B 15	5B 7M 15	17	Baixo	1	5%	1
7B 15	5B 7M 15					
Valor dedutível total:						66
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						4
Valor dedutível corrigido (VDC):						40
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						60
Conceito:						Bom

Amostra: 30		Segmento km 95,72 ao km 95,77 Sentido: Decrescente				
Testemunho: CP 5.9						
15	5B 6B 7M 15 12B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
15 17B	5B 6B 7B 15 17B	5	Baixo	10	50%	2
15	5B 6B 7B 15 17B	6	Baixo	8	40%	3
7B 15	5B 6B 7B 15 17B	7	Baixo	12	60%	19
7B 15	5B 6B 7M 15 12B	7	Médio	3	15%	11
7B 15	5B 7B 15 8A 19A	7	Alto	2	10%	14
7B 15 20 17B	5B 7B 15 8A 17B 19A	8	Alto	2	10%	16
7M 15	5B 6B 7A 15	11	Unico	2	10%	6
7B 15	5B 6B 7A 11 15	12	Baixo	2	10%	12
7B 15 17B	5B 6B 7B 11 15	15	Unico	20	100%	4
		17	Baixo	7	35%	8
Valor dedutível total:						94
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						7
Valor dedutível corrigido (VDC):						41
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						59
Conceito:						Bom

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 03 Total de amostras: 16 Data: nov/19

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

Amostra: 01					
Testemunho: CP 3.1 Segmento: km 5,24 ao km 5,30 Sentido: Crescente					
5M 6B 7M 10 11 15	5M 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
5M 11 15 17B	5M 15	2	Médio	1	5%
5M 6B 11 15	5M 15 17B	3	Médio	2	10%
5M 6B 7M 11 15	5M 15	5	Médio	18	90%
5M 6B 7A 10 11 15 17	5M	6	Baixo	5	25%
3M	5M 17M	7	Médio	3	15%
3M	5M 17B	7	Alto	2	10%
5M 7A 10 11 20	5M	10	Unico	4	20%
5M 7M 10 15 17B	5M 17B	11	Unico	7	35%
2M 5M 6B 11 15	5M	15	Unico	11	55%
		17	Baixo	6	30%
		17	Médio	1	5%
		Valor dedutível total:			92
		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):			6
		Valor dedutível corrigido (VDC):			41
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):			60
		Conceito:			Bom

Amostra: 02					
Testemunho: CP 3.10 Segmento: km 6,62 ao km 6,68 Sentido: Crescente					
3B 5M 7M 11 16B	5M 7M	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
3M	5M 7A	3	Baixo	3	15%
3B 5M 7A 11 12B 20	5M	3	Médio	3	15%
5M 7A 11 17B 20	5M 7M	3	Alto	3	15%
3M	5M 7A	4	Médio	1	5%
3A	5M 7A	5	Médio	14	70%
3B 4M 5M 7M 11 16B	5M 7A	7	Médio	5	25%
3M	5M 7A	7	Alto	8	40%
3A	5M 7A	11	Unico	4	20%
3A	5M 7M	12	Baixo	1	5%
		16	Baixo	2	10%
		17	Baixo	1	5%
		Valor dedutível total:			168
		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):			8
		Valor dedutível corrigido (VDC):			72
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):			28
		Conceito:			Ruim

Amostra: 04					
Testemunho: CP 3.11 Segmento: km 9,38 ao km 9,44 Sentido: Crescente					
5M 7M 11 16B 17A	5M 7M 15 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
5M 7M 11 15	5M 15	2	Baixo	1	5%
5M 6B 7M 11 17B	5M 15	2	Médio	1	5%
2B 5M 6B 7M 11	5M 15	5	Médio	20	100%
5M 6B 11 15	5M 7B 15	6	Baixo	4	20%
5M 11 15 16B	5M 15	7	Baixo	2	10%
5M 11 15 17M	5M 15	7	Médio	5	25%
5M 11 15 17B	5M 15	10	Unico	1	5%

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 03	Total de amostras: 16	Data: nov/19
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos					
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível			
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação			
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica			
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto			
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esbordamento de juntas			
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina			

5M 10 11 15 17B	5M 15	11	Unico	10	50%	25
2M 5M 6B 11 15 17B	5M 15	15	Unico	16	80%	3
		16	Baixo	2	10%	2
		17	Baixo	4	20%	5
		17	Médio	1	5%	2
		17	Alto	1	5%	4
Valor dedutível total:						83
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						4
Valor dedutível corrigido (VDC):						49
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						51
Concelto:						Razoavel

Amostra: 06						
Testemunho: CP 3.2		Segmento	km	12,86	ao	km 12,91 Sentido: Crescente
5M 6B 7A 15 16B 17B	5M 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 6B 7A 17B	5M 15	5	Médio	20	100%	4
5M 6B 7A 15 16B 17B	5M 10 15 17B	6	Baixo	6	30%	2
5M 6B 7A 15 16B 17B	5M 7B 15 17B	7	Baixo	2	10%	5
5M 7A 15 16B 17B	5M 7B 15	7	Médio	1	5%	4
5M 7A 17B	5M 7M 17B	7	Alto	10	50%	48
5M 7A	5M 15 17B	10	Unico	2	10%	2
5M 7A 15 16B 17B	5M 10 15 17B	15	Unico	16	80%	3
5M 6B 7A 15 16B 17B	5M 15	16	Baixo	7	35%	7
5M 6B 7A 15 16B	5M 15	17	Baixo	13	65%	11
Valor dedutível total:						86
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						4
Valor dedutível corrigido (VDC):						51
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						50
Concelto:						Razoavel

Amostra: 08						
Testemunho: CP 3.3		Segmento	km	15,62	ao	km 15,67 Sentido: Crescente
5M 7B 11 15 17M	5M 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 11 17B	5M 17B	2	Médio	1	5%	8
5M 7M 11 17B	5M	5	Médio	20	100%	4
5M 7A 11 17B	5M 17B	7	Baixo	1	5%	3
5M 7M 11	5M	7	Médio	4	20%	14
2M 5M 7M 11 12B	5M	7	Alto	2	10%	14
5M 7M 11 15	5M	11	Unico	10	50%	25
5M 11 16B	5M 17M	12	Baixo	1	5%	6
5M 11	5M 17B	15	Unico	2	10%	0
5M 7A 11	5M	16	Baixo	1	5%	1
		17	Baixo	7	35%	8
		17	Médio	2	10%	4
Valor dedutível total:						86
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						6
Valor dedutível corrigido (VDC):						38
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						62
Concelto:						Bom

Amostra: 09						
-------------	--	--	--	--	--	--

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 03 Total de amostras: 16 Data: nov/19

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

Testemunho: NAO		Segmento	km	17,00	ao	km	17,05	Sentido: Crescente
3B 5M 6M 7A 11	5M	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor deduzível		
3M	5M	3	Baixo	2	10%	11		
3M	5M	3	Médio	2	10%	19		
5M 6M 7M 11 17B	5M 7B	4	Médio	2	10%	12		
5M 6M 7M 11	5M	5	Médio	18	90%	4		
4M 5M 6A 7M 11 18B	4M 5M 16B	6	Médio	4	20%	8		
5M 6A 7M 11 15	5M	6	Alto	4	20%	15		
3B 5M 6A 7M 11 17A	5M	7	Baixo	1	5%	3		
5M 6A 7M 11 17A	5M 17B	7	Médio	7	35%	21		
5M 6M 7M 11 17M	5M	7	Alto	1	5%	7		
		11	Unico	8	40%	21		
		15	Unico	1	5%	0		
		16	Baixo	1	5%	1		
		17	Baixo	2	10%	3		
		17	Médio	1	5%	2		
		17	Alto	2	10%	9		
		18	Baixo	1	5%	2		
Valor dedutível total:						135		
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						9		
Valor dedutível corrigido (VDC):						59		
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						41		
Conceito:						Razoável		

Amostra: 12		Segmento	km	38,77	ao	km	38,83	Sentido: Decrescente
Testemunho: CP 3.12								
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		
	3M	3	Baixo	8	40%	32		
	3A	3	Médio	8	40%	48		
3B 5M 7M	3M	3	Alto	1	5%	17		
3B 5M 7B	3M	5	Médio	8	40%	4		
3B 5M 7M	3M	7	Baixo	2	10%	5		
	3M	7	Médio	6	30%	19		
3B 5M 7B	3M	8	Médio	1	5%	4		
3B 5M 7M	3M	Valor dedutível total:					129	
3B 5M 7M	3B 5M 7M 8M	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)					5	
							Valor dedutível corrigido (VDC):	65
							Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):	35
							Conceito:	Ruim

Amostra: 14		Segmento	km	36,01	ao	km	36,07	Sentido: Decrescente		
Testemunho: CP 3.4										
5M	3M	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor deduzível				
5M	3M	3	Baixo	1	5%	6				
5M 15	3B 5M 7A 11 15	3	Médio	2	10%	19				
5M	5M 7A 15	5	Médio	18	90%	4				
5M 17B	5M 7A 11 15	6	Baixo	1	5%	0				
5M	5M 7A 11 15	7	Alto	8	40%	42				
5M 17B	5M 7A 11 15	10	Unico	1	5%	1				
5M 17B	5M 7A 15 17B	11	Unico	6	30%	17				

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 03 Total de amostras: 16 Data: nov/19

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcimento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

5M 10 17B	5M 6B 7A 11 16B 17B	15	Unico	8	40%	2
5M 17B	5M 7A 11 15 17B	16	Baixo	1	5%	1
		17	Baixo	8	40%	8
Valor dedutível total:						100
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						5
Valor dedutível corrigido (VDC):						51
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						50
Concelto:						Razoável

Amostra: 15		Segmento	km	34,63	ao	km	34,69	Sentido: Decrescente		
Testemunho: NAO										
5M	5M 6M 7A 11 15 16B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível				
5M	5M 6M 11 15 20	5	Médio	20	100%	4				
5M	5M 6M 11 14B 15	6	Médio	9	45%	14				
5M	5M 6M 11 15	6	Alto	1	5%	4				
5M 15	5M 6A 11 14B 17B	7	Alto	1	5%	7				
5M	5M 6M 11 14B 15	11	Unico	10	50%	25				
5M 17B	5M 6M 11 15 20	14	Baixo	3	15%	3				
5M	5M 6M 11 15	15	Unico	10	50%	3				
5M 20	5M 6M 11 15 17B	16	Baixo	1	5%	1				
5M	5M 6M 11 15 17B	17	Baixo	4	20%	5				
Valor dedutível total:						66				
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						3				
Valor dedutível corrigido (VDC):						43				
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						57				
Concelto:						Bom				

Amostra: 17		Segmento	km	31,67	ao	km	31,73	Sentido: Decrescente		
Testemunho: CP 3.5										
3B 5M 7B 15	3A	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível				
3B 5M 7B 15	3A	3	Baixo	6	30%	27				
3B 5M 7B 15	3A	3	Médio	3	15%	25				
5M 7A 15	3M	3	Alto	8	40%	67				
5M 7A 10 15 16B	3A	5	Médio	9	45%	4				
5M 7B 14B 15 16B	3A	7	Baixo	4	20%	10				
3B 5M 10 14B	3M	7	Alto	2	10%	14				
3B 5M 14B	3A	10	Unico	2	10%	2				
3B 5M 14B	3A	14	Baixo	4	20%	4				
3M	3A	15	Unico	6	30%	2				
		16	Baixo	2	10%	2				
Valor dedutível total:						156				
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						5				
Valor dedutível corrigido (VDC):						76				
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						24				
Concelto:						Muito Ruim				

Amostra: 20		Segmento	km	27,73	ao	km	27,79	Sentido: Decrescente		
Testemunho: CP 3.6										
3B 5M 7B 15	3A	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível				
5M 7B 15	3A	3	Baixo	1	5%	6				

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 03 Total de amostras: 16 Data: nov/19

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esbordamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

5M 7B	3A	3	Alto	10	50%	74
5M 7B	3A	5	Médio	10	50%	4
5M 15	3A	7	Baixo	4	20%	10
5M	3A	15	Unico	4	20%	1
5M	3A					
5M	3A					
5M 20	3A					
5M 15	3A					
Valor dedutível total:						94
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						3
Valor dedutível corrigido (VDC):						59
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						41
Conceito:						Razoável

Amostra: 22
Testemunho: NAO

		Segmento	km	24,97	ao	km	25,03	Sentido: Decrescente	
Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível					
5M	5M 6B 7A 11 15 17B	3	Baixo	3	15%	15			
5M	5M 6M 7A 11 17B	3	Médio	1	5%	12			
5M 15 17B	5M 6M 7A 11 16B 17B	4	Baixo	2	10%	8			
5M 15 17B	5M 6M 7A 11 16B 17B	5	Médio	19	95%	4			
5M 15	3B 5M 6A 7M 11 17B	6	Baixo	3	15%	1			
5M 15 17B	3B 5M 6A 7M 11 15 17B	6	Médio	4	20%	8			
5M 10 15 17B	3M	6	Alto	2	10%	8			
5M 15 17B	3B 5M 6M 7M 11 15 17B	7	Médio	4	20%	14			
5M 15 17B	4B 5M 6B 7A 11 15 17B	7	Alto	5	25%	30			
5M 15 17B	4B 5M 6B 7M 11 17B	10	Unico	1	5%	1			
		11	Unico	9	45%	23			
		15	Unico	12	60%	3			
		16	Baixo	2	10%	2			
		17	Baixo	16	80%	12			
Valor dedutível total:						141			
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						9			
Valor dedutível corrigido (VDC):						62			
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						39			
Conceito:						Ruim			

Amostra: 24		Segmento		km	22,21	ao	km	22,27	Sentido: Decrescente	
Testemunho: CP 3.7										
5M 7B 15	3A	Tipos de defeitos		Grau de severidade		Nº de placas afetadas		% de placas afetadas		Valor dedutível
5M	3B 5M 7B 15	3		Baixo		1		5%		6
5M	3M	3		Médio		4		20%		30
5M	3M	3		Alto		5		25%		51
5M	3M	5		Médio		11		55%		4
5M 7B 17M	3A	7		Baixo		3		15%		8
5M	3A	15		Unico		2		10%		0
5M	3M	17		Baixo		1		5%		1
5M 17B	3A	17		Médio		1		5%		2
5M	3A									
Valor dedutível total:										102
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):										4
Valor dedutível corrigido (VDC):										59
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):										41

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 03	Total de amostras: 16	Data: nov/19
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

	Conceito: Razoável
--	---------------------------

Amostra: 25		Segmento	km	20,83	ao	km	20,89	Sentido: Decrescente
Testemunho: NAO								
3B 5M 7M	3M	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		
5M 7B 16A	3M	1	Baixo	2	10%	8		
5M 7B 17B	5M 7A	1	Médio	1	5%	7		
5M 7A	5M 7A	3	Baixo	7	35%	30		
5M 7A 16M	3B 5M 7M 17M	3	Médio	2	10%	19		
5M 7A 15	1B 3B 5M 7A 17M	4	Baixo	1	5%	6		
3B 5M 7A 15	1B 3B 4B 5M 7A 11 17M	5	Médio	18	90%	4		
5M 7B 17B	3B 5M 7A 11 12M 20	7	Baixo	4	20%	10		
5M 7A 15 17B	1M 5M 7A 11 15 18B	7	Médio	2	10%	8		
3B 5M 7B	5M 17B	7	Alto	11	55%	50		
		11	Unico	3	15%	9		
		12	Médio	1	5%	11		
		15	Unico	4	20%	1		
		16	Médio	1	5%	2		
		16	Alto	1	5%	4		
		17	Baixo	4	20%	5		
		17	Médio	3	15%	5		
		18	Baixo	1	5%	2		
		Valor dedutível total:					178	
		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)					11	
		Valor dedutível corrigido (VDC):					76	
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):					24	
		Conceito:					Muito Ruim	

Amostra: 28		Segmento	km	10,87	ao	km	10,93	Sentido: Decrescente
Testemunho: CP 3.8								
5M	5M 7A 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		
5M	3A	3	Baixo	2	10%	11		
5M	3A	3	Médio	2	10%	19		
3B 5M 7M 15 17B	3A	3	Alto	6	30%	57		
5M	3A	5	Médio	12	60%	4		
5M 15	3A	7	Médio	1	5%	4		
5M 10 15	3M	7	Alto	1	5%	7		
5M 15 17B	3A	10	Unico	1	5%	1		
5M 15	3B 5M 11 15 17B	11	Unico	1	5%	3		
5M 15 17B	3M	15	Unico	8	40%	2		
		17	Baixo	4	20%	5		
		Valor dedutível total:					113	
		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)					4	
		Valor dedutível corrigido (VDC):					64	
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):					36	
		Conceito:					Ruim	

Amostra: 29		Segmento	km	3,30	ao	km	3,35	Sentido: Decrescente
Testemunho: CP 3.9								
5M 15	3B 5M 10 11 15 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível		

ICP 2019						
Pavimento: BR-101/PB - Lote 03		Total de amostras: 16		Data: nov/19		
Tipos de defeitos						
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível				
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação				
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica				
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto				
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas				
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina				

5M	3A	3	Baixo	4	20%	19
5M 10 15 17B	5M 7B 10 11 15 17B	3	Alto	1	5%	17
5M 15	5M 11 15 17B	5	Médio	19	95%	4
5M 15	5M 11 15 17B	7	Baixo	1	5%	3
5M 15	3B 5M 7M 10 11 15	7	Médio	2	10%	8
5M 15	5M 11 15 20	7	Alto	1	5%	7
5M 15	5M 11 15 17B	10	Unico	4	20%	4
5M 15	3B 5M 7A 11 15	11	Unico	9	45%	23
5M 15 17B	3B 5M 7M 11 15	15	Unico	18	90%	4
		17	Baixo	7	35%	8
Valor dedutível total:					96	
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)					6	
Valor dedutível corrigido (VDC):					42	
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):					58	
Conceito:					Bom	

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 04 Total de amostras: 16 Data: nov/19

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

5M 7M 15 17B	5M 7M 15				
5M 7M 15 17B	4B 5M 7M 15				
5M 7M 15 17B	4B 5M 7M 15				
5M 7M 15	4B 5M 7M 15				
Valor dedutível total:					63
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):					3
Valor dedutível corrigido (VDC):					41
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):					59
Conceito:					Bom

Amostra: 07
Testemunho: CP 4.3 Segmento: km 50,82 ao km 50,86 Sentido: Crescente

5M 7M 11 15 17B	5M 7M 15 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 7M 15 17B	5M 7M 15 17B	5	Médio	20	100%	4
5M 7M 15 17B	5M 7M 15 17B	7	Baixo	10	50%	18
5M 7M 15 17B	5M 7M 15 17B	7	Médio	10	50%	27
5M 7M 10 15 17B	5M 7B 15	10	Único	6	30%	6
5M 7M 10 15 17B	5M 7B 15	11	Único	1	5%	3
5M 7B 10 15 17B	5M 7B 15 17B	15	Único	20	100%	4
5M 7B 10 15 17B	5M 7B 10 15 17B	17	Baixo	16	80%	12
5M 7B 10 15 17B 20	5M 7B 15 17B	Valor dedutível total:				73
5M 7B 15	5M 7B 15	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				4
		Valor dedutível corrigido (VDC):				44
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):				57
		Conceito:				Bom

Amostra: 09
Testemunho: NÃO Segmento: km 52,92 ao km 52,96 Sentido: Crescente

5M 7M 15 20	5M 7B 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 7M 15	5M 7B 15	5	Médio	20	100%	4
5M 7M 10 15	5M 7B 15 17M	6	Médio	1	5%	2
5M 7M 15 17B	5M 7B 15	7	Baixo	12	60%	19
5M 7B 15	5M 7B 15 17M	7	Médio	8	40%	24
5M 7B 15 17A	5M 7B 15 17A	10	Único	1	5%	1
5M 7M 15	5M 7B 15 17B	15	Único	20	100%	4
5M 7M 15	5M 7B 15	17	Baixo	4	20%	5
5M 7M 15 17B	5M 7B 15	17	Médio	2	10%	4
5M 6M 7M 15 17B	5M 7B 15	17	Alto	2	10%	9
		Valor dedutível total:				71
		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				3
		Valor dedutível corrigido (VDC):				46
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):				54
		Conceito:				Razoável

Amostra: 11
Testemunho: CP 4.4 Segmento: km 55,02 ao km 55,06 Sentido: Crescente

5M 7B 15 17B	5M 7B 15 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 7B 15	5M 7B 15 17B	5	Médio	20	100%	4
5M 7B 15 17B	5M 7B 15 17B	7	Baixo	17	85%	21
5M 7B 15 17B	5M 7B 15 17B	7	Médio	2	10%	8
5M 7M 15	5M 7B 15 17B	15	Único	20	100%	4

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 04	Total de amostras: 16	Data: nov/19
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

5M 7M 15 17B	5M 7B 15 17B	17	Baixo	15	75%	11
5M 7B 15 17B	5M 7B 15 17B	17	Médio	2	10%	4
5M 7B 15 17B	5M 7B 15 17B	Valor dedutível total:				52
5M 7B 15 17M	5M 7B 15 17B	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				3
5M 7B 15 17M	5M 15	Valor dedutível corrigido (VDC):				34
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						67
Conceito:						Bom

Amostra: 13		Segmento km 57,12 ao km 57,16 Sentido: Crescente					
Testemunho: NAO							
5M 6B 7M 10 12B 15 17B	5M 7B 10 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível	
5M 7M 12B 15 17B	5M 7B 10 15	5	Médio	20	100%	4	
5M 6B 7M 10 15 17B	5M 7M 15 17B	6	Baixo	7	35%	2	
5M 6B 7M 10 15 17B	5M 7B 15 17B	7	Baixo	7	35%	14	
5M 6B 7M 10 15 17B	5M 7M 10 15	7	Médio	13	65%	31	
5M 7M 10 15 17B	5M 7M 15 17M 20	10	Unico	15	75%	10	
5M 6B 7M 10 12B 15 17B	5M 7B 10 15 17B	12	Baixo	3	15%	17	
5M 6B 7M 10 15 17B	5M 7B 10 15 17B	15	Unico	20	100%	4	
5M 6B 7M 10 15 17B	5M 7B 10 15 17B	17	Baixo	16	80%	12	
5M 7M 15 17B	5M 7B 10 15 17B	17	Médio	1	5%	2	
Valor dedutível total:						95	
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						5	
Valor dedutível corrigido (VDC):						48	
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						52	
Conceito:						Razoável	

Amostra: 15		Segmento km 59,22 ao km 59,26 Sentido: Crescente					
Testemunho: CP 4.5							
5M 7M 15 17B	5M 7B 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível	
5M 7B 15	5M 7B 15	5	Médio	20	100%	4	
5M 7B 15	5M 7B 15	7	Baixo	16	80%	21	
5M 7B 15 17B	5M 7B 15	7	Médio	3	15%	11	
5M 7B 15 17B	5M 7B 15	15	Unico	20	100%	4	
5M 7B 15 17B	5M 7B 15	17	Baixo	8	40%	8	
5M 7B 15 17B	5M 7B 15						
5M 7B 15 17B	5M 7B 15						
5M 7M 15 17B	5M 7B 15	Valor dedutível total:				48	
5M 7M 15 17B	5M 15	Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				3	
		Valor dedutível corrigido (VDC):				31	
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):				69	
		Conceito:				Bom	

Amostra: 16						
Testemunho: CP 4.6		Segmento km 73,51 ao km 73,56 Sentido: Decrescente				
5M 14B 15 17B	5M 7B 12A 14M 15 16B 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 14B 15 17B	5M 7B 12M 14M 15 16B 17B	3	Baixo	1	5%	6
5M 14B 15 17B	5M 7B 12M 14M 15 17B	3	Médio	1	5%	12
5M 14B 15 17B 20	5M 7B 12B 14M 15 17B	5	Médio	19	95%	4
5M 7B 14B 15 17B	5M 7B 12B 14M 15 17B	7	Baixo	13	65%	20
5M 7B 14B 15 17B	5M 7B 12B 14M 15 17B	7	Médio	1	5%	4

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 04 Total de amostras: 16 Data: nov/19

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

5M 7B 14B 15 17B 20	5M 7M 12M 14M 15 17B	7	Alto	1	5%	7
3B 5M 7B 14B 15 17B	3M	12	Baixo	3	15%	17
5M 7B 14B 15 17M	5M 7B 12M 14M 15 17M	12	Médio	5	25%	41
5M 7B 14B 15 16B 17M	5M 7A 12M 14M 15 16B 17B	12	Alto	1	5%	12
		14	Baixo	10	50%	8
		14	Médio	9	45%	22
		15	Unico	19	95%	4
		16	Baixo	4	20%	4
		17	Baixo	16	80%	12
		17	Médio	3	15%	5
		Valor dedutível total:				177
		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				11
		Valor dedutível corrigido (VDC):				76
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):				24
		Conceito:				Muito Ruim

Amostra: 17

Testemunho: NAO

Segmento

km

72,41

ao

km

72,46

Sentido: Decrescente

Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5	Médio	20	100%	4
6	Baixo	2	10%	1
7	Baixo	9	45%	17
7	Médio	11	55%	29
10	Unico	2	10%	2
12	Baixo	4	20%	21
15	Unico	20	100%	4
16	Baixo	2	10%	2
17	Baixo	8	40%	8
Valor dedutível total:				87
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				4
Valor dedutível corrigido (VDC):				51
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):				49
Conceito:				Razoável

Amostra: 19		Segmento		km	70,21	ao	km	70,26	Sentido: Decrescente	
Testemunho: CP 4.7										
5M 7B	5M 7B 15	Tipos de defeitos		Grau de severidade		Nº de placas afetadas		% de placas afetadas		Valor dedutível
5M 7B	5M 7B 15	5		Médio		20		100%		4
5M 7B	5M 7B 15	7		Baixo		20		100%		22
5M 7B	5M 7B 15	10		Unico		4		20%		4
5M 7B 10	5M 7B 15	15		Unico		10		50%		3
5M 7B 10	5M 7B 15	17		Baixo		3		15%		4
5M 7B 10	5M 7B 10 15 17B									
5M 7B	5M 7B 15 17B									
5M 7B	5M 7B 15 17B									
5M 7B	5M 7B 15 20									
Valor dedutível total:										37
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):										1
Valor dedutível corrigido (VDC):										37
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):										63
Conceito:										Bom

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 04 Total de amostras: 16 Data: nov/19

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

Amostra: 20		Segmento	km	69,11	ao	km	69,16	Sentido: Decrescente
Testemunho: CP 4.8								
5M 7B 17B	5M 7B 15 17B	Tipos de defeitos		Grau de severidade		Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 7B 17B	5M 7B 10 15 17B	5		Médio		20	100%	4
5M 7B 17B	5M 7B 10 15 17B	6		Baixo		1	5%	0
5M 7B 17B	5M 7B 10 15 17B	7		Baixo		20	100%	22
5M 7B	5M 7B 15	10		Unico		6	30%	6
5M 7B	5M 7B 15 17B	15		Unico		10	50%	3
5M 7B 10	5M 7B 15 17B	17		Baixo		14	70%	11
5M 7B	5M 7B 10 15 17B							
5M 7B 10	5M 6B 7B 15 17B							
5M 7B 17B	5M 7B 15 17B							
Valor dedutível total:								45
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):								3
Valor dedutível corrigido (VDC):								29
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):								71
Conceito:								Muito Bom

Amostra: 21		Segmento	km	68,01	ao	km	68,06	Sentido: Decrescente
Testemunho: NAO								
5M 7B 15	5M 7B 15 17B 20	Tipos de defeitos		Grau de severidade		Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 7B 15 20	5M 7B 15 17B 20	5		Médio		20	100%	4
5M 7B 15 17B	5M 7B 15 17B 20	7		Baixo		20	100%	22
5M 7B 15	5M 7B 15 17B	15		Unico		20	100%	4
5M 7B 15 17B	5M 7B 15 17B	17		Baixo		9	45%	9
5M 7B 15 20	5M 7B 15							
5M 7B 15 20	5M 7B 15							
5M 7B 15	5M 7B 15 17B							
5M 7B 15	5M 7B 15							
5M 7B 15	5M 7B 15 17B							
Valor dedutível total:								39
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):								2
Valor dedutível corrigido (VDC):								32
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):								69
Conceito:								Bom

Amostra: 23		Segmento	km	65,81	ao	km	65,86	Sentido: Decrescente
Testemunho: CP 4.11								
5M 15	5M 7B 15 17B	Tipos de defeitos		Grau de severidade		Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 7B 15 17B	5M 7B 15 17B	5		Médio		20	100%	4
5M 7B 15	5M 7B 15 17B	7		Baixo		13	65%	20
5M 15 17B	5M 7B 15 17B	15		Unico		20	100%	4
5M 15 17B	5M 7B 15 17B	17		Baixo		12	60%	10
5M 15	5M 7B 15 17B							
5M 15	5M 7B 15 17B							
5M 15	5M 7B 15 17B							
5M 15	5M 7B 15 17B							
5M 7B 15	5M 7B 15							
Valor dedutível total:								38
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):								2
Valor dedutível corrigido (VDC):								31
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):								69
Conceito:								Bom

Amostra: 25

ICP 2019					
Pavimento: BR-101/PB - Lote 04		Total de amostras: 16		Data: nov/19	
Tipos de defeitos					
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível			
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação			
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica			
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto			
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas			
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina			
Testemunho: CP 4.12					
Segmento		km	63,61	ao	km 63,66 Sentido: Decrescente
5M 7B	5M 7B 20	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
5M 7B	5M 7B	5	Médio	19	95%
5M 7B	5M 7B 20	7	Baixo	19	95%
5M 7B	17B	17	Baixo	3	15%
5M 7B	5M 7B				
5M 7B	5M 7B				
5M 7B	5M 7B				
5M 7B	5M 7B 17B				
5M 7B	5M 7B				
5M 7B 17B	5M 7B				
Valor dedutível total:				30	
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)				1	
Valor dedutível corrigido (VDC):				30	
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):				70	
Conceito:				Muito Bom	
Amostra: 28					
Testemunho: CP 4.9		Segmento		km	44,20 ao km 44,24 Sentido: Decrescente
5M 7M 15	5M 7M 15 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
5M 7M 15	5M 7M 15 17M	5	Médio	20	100%
5M 7M 15 17B	5M 7M 15 17M	7	Baixo	10	50%
5M 7M 15	5M 7M 15 17B	7	Médio	10	50%
5M 7M 15	5M 7M 15 17B	15	Unico	14	70%
5M 7B	5M 7B 15 16B 17B	16	Baixo	2	10%
5M 7B	5M 7B 17B	17	Baixo	10	50%
5M 7B	5M 7B 17B	17	Médio	2	10%
5M 7B	5M 7B 15 17B				
5M 7B 15 17B	5M 7B 15 16B 17B				
Valor dedutível total:				67	
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)				3	
Valor dedutível corrigido (VDC):				43	
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):				57	
Conceito:				Bom	

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 05 Total de amostras: 16 Data: nov/19

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

Amostra: 01		Segmento: km 127,09 ao km 127,15 Sentido: Crescente			
Testemunho: CP 5.1					
5M 7M 15	5M 15 16 7B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
5M 16 7M 15	5M 15 16 7B	5	Médio	20	100%
5M 15	5M 15	7	Baixo	10	50%
5M 15	5M 15	7	Médio	2	10%
5M 15 7B	5M 15	15	Unico	20	100%
5M 15 7B	5M 15				
5M 15 7B	5M 15				
5M 15 7B	5M 15				
5M 15 7B	5M 15 7B				
5M 15 7B	5M 15 7B				
Valor dedutível total:					33
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)					2
Valor dedutível corrigido (VDC):					27
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):					73
Conceito:					Muito Bom

Amostra: 02		Segmento: km 126,92 ao km 126,97 Sentido: Decrescente			
Testemunho: NAO					
5M 15 6B 7B 17B	5M 6B 15 17B 7B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
5M 15 6B 7B 17B	5M 15 17B 7M	5	Médio	20	100%
5M 15 6B 7B 17B	5M 6B 12 15 17B 7M	6	Baixo	13	65%
5M 15 6B 7B 17B	5M 7M 6B 12 15	7	Baixo	6	30%
5M 15 6B 7B 17B	5M 7M 12 15 17B	7	Médio	9	45%
5M 15 6B 17	5M 7M 12 15	15	Unico	20	100%
5M 15 6B	5M 7M 15 17B	17	Baixo	13	65%
5M 15 6B	5M 7M 15 17B				
5M 15 6B	5M 7M 15 17B				
5M 15 6B	5M 7M 15 17B				
Valor dedutível total:					61
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)					3
Valor dedutível corrigido (VDC):					40
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):					61
Conceito:					Bom

Amostra: 03		Segmento: km 125,84 ao km 125,89 Sentido: Decrescente			
Testemunho: CP 5.10					
5M 7B 12M 15	5M 7A 12B 9B 17B 11 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
5M 7B 12M 15	5M 7A 12B 9B 17B 11 15	2	Baixo	1	5%
5M 7B 12M 15	5M 7A 12B 9B 17B 11 15 20	5	Médio	20	100%
5M 7B 12M 15	5M 7A 11 12M 15	7	Baixo	5	25%
5M 7M 12M 15 17B	5M 7M 9B 11 12A 15	7	Médio	5	25%
2B 5M 7M 12M 15	5M 7A 9B 11 12A 15	7	Alto	9	45%
5M 7B 12B 15	5M 7A 11 12M 15 17B	9	Baixo	5	25%
5M 12B 15	5M 7A 11 12M 15	11	Unico	10	50%
5M 7M 12B 15	5M 7A 11 12M 15 20	12	Baixo	7	35%
5M 7M 12B 15	5M 7A 11 12M 15 20	12	Médio	13	65%
		15	Unico	20	100%
		17	Baixo	5	25%
Valor dedutível total:					215
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)					7
Valor dedutível corrigido (VDC):					90
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):					10

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 05 Total de amostras: 16 Data: nov/19

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

Conceito: Muito Ruim

Amostra: 05		Segmento: km 123,54 ao km 123,60 Sentido: Decrescente				
Testemunho: CP 5.2						
5M 7M 8A 15 17B	3A	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 7M 8A 15 17B	3A	2	Baixo	2	10%	9
5M 7M 8A 15	3A	3	Baixo	3	15%	15
5M 7B 8A 14A 15 17B	3A	3	Médio	4	20%	30
2B 5M 7M 14M 15	3M	3	Alto	4	20%	44
5M 7M 12 15 17B 20	3M	5	Médio	10	50%	4
2B 3B 5M 7M 15 17B	3B 5M 7A 8B 11 15 17B	7	Baixo	2	10%	5
5M 7B 12 15 16 17B	3B 5M 7A 11 12 15 17B	7	Médio	7	35%	21
5M 7A 12B 15	3M	7	Alto	1	5%	7
5M 7M 12B 15 16	3M	8	Alto	4	20%	29
		11	Unico	2	10%	6
		12	Baixo	2	10%	12
		14	Médio	1	5%	4
		14	Alto	1	5%	8
		15	Unico	12	60%	3
		17	Baixo	8	40%	8
Valor dedutível total:						206
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						12
Valor dedutível corrigido (VDC):						87
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						14
Conceito:						Muito Ruim

Amostra: 06		Segmento: km 122,34 ao km 122,40 Sentido: Decrescente				
Testemunho: CP 5.3						
5M 7M 15 17B	5M 7A 11 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 7M 15	5M 7A 15 17B	2	Baixo	1	5%	5
5M 7M 15	5M 7A 15	5	Médio	20	100%	4
5M 7B 15	5M 7M 15 17B	7	Baixo	7	35%	14
5M 7B 15	5M 7M 15	7	Médio	9	45%	25
2B 5M 7B 15	5M 7M 12B 15	7	Alto	4	20%	26
5M 7M 15	5M 7B 12B 15	11	Unico	1	5%	3
5M 7M 15 17B	5M 7B 12B 15	12	Baixo	5	25%	25
5M 7B 15 17B	5M 7M 12B 15	15	Unico	20	100%	4
5M 7B 15	5M 7A 12B 15	17	Baixo	5	25%	6
Valor dedutível total:						112
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						5
Valor dedutível corrigido (VDC):						57
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						43
Conceito:						Razoável

Amostra: 08		Segmento: km 119,23 ao km 119,28 Sentido: Decrescente				
Testemunho: CP 5.4						
		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 7M 15	5M 8A 14M 15 16	3	Baixo	3	15%	15
5M 7B 15	3A	3	Médio	1	5%	12
5M 7B 15	3M	3	Alto	3	15%	36
5M 7M 14B 15	5M 14B 15 16B					

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 05 Total de amostras: 16 Data: nov/19

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esbordamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

3B 5M 7M 14B 15	5M 12M 14A 15	5	Médio	16	80%	4
5M 7B 14B 15	5M 8A 15	7	Baixo	3	15%	8
5M 7M 14B 15 17B	5M 8A 12B 14M 15	7	Médio	4	20%	14
3B 5M 7A 14M 15 17B	3A	7	Alto	3	15%	20
5M 7A 12B 14M 15	3A	8	Alto	4	20%	29
3B 5M 7A 12M 14B 15 17B	5M 8A 14A 15	12	Baixo	2	10%	12
		12	Médio	2	10%	20
		14	Baixo	6	30%	6
		14	Médio	4	20%	13
		14	Alto	2	10%	15
		15	Unico	16	80%	3
		16	Baixo	1	5%	1
		17	Baixo	3	15%	4
		Valor dedutível total:				210
		Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				12
		Valor dedutível corrigido (VDC):				88
		Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):				12
		Conceito:				Muito Ruim

Amostra: 09
Testemunho: NAO Segmento: km 118,07 ao km 118,12 Sentido: Decrescente

Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5	Médio	20	100%	4
7	Baixo	1	5%	3
7	Médio	9	45%	25
7	Alto	10	50%	48
11	Unico	1	5%	3
12	Baixo	5	25%	25
15	Unico	20	100%	4
17	Baixo	11	55%	10
Valor dedutível total:				123
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				4
Valor dedutível corrigido (VDC):				68
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):				32
Conceito:				Ruim

Amostra: 11
Testemunho: CP 5.5 Segmento: km 115,90 ao km 115,96 Sentido: Decrescente

Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5	Médio	20	100%	4
6	Baixo	1	5%	0
7	Baixo	1	5%	3
7	Médio	9	45%	25
7	Alto	10	50%	48
11	Unico	2	10%	6
12	Baixo	4	20%	21
14	Baixo	2	10%	2
15	Unico	20	100%	4
17	Baixo	8	40%	8
Valor dedutível total:				122
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):				5

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 05	Total de amostras: 16	Data: nov/19
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

	Valor dedutível corrigido (VDC):	61
	Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):	39
	Conceito:	Ruim

Amostra: 13		Segmento: km 113,75 ao km 113,80 Sentido: Decrescente				
Testemunho: CP 5.11						
5M 7B 15 17B	5M 7A 12B 15 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 7M 15 17B	5M 7A 12M 15 17B	5	Médio	20	100%	4
5M 7M 15 17B	5M 7A 15 17B	6	Baixo	3	15%	1
5M 7M 15 17B	5M 7M 15 17B	7	Baixo	6	30%	13
5M 7M 15 17B	5M 7B 15	7	Médio	11	55%	29
5M 7M 15 17B	5M 7M 15 17B	7	Alto	3	15%	20
5M 7M 15	5M 7M 15	12	Baixo	1	5%	6
5M 7B 15	5M 6B 7M 15	12	Médio	1	5%	11
5M 7B 15	5M 6B 7M 15	15	Unico	20	100%	4
5M 7B 15	5M 6B 7M 15	17	Baixo	11	55%	10
Valor dedutível total:						97
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						6
Valor dedutível corrigido (VDC):						43
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						57
Conceito:						Bom

Amostra: 16		Segmento: km 110,51 ao km 110,56 Sentido: Decrescente				
Testemunho: CP 5.6						
5M 7M 15 17B	5M 6B 7M 15	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 7B 15	5M 6B 7M 15 17B 20	5	Médio	20	100%	4
5M 7B 15 17B	5M 7M 15 17B 20	6	Baixo	8	40%	3
5M 7B 15 17B	5M 6B 7A 15 17B	6	Médio	1	5%	2
5M 7B 15 17B	5M 6M 7M 15 17B	7	Baixo	10	50%	18
5M 7B 15 17B	5M 6B 7M 15 17B	7	Médio	9	45%	25
5M 7B 15 17B	5M 6B 7B 15 17B	7	Alto	1	5%	7
5M 7B 15 17B	5M 6B 7M 15 17A	15	Unico	20	100%	4
5M 7B 15 17B	5M 6B 7M 15 17B	17	Baixo	17	85%	12
5M 7B 15 17B	5M 6B 7M 15 17B 20	17	Alto	1	5%	4
Valor dedutível total:						79
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):						4
Valor dedutível corrigido (VDC):						47
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VDC):						53
Conceito:						Razoável

Amostra: 18		Segmento: km 108,35 ao km 108,40 Sentido: Decrescente				
Testemunho: NAO						
5M 7M 15	5M 7B 15 17B 20	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 7M 15 17B	5M 7M 15 17B	5	Médio	20	100%	4
5M 7M 15 17B	5M 7M 15 17B	7	Baixo	1	5%	3
5M 7M 15	5M 7M 15 17B	7	Médio	19	95%	36
5M 7M 15 17B	5M 7M 11 15 17B	11	Unico	1	5%	3
5M 7M 15 17B	5M 7M 15 17B	15	Unico	20	100%	4
5M 7M 15 17B	5M 7M 15 17B	17	Baixo	15	75%	11
5M 7M 15	5M 7M 15 17B					

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 05 Total de amostras: 16 Data: nov/19

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

5M 7M 15	5M 7M 15 17B				
5M 7M 15	5M 7M 15 17B				
Valor dedutível total:					62
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):					2
Valor dedutível corrigido (VDC):					48
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):					52
Conceito:					Razoável

Amostra: 19					
Testemunho: CP 5.12					
Segmento: km 107,27 ao km 107,32 Sentido: Decrescente					
5M 15 17B	5M 7M 15 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
5M 15 17B	5M 7A 15 17B 20	5	Médio	20	100%
5M 15 17B	5M 7A 15 17B 20	7	Baixo	7	35%
5M 7B 15 17B	5M 7A 15 17B 20	7	Médio	7	35%
5M 7B 15 17B	5M 7M 15 17B	7	Alto	3	15%
5M 7B 15 17B	5M 7M 15 17B	15	Único	20	100%
5M 7B 15 17B	5M 7M 15 17B	17	Baixo	20	100%
5M 7B 15 17B	5M 7M 15 17B				
5M 7B 15 17B	5M 7M 15 17B				
5M 7B 15 17B	5M 7M 15 17B				
5M 7B 15 17B	5M 7M 15 17B				
Valor dedutível total:					76
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):					4
Valor dedutível corrigido (VDC):					45
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):					55
Conceito:					Razoável

Amostra: 22					
Testemunho: CP 5.7					
Segmento: km 104,03 ao km 104,08 Sentido: Decrescente					
5M 7B 15	5M 7A 15 17B	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
5M 7B 15	5M 7A 15 17B	5	Médio	20	100%
5M 7B 15	5M 7A 15 17B	7	Baixo	6	30%
5M 7B 15 17B 20	5M 7A 15 17B	7	Médio	8	40%
5M 7M 15	5M 7B 15 17B	7	Alto	6	30%
5M 7M 15	5M 7M 15 17B	15	Único	20	100%
5M 7M 15 17B	5M 7A 15 17B	17	Baixo	12	60%
5M 7M 15 17B	5M 7A 15 20				
5M 7M 15	5M 7M 15 17B				
5M 7M 15	5M 7B 15 17B				
Valor dedutível total:					90
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q):					4
Valor dedutível corrigido (VDC):					52
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):					48
Conceito:					Razoável

Amostra: 23					
Testemunho: NAO					
Segmento: km 102,95 ao km 103,00 Sentido: Decrescente					
5M 7B 9B 15	5M 7M 12B 15 17B 20	Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas
5M 7M 15 17M	5M 7M 15 17M	5	Médio	20	100%
5M 7B 15 17M	5M 7M 15 17M 20	7	Baixo	9	45%
5M 7B 15 17B	5M 7M 15 17M	7	Médio	10	50%
5M 7B 15	5M 7A 15 17B 20	7	Alto	1	5%
5M 7B 15	5M 7M 15 17B	9	Baixo	1	5%

ICP 2019

Pavimento: BR-101/PB - Lote 05	Total de amostras: 16	Data: nov/19
--------------------------------	-----------------------	--------------

Tipos de defeitos		
1 Alçamento das placas	7 Fissuras lineares	13 Passagem de nível
2 Fissura de canto	8 Grandes reparos	14 Rendilhado e escamação
3 Placa dividida	9 Pequenos reparos	15 Fissuras de retração plástica
4 Degrau na junta	10 Desgaste superficial	16 Quebra de canto
5 Defeito na selagem das juntas	11 Bombeamento	17 Esborcinamento de juntas
6 Desnível c/ acostamento	12 Quebras localizadas	18 Placa bailarina

5M 7B 10 15	5M 7M 12B 15 17B	10	Unico	1	5%	1
5M 7B 15	5M 7M 15 17B	12	Baixo	2	10%	12
5M 7B 15	5M 7M 15 17B	15	Unico	20	100%	4
5M 7B 15	5M 7M 15	17	Baixo	7	35%	8
		17	Médio	5	25%	9
Valor dedutível total:						88
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						6
Valor dedutível corrigido (VDC):						39
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						61
Conceito:						Bom

Amostra: 26		Segmento: km 99,71 ao km 99,76 Sentido: Decrescente				
Testemunho: CP 5.8		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 7A 15	5M 7A 15 17B	5	Médio	20	100%	4
5M 7A 15	5M 7A 15 17B	7	Médio	3	15%	11
5M 7M 15 17B	5M 7A 12B 15 17B 20	7	Alto	17	85%	60
5M 7M 15	5M 7A 11 12B 15 20	11	Unico	1	5%	3
5M 7M 15 17B	5M 7A 12B 15 17B 20	12	Baixo	4	20%	21
5M 7A 15 17B	5M 7A 15 17B	15	Unico	20	100%	4
5M 7A 15 17B	5M 7A 15 17B	17	Baixo	15	75%	11
5M 7A 15 17B	5M 7A 15					
5M 7A 15 17B	5M 7A 15 17B					
5M 7A 15 17B	5M 7A 12B 15 17B					
Valor dedutível total:						115
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						4
Valor dedutível corrigido (VDC):						65
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						35
Conceito:						Ruim

Amostra: 30		Segmento: km 95,72 ao km 95,77 Sentido: Decrescente				
Testemunho: CP 5.9		Tipos de defeitos	Grau de severidade	Nº de placas afetadas	% de placas afetadas	Valor dedutível
5M 7B 15	5M 7A 12B 15 17B 20	5	Médio	20	100%	4
5M 7B 15 17B	5M 7M 12B 15 17B	6	Baixo	1	5%	0
5M 7B 15 17B	5M 7M 15 17B	7	Baixo	5	25%	11
5M 7B 15 17B	5M 7A 12B 15 17B	7	Médio	8	40%	24
5M 7M 15 17B	5M 7A 12B 15 20	7	Alto	7	35%	39
5M 7M 15 17B	5M 7A 15 20	8	Alto	1	5%	9
5M 7M 15 17B 20	5M 7A 8A 15 17B 20	12	Baixo	4	20%	21
5M 7M 15	5M 6B 7A 15 17B 20	15	Unico	20	100%	4
5M 7B 15 17B	5M 7M 15 17B	17	Baixo	15	75%	11
Valor dedutível total:						123
Quantidade de valores dedutíveis maiores que 5 (q)						6
Valor dedutível corrigido (VDC):						54
Índice de Condição do Pavimento (ICP=100-VCD):						46
Conceito:						Razoável

APÊNDICE B - Fatores de veículos

As tabelas B.1 a B.7 apresentam os cálculos realizados para a definição dos fatores de veículos dos subtrechos, utilizados na determinação do número N.

Tabela B.1 - Fator de veículo do subtrecho 01 (km 0 ao km 6,1).

SUBTRECHO 01 (km 0 ao km 6,1)							
TIPO DE VEÍCULO		VDM	Pi (%)	Fator de Veículo (FV) - AASHTO			
				Veíc. Carreg.	Veíc. Vazio	FV i	Pi x FV i
AUTOMÓVEIS		1794					
ÔNIBUS	2C	49	3.05%	3.600	0.136	2.907	0.09
	3C	85	5.29%	1.180	0.038	0.952	0.05
CAMINHÔES	2C	268	16.67%	3.600	0.136	2.907	0.48
	3C	564	35.07%	2.543	0.038	2.042	0.72
SEMI-REBOQUES	2S1	19	1.18%	6.872	0.256	5.549	0.07
	2S2	1	0.06%	5.816	0.158	4.684	0.00
	2S3	34	2.11%	5.716	0.156	4.604	0.10
	3S1	371	23.07%	5.816	0.158	4.684	1.08
	3S2	3	0.19%	4.759	0.060	3.819	0.01
	3S3	23	1.43%	4.660	0.058	3.739	0.05
REBOQUES	2C2	122	7.59%	10.145	0.376	8.191	0.62
	2C3	1	0.06%	9.088	0.278	7.326	0.00
	3C2	0	0.00%	9.088	0.278	7.326	0.00
REBOQUES MÚLTIPLOS	2S2-S2	0	0.00%	8.031	0.180	6.461	0.00
	3S2-S2	0	0.00%	6.974	0.082	5.596	0.00
	3S4-S2	0	0.00%	9.190	0.104	7.373	0.00
	2C2-2	45	2.80%	5.816	0.158	4.684	0.13
	3C2-2	23	1.43%	6.974	0.082	5.596	0.08
VMD Total		3.402					
VMD Comercial		1.608					
Fator de Veículo do Subtrecho:							3.48

Tabela B.2 - Fator de veículo do subtrecho 02 (km 6,1 ao km 29,9).

SUBTRECHO 02 (km 6,1 ao km 29,9)							
TIPO DE VEÍCULO		VDM	Pi (%)	Fator de Veículo (FV) - AASHTO			
				Veíc. Carreg.	Veíc. Vazio	FV i	Pi x FV i
AUTOMÓVEIS		2003					
ÔNIBUS	2C	42	2.47%	3.600	0.136	2.907	0.07
	3C	77	4.54%	1.180	0.038	0.952	0.04
CAMINHÔES	2C	293	17.27%	3.600	0.136	2.907	0.50
	3C	640	37.71%	2.543	0.038	2.042	0.77
SEMI-REBOQUES	2S1	3	0.18%	6.872	0.256	5.549	0.01
	2S2	0	0.00%	5.816	0.158	4.684	0.00
	2S3	45	2.65%	5.716	0.156	4.604	0.12
	3S1	397	23.39%	5.816	0.158	4.684	1.10
	3S2	3	0.18%	4.759	0.060	3.819	0.01
	3S3	6	0.35%	4.660	0.058	3.739	0.01
REBOQUES	2C2	119	7.01%	10.145	0.376	8.191	0.57
	2C3	0	0.00%	9.088	0.278	7.326	0.00
	3C2	0	0.00%	9.088	0.278	7.326	0.00
REBOQUES MÚLTIPLOS	2S2-S2	0	0.00%	8.031	0.180	6.461	0.00
	3S2-S2	0	0.00%	6.974	0.082	5.596	0.00
	3S4-S2	0	0.00%	9.190	0.104	7.373	0.00
	2C2-2	63	3.71%	5.816	0.158	4.684	0.17
	3C2-2	9	0.53%	6.974	0.082	5.596	0.03
VMD Total		3.700					
VMD Comercial		1.697					
Fator de Veículo do Subtrecho:							3.41

Tabela B.3 - Fator de veículo do subtrecho 03 (km 29,9 ao km 40,0).

SUBTRECHO 03 (km 29,9 ao km 40,0)							
TIPO DE VEÍCULO		VDM	Pi (%)	Fator de Veículo (FV) - AASHTO			
				Veíc. Carreg.	Veíc. Vazio	FV i	Pi x FV i
AUTOMÓVEIS		3268					
ÔNIBUS	2C	93	4.70%	3.600	0.136	2.907	0.14
	3C	68	3.43%	1.180	0.038	0.952	0.03
CAMINHÔES	2C	508	25.66%	3.600	0.136	2.907	0.75
	3C	683	34.49%	2.543	0.038	2.042	0.70
SEMI-REBOQUES	2S1	3	0.15%	6.872	0.256	5.549	0.01
	2S2	0	0.00%	5.816	0.158	4.684	0.00
	2S3	42	2.12%	5.716	0.156	4.604	0.10
	3S1	398	20.10%	5.816	0.158	4.684	0.94
	3S2	0	0.00%	4.759	0.060	3.819	0.00

	3S3	8	0.40%	4.660	0.058	3.739	0.02
REBOQUES	2C2	109	5.51%	10.145	0.376	8.191	0.45
	2C3	1	0.05%	9.088	0.278	7.326	0.00
	3C2	0	0.00%	9.088	0.278	7.326	0.00
REBOQUES MÚLTIPLOS	2S2-S2	0	0.00%	8.031	0.180	6.461	0.00
	3S2-S2	0	0.00%	6.974	0.082	5.596	0.00
	3S4-S2	0	0.00%	9.190	0.104	7.373	0.00
	2C2-2	51	2.58%	5.816	0.158	4.684	0.12
	3C2-2	16	0.81%	6.974	0.082	5.596	0.05
VMD Total		5.248					
VMD Comercial		1.980					
Fator de Veículo do Subtrecho:							3.30

Tabela B.4 - Fator de veículo do subtrecho 04 (km 40,0 ao km 73,5).

SUBTRECHO 04 (km 40,0 ao km 73,5)							
TIPO DE VEÍCULO		VDM	Pi (%)	Fator de Veículo (FV) - AASHTO			
				Veíc. Carreg.	Veíc. Vazio	FV i	Pi x FV i
AUTOMÓVEIS		4.700					
ÔNIBUS	2C	185	8.40%	3.600	0.136	2.907	0.24
	3C	131	5.95%	1.180	0.038	0.952	0.06
CAMINHÕES	2C	441	20.02%	3.600	0.136	2.907	0.58
	3C	724	32.86%	2.543	0.038	2.042	0.67
SEMI-REBOQUES	2S1	0	0.00%	6.872	0.256	5.549	0.00
	2S2	4	0.18%	5.816	0.158	4.684	0.01
	2S3	37	1.68%	5.716	0.156	4.604	0.08
	3S1	485	22.02%	5.816	0.158	4.684	1.03
	3S2	0	0.00%	4.759	0.060	3.819	0.00
	3S3	15	0.68%	4.660	0.058	3.739	0.03
REBOQUES	2C2	118	5.36%	10.145	0.376	8.191	0.44
	2C3	4	0.18%	9.088	0.278	7.326	0.01
	3C2	1	0.05%	9.088	0.278	7.326	0.00
REBOQUES MÚLTIPLOS	2S2-S2	0	0.00%	8.031	0.180	6.461	0.00
	3S2-S2	0	0.00%	6.974	0.082	5.596	0.00
	3S4-S2	58	2.63%	9.190	0.104	7.373	0.19
	2C2-2	0	0.00%	5.816	0.158	4.684	0.00
	3C2-2	0	0.00%	6.974	0.082	5.596	0.00
VMD Total		6.903					
VMD Comercial		2.203					
Fator de Veículo do Subtrecho:							3.35

Tabela B.5 - Fator de veículo do subtrecho 05 (km 92,4 ao km 99,4).

SUBTRECHO 05 (km 92,4 a km 99,4)							
TIPO DE VEÍCULO		VDM	Pi (%)	Fator de Veículo (FV) - AASHTO			
				Veíc. Carreg.	Veíc. Vazio	FV i	Pi x FV i
AUTOMÓVEIS		7446					
ÔNIBUS	2C	183	7.61%	3.600	0.136	2.907	0.22
	3C	150	6.23%	1.180	0.038	0.952	0.06
CAMINHÔES	2C	611	25.39%	3.600	0.136	2.907	0.74
	3C	830	34.50%	2.543	0.038	2.042	0.70
SEMI-REBOQUES	2S1	0	0.00%	6.872	0.256	5.549	0.00
	2S2	6	0.25%	5.816	0.158	4.684	0.01
	2S3	29	1.21%	5.716	0.156	4.604	0.06
	3S1	510	21.20%	5.816	0.158	4.684	0.99
	3S2	0	0.00%	4.759	0.060	3.819	0.00
	3S3	0	0.00%	4.660	0.058	3.739	0.00
REBOQUES	2C2	48	2.00%	10.145	0.376	8.191	0.16
	2C3	9	0.37%	9.088	0.278	7.326	0.03
	3C2	30	1.25%	9.088	0.278	7.326	0.09
REBOQUES MÚLTIPLOS	2S2-S2	0	0.00%	8.031	0.180	6.461	0.00
	3S2-S2	0	0.00%	6.974	0.082	5.596	0.00
	3S4-S2	0	0.00%	9.190	0.104	7.373	0.00
	2C2-2	0	0.00%	5.816	0.158	4.684	0.00
	3C2-2	0	0.00%	6.974	0.082	5.596	0.00
VMD Total		9.852					
VMD Comercial		2.406					
Fator de Veículo do Subtrecho:							3.07

Tabela B.6 - Fator de veículo do subtrecho 06 (km 99,4 ao km 110,2).

SUBTRECHO 06 (km 99,4 a km 110,2)							
TIPO DE VEÍCULO		VDM	Pi (%)	Fator de Veículo (FV) - AASHTO			
				Veíc. Carreg.	Veíc. Vazio	FV i	Pi x FV i
AUTOMÓVEIS		5943					
ÔNIBUS	2C	97	4.79%	3.600	0.136	2.907	0.14
	3C	120	5.92%	1.180	0.038	0.952	0.06
CAMINHÔES	2C	538	26.54%	3.600	0.136	2.907	0.77
	3C	665	32.81%	2.543	0.038	2.042	0.67
SEMI-REBOQUES	2S1	0	0.00%	6.872	0.256	5.549	0.00
	2S2	12	0.59%	5.816	0.158	4.684	0.03
	2S3	40	1.97%	5.716	0.156	4.604	0.09
	3S1	427	21.07%	5.816	0.158	4.684	0.99
	3S2	0	0.00%	4.759	0.060	3.819	0.00
	3S3	0	0.00%	4.660	0.058	3.739	0.00

REBOQUES	2C2	76	3.75%	10.145	0.376	8.191	0.31
	2C3	13	0.64%	9.088	0.278	7.326	0.05
	3C2	39	1.92%	9.088	0.278	7.326	0.14
REBOQUES MÚLTIPLOS	2S2-S2	0	0.00%	8.031	0.180	6.461	0.00
	3S2-S2	0	0.00%	6.974	0.082	5.596	0.00
	3S4-S2	0	0.00%	9.190	0.104	7.373	0.00
	2C2-2	0	0.00%	5.816	0.158	4.684	0.00
	3C2-2	0	0.00%	6.974	0.082	5.596	0.00
VMD Total		7.970					
VMD Comercial		2.027					
Fator de Veículo do Subtrecho:							3.24

Tabela B.7 - Fator de veículo do subtrecho 07 (km 110,2 ao km 127,7).

SUBTRECHO 07 (km 110,2 a km 127,7)							
TIPO DE VEÍCULO		VDM	Pi (%)	Fator de Veículo (FV) - AASHTO			
				Veíc. Carreg.	Veíc. Vazio	FV i	Pi x FV i
AUTOMÓVEIS		4742					
ÔNIBUS	2C	91	4.31%	3.600	0.136	2.907	0.13
	3C	77	3.65%	1.180	0.038	0.952	0.03
CAMINHÔES	2C	528	25.00%	3.600	0.136	2.907	0.73
	3C	750	35.51%	2.543	0.038	2.042	0.73
SEMI-REBOQUES	2S1	0	0.00%	6.872	0.256	5.549	0.00
	2S2	5	0.24%	5.816	0.158	4.684	0.01
	2S3	67	3.17%	5.716	0.156	4.604	0.15
	3S1	491	23.25%	5.816	0.158	4.684	1.09
	3S2	0	0.00%	4.759	0.060	3.819	0.00
	3S3	0	0.00%	4.660	0.058	3.739	0.00
REBOQUES	2C2	62	2.94%	10.145	0.376	8.191	0.24
	2C3	5	0.24%	9.088	0.278	7.326	0.02
	3C2	36	1.70%	9.088	0.278	7.326	0.12
REBOQUES MÚLTIPLOS	2S2-S2	0	0.00%	8.031	0.180	6.461	0.00
	3S2-S2	0	0.00%	6.974	0.082	5.596	0.00
	3S4-S2	0	0.00%	9.190	0.104	7.373	0.00
	2C2-2	0	0.00%	5.816	0.158	4.684	0.00
	3C2-2	0	0.00%	6.974	0.082	5.596	0.00
VMD Total		6.854					
VMD Comercial		2.112					
Fator de Veículo do Subtrecho:							3.24

APÊNDICE C – Número N (repetições do eixo padrão).

As tabelas C.1 a C.13 apresentam os cálculos do número N nos pontos de interesse.

Tabela C.1 – Número N dos CP3.1 e CP3.9.

CP 3.1, CP 3.9 - NÚMERO N (SUBTRECHO 01)									
Ano		Auto	Ônibus	Caminhão	VMD total	VMD comercial	AASHTO		Fonte dos dados
		Taxas de crescimento real					Fator de Veículo:	3.48	
		4.6%	4.6%	4.6%			Fator de Pista:	80%	
							Fator Direcional:	50%	
		Composição do tráfego					N		
		52.73%	3.94%	43.33%			Anual	Acum.	
	2004	1794	134	1474	3.402	1.608			Projeto BR-101
1º	2008	2150	161	1766	4.077	1.927	9.80E+05	9.80E+05	
2º	2009	2249	168	1848	4.266	2.016	1.03E+06	2.01E+06	
3º	2010	2354	176	1934	4.463	2.110	1.07E+06	3.08E+06	
4º	2011	2462	184	2023	4.670	2.207	1.12E+06	4.20E+06	
5º	2012	2576	192	2117	4.886	2.309	1.17E+06	5.38E+06	
6º	2013	2696	201	2215	5.112	2.416	1.23E+06	6.61E+06	
7º	2014	2820	211	2317	5.349	2.528	1.29E+06	7.89E+06	
8º	2015	2951	220	2425	5.596	2.645	1.35E+06	9.24E+06	
9º	2016	3088	231	2537	5.855	2.767	1.41E+06	1.06E+07	
10º	2017	3231	241	2654	6.126	2.896	1.47E+06	1.21E+07	
11º	2018	3380	252	2777	6.410	3.030	1.54E+06	1.37E+07	
12º	2019	3537	264	2906	6.706	3.170	1.61E+06	1.53E+07	
13º	2020	3700	276	3040	7.017	3.317	1.69E+06	1.70E+07	

Tabela C.2 – Número N do CP 3.2, CP 3.3, CP 3.7, CP 3.10.

CP 3.2, CP 3.3, CP 3.7, CP 3.10 - NÚMERO N (SUBTRECHO 02)									
Ano		Auto	Ônibus	Caminhão	VMD total	VMD comercial	AASHTO		Fonte dos dados
		Taxas de crescimento real					Fator de Veículo:	3.41	
		4.6%	4.6%	4.6%			Fator de Pista:	80%	
							Fator Direcional:	50%	
		Composição do tráfego					N		
		54.14%	3.22%	42.65%			Anual	Acum.	
	2004	2003	119	1578	3.700	1.697			Projeto BR-101
1º	2008	2400	143	1891	4.434	2.034	1.01E+06	1.01E+06	
2º	2009	2511	149	1979	4.639	2.128	1.06E+06	2.07E+06	
3º	2010	2628	156	2070	4.854	2.226	1.11E+06	3.18E+06	
4º	2011	2749	163	2166	5.079	2.329	1.16E+06	4.34E+06	
5º	2012	3906	232	3078	7.216	3.310	1.65E+06	5.99E+06	
6º	2013	3811	226	3003	7.041	3.229	1.61E+06	7.60E+06	
7º	2014	3885	231	3061	7.177	3.292	1.64E+06	9.24E+06	
8º	2015	3799	226	2993	7.017	3.218	1.60E+06	1.08E+07	
9º	2016	3447	205	2716	6.368	2.921	1.46E+06	1.23E+07	
10º	2017	3607	214	2842	6.663	3.056	1.52E+06	1.38E+07	
11º	2018	3774	224	2973	6.971	3.197	1.59E+06	1.54E+07	
12º	2019	3949	235	3111	7.294	3.345	1.67E+06	1.71E+07	
13º	2020	4131	245	3255	7.631	3.500	1.74E+06	1.88E+07	

Tabela C.3 – Número N do CP 3.4, CP 3.12.

CP 3.4, CP 3.12 - NÚMERO N (SUBTRECHO 03)								
Ano	Auto	Ônibus	Caminhão	VMD total	VMD comercial	AASHTO		Fonte dos dados
	Taxas de crescimento real					Fator de Veículo:	3.30	

		4.6%	4.6%	4.6%			Fator de Pista:	80%	
							Fator Direcional:	50%	
		Composição do tráfego					N		
		62.27%	3.07%	34.66%			Anual	Acum.	
	2004	3268	161	1819	5.248	1.980			Projeto BR-101
1º	2008	3916	193	2180	6.289	2.373	1.14E+06	1.14E+06	
2º	2009	4098	202	2281	6.580	2.483	1.20E+06	2.34E+06	
3º	2010	4287	211	2386	6.885	2.598	1.25E+06	3.59E+06	
4º	2011	4486	221	2497	7.204	2.718	1.31E+06	4.90E+06	
5º	2012	4693	231	2612	7.537	2.844	1.37E+06	6.28E+06	
6º	2013	4911	242	2733	7.886	2.975	1.43E+06	7.71E+06	
7º	2014	5138	253	2860	8.251	3.113	1.50E+06	9.21E+06	
8º	2015	5376	265	2992	8.633	3.257	1.57E+06	1.08E+07	
9º	2016	5624	277	3131	9.032	3.408	1.64E+06	1.24E+07	
10º	2017	5885	290	3276	9.450	3.565	1.72E+06	1.41E+07	
11º	2018	6157	303	3427	9.888	3.730	1.80E+06	1.59E+07	
12º	2019	6442	317	3586	10.345	3.903	1.88E+06	1.78E+07	
13º	2020	6740	332	3752	10.824	4.084	1.97E+06	1.98E+07	

Tabela C.4 – Número N do CP3.5.

CP 3.5 - NÚMERO N (SUBTRECHO 03)									
Ano		Auto	Ônibus	Caminhão	VMD total	VMD comercial	AASHTO		Fonte dos dados
		Taxas de crescimento real					Fator de Veículo:	3.30	
		4.6%	4.6%	4.6%			Fator de Pista:	80%	
							Fator Direcional:	50%	
		Composição do tráfego					N		
		62.27%	3.07%	34.66%			Anual	Acum.	
	2004	3268	161	1819	5248	1980			Projeto BR-101

	2008	3916	193	2180	6.289	2.373	1.14E+06		
1º	2009	4098	202	2281	6.580	2.483	1.20E+06	1.20E+06	
2º	2010	4287	211	2386	6.885	2.598	1.25E+06	2.45E+06	
3º	2011	4486	221	2497	7.204	2.718	1.31E+06	3.76E+06	
4º	2012	4693	231	2612	7.537	2.844	1.37E+06	5.13E+06	
5º	2013	4911	242	2733	7.886	2.975	1.43E+06	6.57E+06	
6º	2014	5138	253	2860	8.251	3.113	1.50E+06	8.07E+06	
7º	2015	5376	265	2992	8.633	3.257	1.57E+06	9.64E+06	
8º	2016	5624	277	3131	9.032	3.408	1.64E+06	1.13E+07	
9º	2017	5885	290	3276	9.450	3.565	1.72E+06	1.30E+07	
10º	2018	6157	303	3427	9.888	3.730	1.80E+06	1.48E+07	
11º	2019	6442	317	3586	10.345	3.903	1.88E+06	1.67E+07	
12º	2020	6740	332	3752	10.824	4.084	1.97E+06	1.87E+07	

Tabela C.5 – Número N do CP 3.6, CP 3.8, CP 3.11.

CP 3.6, CP 3.8, CP 3.11 - NÚMERO N (SUBTRECHO 02)									
Ano		Auto	Ônibus	Caminhão	VMD total	VMD comercial	AASHTO		Fonte dos dados
		Taxas de crescimento real					Fator de Veículo:	3.41	
		4.6%	4.6%	4.6%			Fator de Pista:	80%	
							Fator Direcional:	50%	
		Composição do tráfego					N		
		54.14%	3.22%	42.65%			Anual	Acum.	
	2004	2003	119	1578	3700	1697			Projeto BR-101
	2008	2400	143	1891	4.434	2.034	1.01E+06		
1º	2009	2511	149	1979	4.639	2.128	1.06E+06	1.06E+06	
2º	2010	2628	156	2070	4.854	2.226	1.11E+06	2.17E+06	
3º	2011	2749	163	2166	5.079	2.329	1.16E+06	3.33E+06	
4º	2012	3906	232	3078	7.216	3.310	1.65E+06	4.98E+06	
5º	2013	3811	226	3003	7.041	3.229	1.61E+06	6.59E+06	

6º	2014	3885	231	3061	7.177	3.292	1.64E+06	8.23E+06	
7º	2015	3799	226	2993	7.017	3.218	1.60E+06	9.83E+06	
8º	2016	3447	205	2716	6.368	2.921	1.46E+06	1.13E+07	
9º	2017	3607	214	2842	6.663	3.056	1.52E+06	1.28E+07	
10º	2018	3774	224	2973	6.971	3.197	1.59E+06	1.44E+07	
11º	2019	3949	235	3111	7.294	3.345	1.67E+06	1.61E+07	
12º	2020	4131	245	3255	7.631	3.500	1.74E+06	1.78E+07	

Tabela C.6 – Número N dos CP 4.1 a CP 4.12.

CP 4.1 a CP 4.12 - NÚMERO N (SUBTRECHO 04)									
Ano		Auto	Ônibus	Caminhão	VMD total	VMD comercial	AASHTO		Fonte dos dados
		Taxas de crescimento real					Fator de Veículo:	3.35	
		5.2%	5.2%	5.2%			Fator de Pista:	80%	
							Fator Direcional:	50%	
		Composição do tráfego					N		
		68.09%	4.58%	27.34%			Anual	Acum.	
	2002	4700	316	1887	6903	2.203			Projeto BR-101
1º	2008	6388	430	2565	9.383	2.994	1.46E+06	1.46E+06	
2º	2009	6724	452	2699	9.875	3.151	1.54E+06	3.00E+06	
3º	2010	7076	476	2841	10.393	3.317	1.62E+06	4.62E+06	
4º	2011	7448	501	2990	10.939	3.491	1.71E+06	6.33E+06	
5º	2012	7839	527	3147	11.513	3.674	1.79E+06	8.12E+06	
6º	2013	8250	555	3312	12.117	3.867	1.89E+06	1.00E+07	
7º	2014	8683	584	3486	12.753	4.070	1.99E+06	1.20E+07	Proj. BR-Legal
8º	2015	9139	614	3669	13.422	4.284	2.09E+06	1.41E+07	
9º	2016	9618	647	3862	14.127	4.508	2.20E+06	1.63E+07	
10º	2017	10123	681	4064	14.868	4.745	2.32E+06	1.86E+07	
11º	2018	10654	716	4278	15.648	4.994	2.44E+06	2.11E+07	
12º	2019	11214	754	4502	16.470	5.256	2.57E+06	2.36E+07	

13º	2020	11802	794	4738	17.334	5.532	2.70E+06	2.63E+07	
-----	------	-------	-----	------	--------	-------	----------	----------	--

Tabela C.7 – Número N do CP5.1.

CP 5.1 - NÚMERO N (SUBTRECHO 07)									
Ano		Auto	Ônibus	Caminhão	VMD total	VMD comercial	AASHTO		Fonte dos dados
		Taxas de crescimento real					Fator de Veículo:	3.24	
		4.5%	4.5%	4.5%			Fator de Pista:	80%	
							Fator Direcional:	50%	
		Composição do tráfego					N		
		69.19%	2.45%	28.36%			Anual	Acum.	
	2002	4742	168	1944	6854	2112			Projeto BR-101
	2008	6190	219	2538	8.947	2.757	1.30E+06		
	2009	6471	229	2653	9.353	2.882	1.36E+06		
	2010	6765	240	2773	9.778	3.013	1.43E+06		
	2011	7072	251	2899	10.222	3.150	1.49E+06		
1º	2012	9048	321	3709	13.078	4.030	1.91E+06	1.91E+06	PNCV
2º	2013	9199	326	3771	13.296	4.097	1.94E+06	3.85E+06	PNCV
3º	2014	10704	379	4388	15.472	4.768	2.26E+06	6.10E+06	PNCV
4º	2015	10327	366	4233	14.926	4.599	2.18E+06	8.28E+06	PNCV
5º	2016	8831	313	3620	12.764	3.933	1.86E+06	1.01E+07	PNCV
6º	2017	9232	327	3785	13.344	4.112	1.95E+06	1.21E+07	
7º	2018	9651	342	3957	13.950	4.298	2.03E+06	1.41E+07	
8º	2019	10090	357	4136	14.583	4.494	2.13E+06	1.62E+07	
9º	2020	10548	374	4324	15.246	4.698	2.22E+06	1.85E+07	

Tabela C.8 – Número N do CP5.5.

CP 5.5 - NÚMERO N (SUBTRECHO 07)								
Ano	Auto	Ônibus	Caminhão	VMD total	VMD comercial	AASHTO		Fonte dos dados
	Taxas de crescimento real					Fator de Veículo:	3.24	

		4.5%	4.5%	4.5%			Fator de Pista:	80%	
							Fator Direcional:	50%	
		Composição do tráfego					N		
		69.19%	2.45%	28.36%			Anual	Acum.	
	2002	4742	168	1944	6854	2112			Projeto BR-101
	2008	6190	219	2538	8.947	2.757	1.30E+06		
1º	2009	6471	229	2653	9.353	2.882	1.36E+06	1.36E+06	
2º	2010	6765	240	2773	9.778	3.013	1.43E+06	2.79E+06	
3º	2011	7072	251	2899	10.222	3.150	1.49E+06	4.28E+06	
4º	2012	9048	321	3709	13.078	4.030	1.91E+06	6.19E+06	PNCV
5º	2013	9199	326	3771	13.296	4.097	1.94E+06	8.12E+06	PNCV
6º	2014	10704	379	4388	15.472	4.768	2.26E+06	1.04E+07	PNCV
7º	2015	10327	366	4233	14.926	4.599	2.18E+06	1.26E+07	PNCV
8º	2016	8831	313	3620	12.764	3.933	1.86E+06	1.44E+07	PNCV
9º	2017	9232	327	3785	13.344	4.112	1.95E+06	1.64E+07	
10º	2018	9651	342	3957	13.950	4.298	2.03E+06	1.84E+07	
11º	2019	10090	357	4136	14.583	4.494	2.13E+06	2.05E+07	
12º	2020	10548	374	4324	15.246	4.698	2.22E+06	2.27E+07	

Tabela C.9 – Número N do CP5.6.

CP 5.6 - NÚMERO N (SUBTRECHO 07)									
Ano		Auto	Ônibus	Caminhão	VMD total	VMD comercial	AASHTO		Fonte dos dados
		Taxas de crescimento real					Fator de Veículo:	3.24	
		4.5%	4.5%	4.5%			Fator de Pista:	80%	
							Fator Direcional:	50%	
		Composição do tráfego					N		
		69.19%	2.45%	28.36%			Anual	Acum.	
	2002	4742	168	1944	6854	2112			Projeto BR-101

	2008	6190	219	2538	8.947	2.757	1.30E+06		
	2009	6471	229	2653	9.353	2.882	1.36E+06		
1º	2010	6765	240	2773	9.778	3.013	1.43E+06	1.43E+06	
2º	2011	7072	251	2899	10.222	3.150	1.49E+06	2.92E+06	
3º	2012	9048	321	3709	13.078	4.030	1.91E+06	4.82E+06	PNCV
4º	2013	9199	326	3771	13.296	4.097	1.94E+06	6.76E+06	PNCV
5º	2014	10704	379	4388	15.472	4.768	2.26E+06	9.02E+06	PNCV
6º	2015	10327	366	4233	14.926	4.599	2.18E+06	1.12E+07	PNCV
7º	2016	8831	313	3620	12.764	3.933	1.86E+06	1.31E+07	PNCV
8º	2017	9232	327	3785	13.344	4.112	1.95E+06	1.50E+07	
9º	2018	9651	342	3957	13.950	4.298	2.03E+06	1.70E+07	
10º	2019	10090	357	4136	14.583	4.494	2.13E+06	1.92E+07	
11º	2020	10548	374	4324	15.246	4.698	2.22E+06	2.14E+07	

Tabela C.10 – Número N do CP5.9.

CP 5.9 - NÚMERO N (SUBTRECHO 05)									
Ano		Auto	Ônibus	Caminhão	VMD total	VMD comercial	AASHTO		Fonte dos dados
		Taxas de crescimento real					Fator de Veículo:	3.07	
		8.7%	8.7%	8.7%			Fator de Pista:	80%	
							Fator Direcional:	50%	
		Composição do tráfego					N		
		75.58%	3.38%	21.04%			Anual	Acum.	
	2002	7446	333	2073	9852	2.406			Projeto BR-101
	2008	12281	549	3419	16.249	3.968	1.78E+06		
1º	2009	13349	597	3716	17.662	4.313	1.93E+06	1.93E+06	
2º	2010	14510	649	4040	19.198	4.689	2.10E+06	4.03E+06	
3º	2011	15772	705	4391	20.868	5.096	2.28E+06	6.31E+06	
4º	2012	17143	767	4773	22.683	5.540	2.48E+06	8.79E+06	
5º	2013	18634	833	5188	24.656	6.021	2.69E+06	1.15E+07	

6°	2014	20255	906	5639	26.800	6.545	2.93E+06	1.44E+07	Proj. BR-Legal
7°	2015	22017	985	6130	29.131	7.114	3.18E+06	1.76E+07	
8°	2016	23931	1070	6663	31.664	7.733	3.46E+06	2.11E+07	
9°	2017	26013	1163	7242	34.418	8.405	3.76E+06	2.48E+07	
10°	2018	28275	1265	7872	37.411	9.136	4.09E+06	2.89E+07	
11°	2019	30734	1374	8557	40.665	9.931	4.44E+06	3.34E+07	
12°	2020	33407	1494	9301	44.202	10.795	4.83E+06	3.82E+07	

Tabela C.11 – Número N dos CP 5.7, CP 5.12.

CP 5.7, CP 5.12 - NÚMERO N (SUBTRECHO 06)									
Ano		Auto	Ônibus	Caminhão	VMD total	VMD comercial	AASHTO		Fonte dos dados
		Taxas de crescimento real					Fator de Veículo:	3.24	
		5.4%	5.4%	5.4%			Fator de Pista:	80%	
							Fator Direcional:	50%	
		Composição do tráfego					N		
		74.57%	2.72%	22.71%			Anual	Acum.	
	2002	5943	217	1810	7970	2.027			Projeto BR-101
1º	2008	8141	297	2479	10.917	2.777	1.31E+06	1.31E+06	
2º	2009	8579	313	2613	11.505	2.926	1.38E+06	2.70E+06	
3º	2010	9041	330	2753	12.124	3.084	1.46E+06	4.15E+06	
4º	2011	9528	348	2902	12.777	3.250	1.54E+06	5.69E+06	
5º	2012	11693	427	3561	15.681	3.988	1.89E+06	7.57E+06	PNCV
6º	2013	11695	427	3562	15.684	3.989	1.89E+06	9.46E+06	PNCV
7º	2014	13658	499	4160	18.316	4.658	2.20E+06	1.17E+07	PNCV
8º	2015	13379	489	4075	17.942	4.563	2.16E+06	1.38E+07	PNCV
9º	2016	12384	452	3772	16.608	4.224	2.00E+06	1.58E+07	PNCV
10º	2017	13051	477	3975	17.502	4.451	2.10E+06	1.79E+07	
11º	2018	13754	502	4189	18.445	4.691	2.22E+06	2.01E+07	
12º	2019	14494	529	4414	19.438	4.944	2.34E+06	2.25E+07	

13º	2020	15275	558	4652	20.484	5.210	2.46E+06	2.49E+07	
-----	------	-------	-----	------	--------	-------	----------	----------	--

Tabela C.12 – Número N do CP 5.8.

CP 5.8 - NÚMERO N (SUBTRECHO 06)									
Ano		Auto	Ônibus	Caminhão	VMD total	VMD comercial	AASHTO		Fonte dos dados
		Taxas de crescimento real					Fator de Veículo:	3.24	
		5.4%	5.4%	5.4%			Fator de Pista:	80%	
							Fator Direcional:	50%	
		Composição do tráfego					N		
		74.57%	2.72%	22.71%			Anual	Acum.	
	2002	5943	217	1810	7970	2027			Projeto BR-101
	2008	8141	297	2479	10.917	2.777	1.31E+06		
1º	2009	8579	313	2613	11.505	2.926	1.38E+06	1.38E+06	
2º	2010	9041	330	2753	12.124	3.084	1.46E+06	2.84E+06	
3º	2011	9528	348	2902	12.777	3.250	1.54E+06	4.38E+06	
4º	2012	11693	427	3561	15.681	3.988	1.89E+06	6.26E+06	PNCV
5º	2013	11695	427	3562	15.684	3.989	1.89E+06	8.15E+06	PNCV
6º	2014	13658	499	4160	18.316	4.658	2.20E+06	1.03E+07	PNCV
7º	2015	13379	489	4075	17.942	4.563	2.16E+06	1.25E+07	PNCV
8º	2016	12384	452	3772	16.608	4.224	2.00E+06	1.45E+07	PNCV
9º	2017	13051	477	3975	17.502	4.451	2.10E+06	1.66E+07	
10º	2018	13754	502	4189	18.445	4.691	2.22E+06	1.88E+07	
11º	2019	14494	529	4414	19.438	4.944	2.34E+06	2.12E+07	
12º	2020	15275	558	4652	20.484	5.210	2.46E+06	2.36E+07	

Tabela C.13 – Número N dos CP 5.2, CP 5.3, CP 5.4, CP 5.10, CP 5.11.

CP 5.2, CP 5.3, CP 5.4, CP 5.10, CP 5.11 - NÚMERO N (SUBTRECHO 07)								
Ano	Auto	Ônibus	Caminhão	VMD total	VMD comercial	AASHTO		Fonte dos dados
	Taxas de crescimento real					Fator de Veículo:	3.24	

		4.5%	4.5%	4.5%			Fator de Pista:	80%	
							Fator Direcional:	50%	
		Composição do tráfego					N		
		69.19%	2.45%	28.36%			Anual	Acum.	
	2002	4742	168	1944	6854	2.112			Projeto BR-101
1°	2008	6190	219	2538	8.947	2.757	1.30E+06	1.30E+06	
2°	2009	6471	229	2653	9.353	2.882	1.36E+06	2.67E+06	
3°	2010	6765	240	2773	9.778	3.013	1.43E+06	4.09E+06	
4°	2011	7072	251	2899	10.222	3.150	1.49E+06	5.58E+06	
5°	2012	9048	321	3709	13.078	4.030	1.91E+06	7.49E+06	PNCV
6°	2013	9199	326	3771	13.296	4.097	1.94E+06	9.43E+06	PNCV
7°	2014	10704	379	4388	15.472	4.768	2.26E+06	1.17E+07	PNCV
8°	2015	10327	366	4233	14.926	4.599	2.18E+06	1.39E+07	PNCV
9°	2016	8831	313	3620	12.764	3.933	1.86E+06	1.57E+07	PNCV
10°	2017	9232	327	3785	13.344	4.112	1.95E+06	1.77E+07	
11°	2018	9651	342	3957	13.950	4.298	2.03E+06	1.97E+07	
12°	2019	10090	357	4136	14.583	4.494	2.13E+06	2.18E+07	
	2020	10548	374	4324	15.246	4.698	2.22E+06	2.41E+07	

APÊNDICE D – Difratomogramas de raios X das amostras.

As Figuras D.1 a D.19 apresentam os difratogramas das amostras obtidos por meio do ensaio de difração de raios X e refinamento Rietveld realizado através do software Gsas-II.

Figura D.1 – Difrátograma de raios X da amostra CP3.1

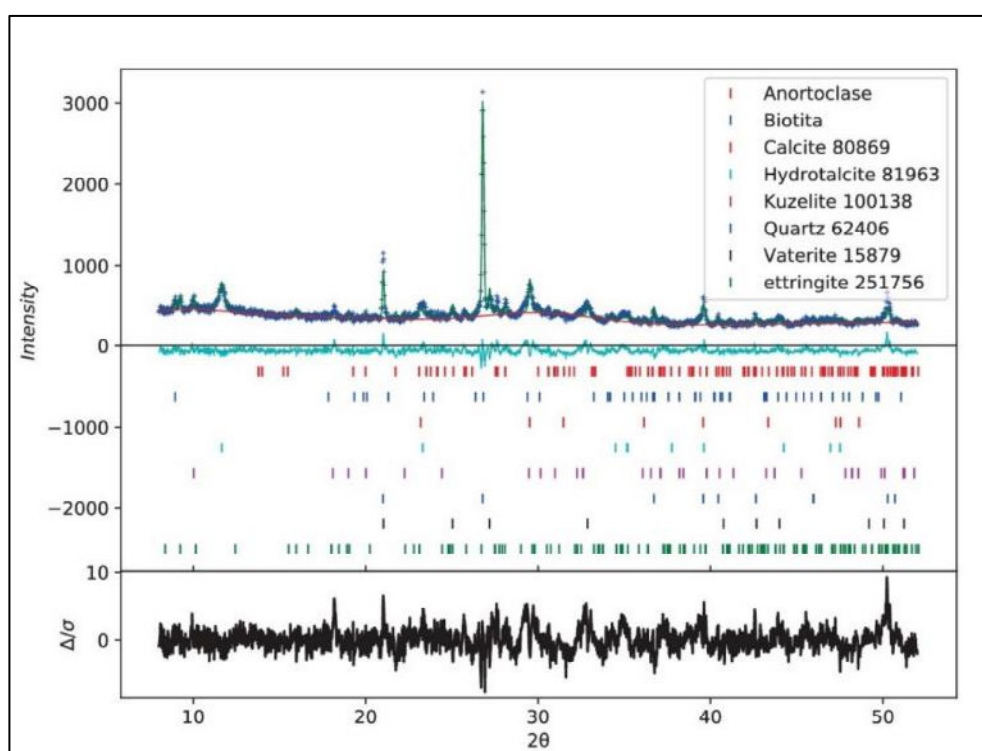


Figura D.2 – Difratoograma de raios X da amostra CP3.2

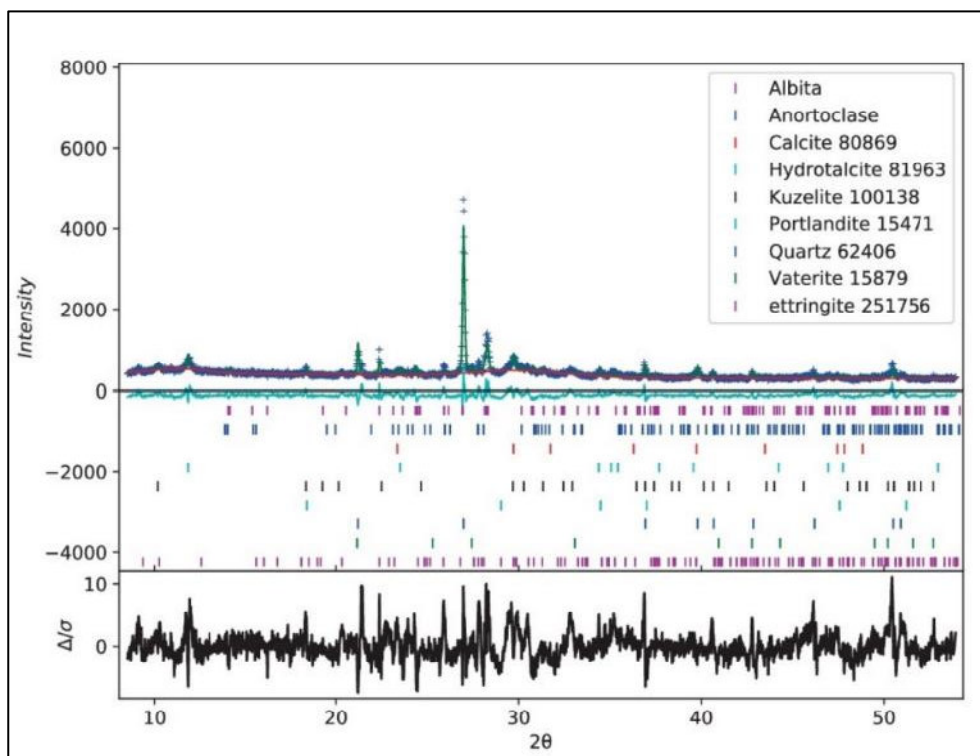


Figura D.3 – Difratoograma de raios X da amostra CP3.4

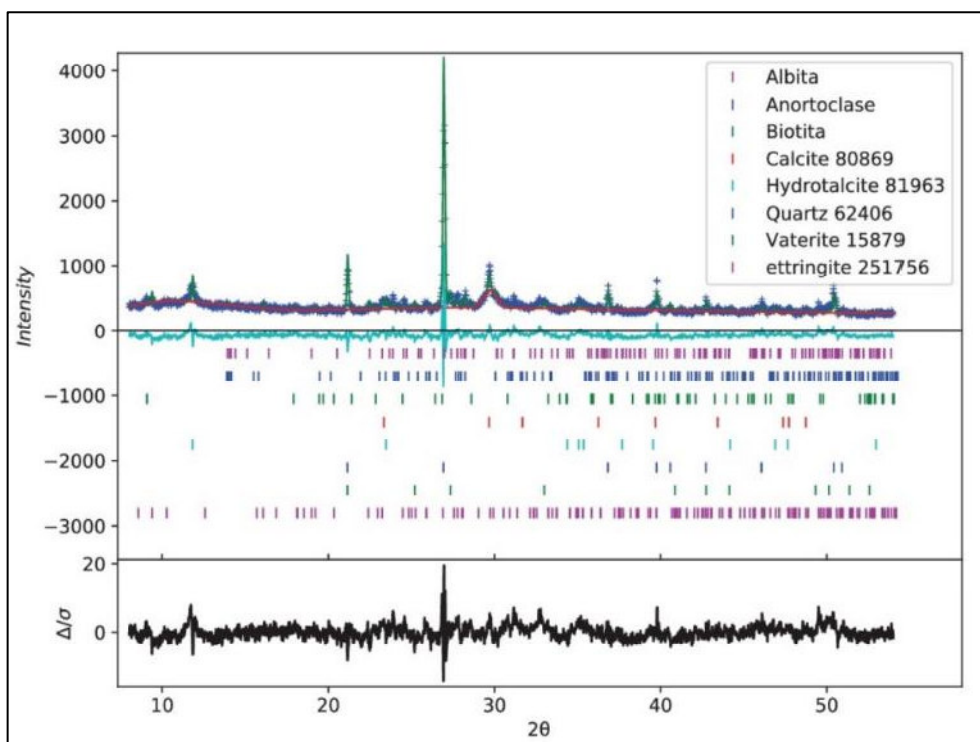


Figura D.4 – Difratoograma de raios X da amostra CP3.5

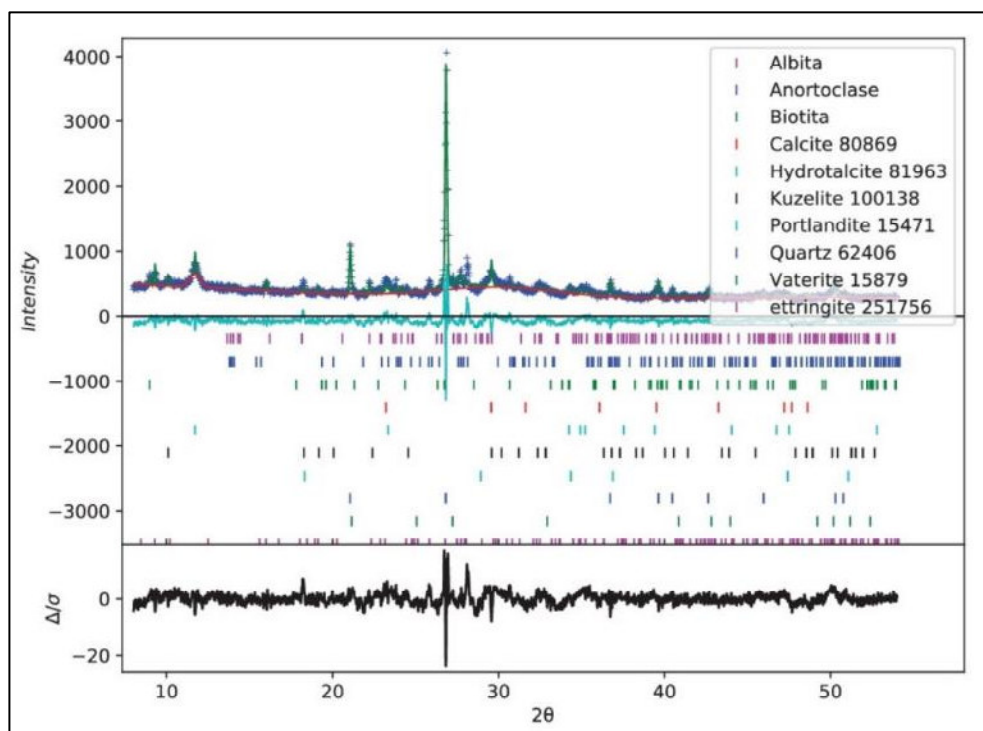


Figura D.5 – Difratoograma de raios X da amostra CP3.8

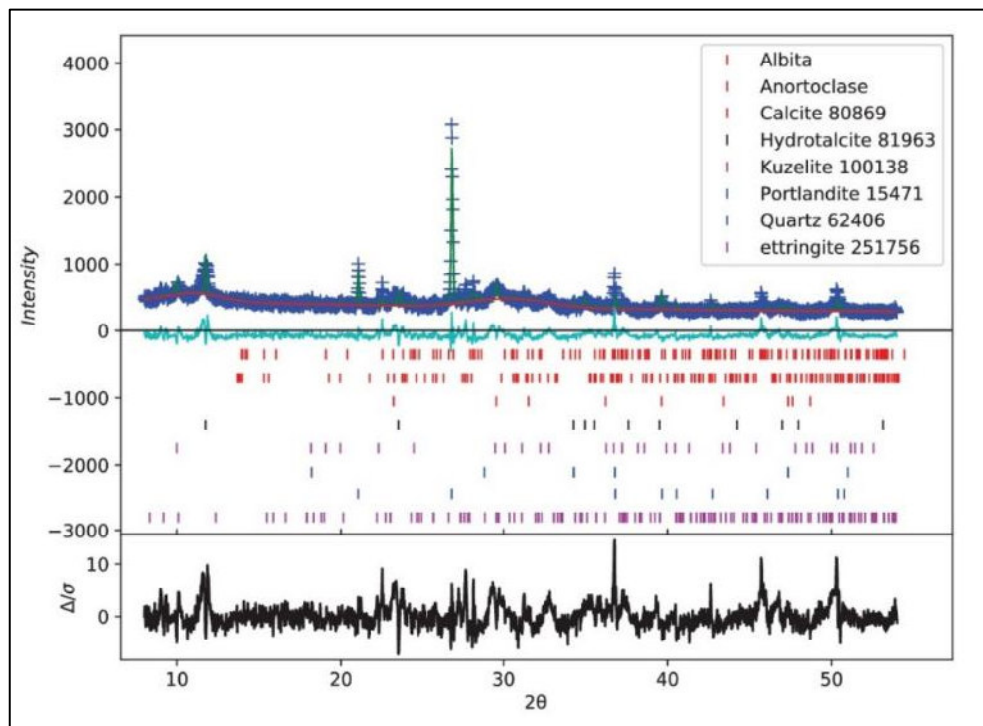


Figura D.6 – Difratoograma de raios X da amostra CP3.9

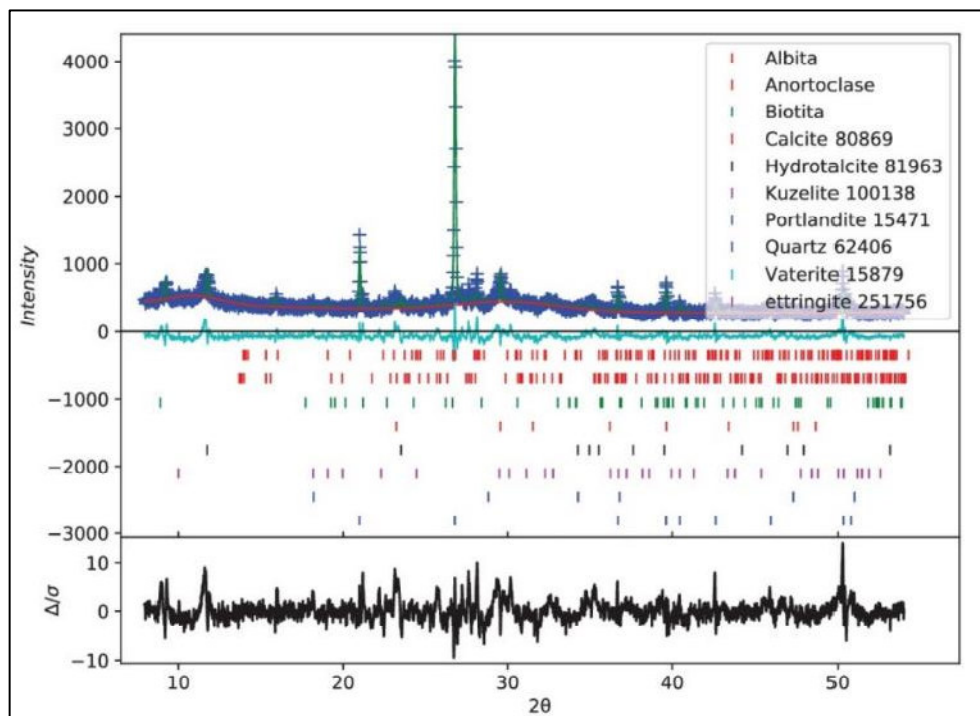


Figura D.7 – Difratoograma de raios X da amostra CP4.1

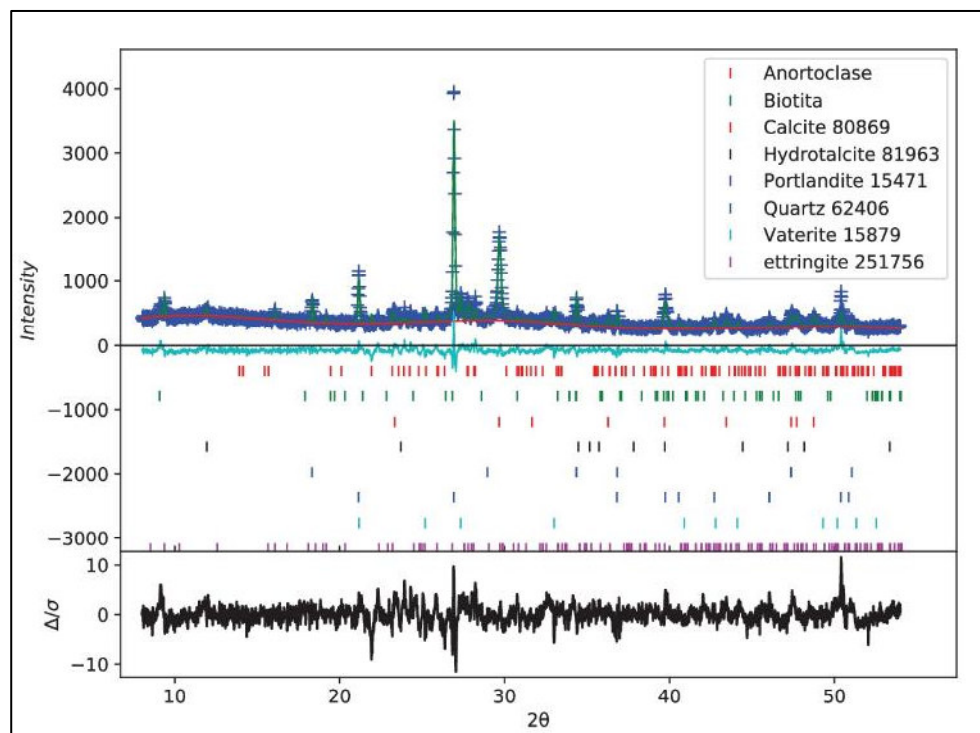


Figura D.8 – Difratoograma de raios X da amostra CP4.3

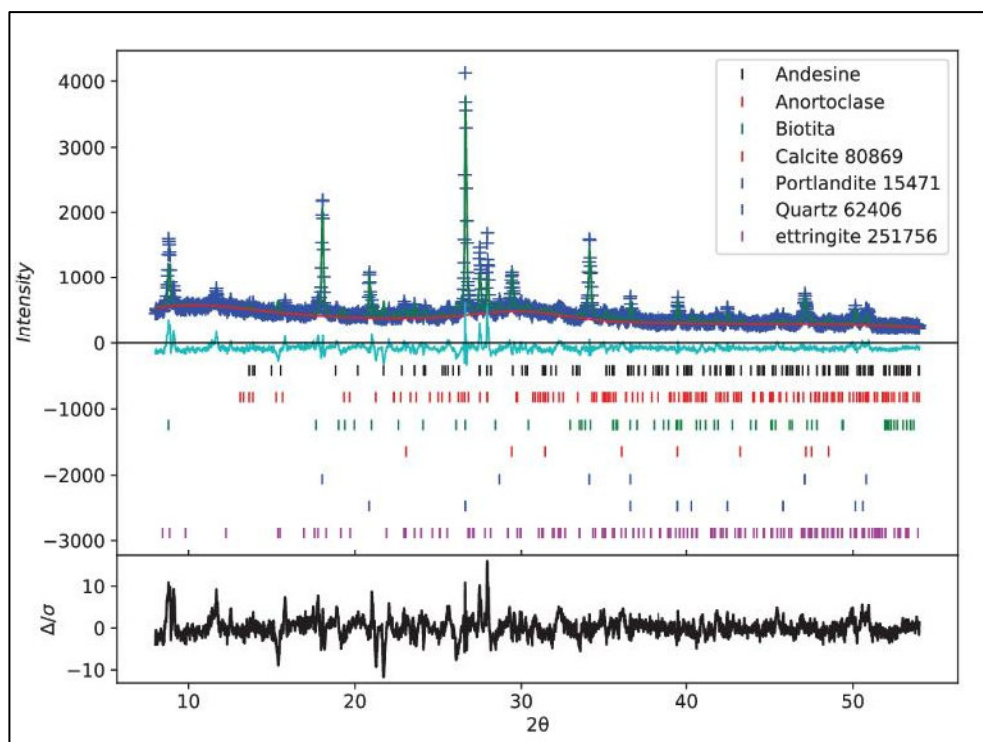


Figura D.9 – Difratoograma de raios X da amostra CP4.5

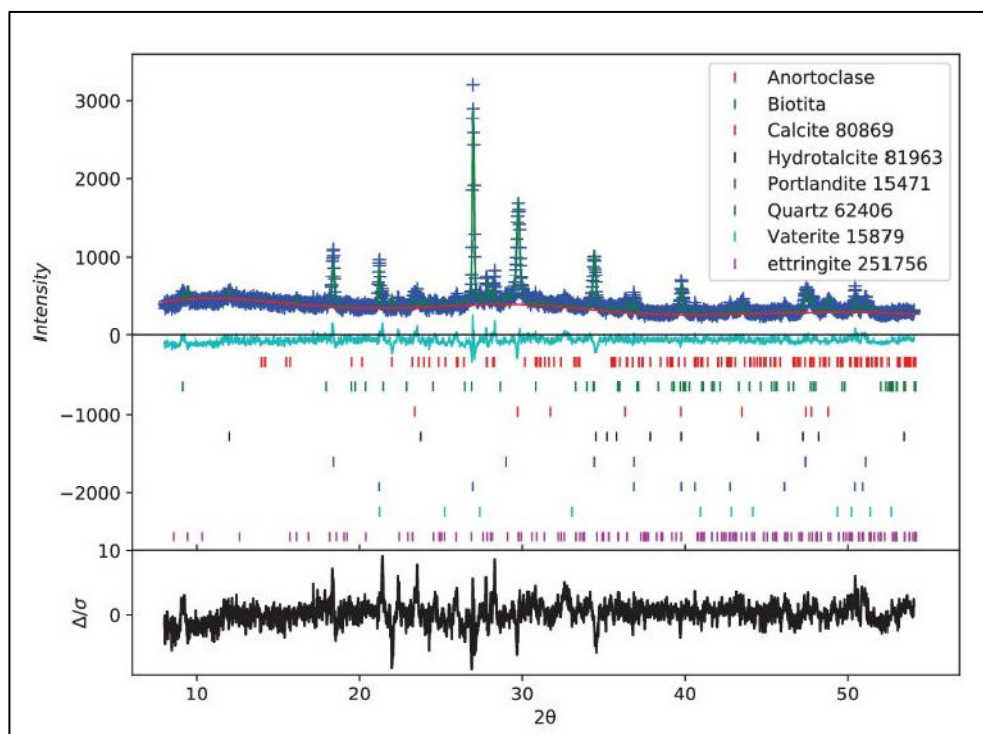


Figura D.10 – Difratoograma de raios X da amostra CP4.6

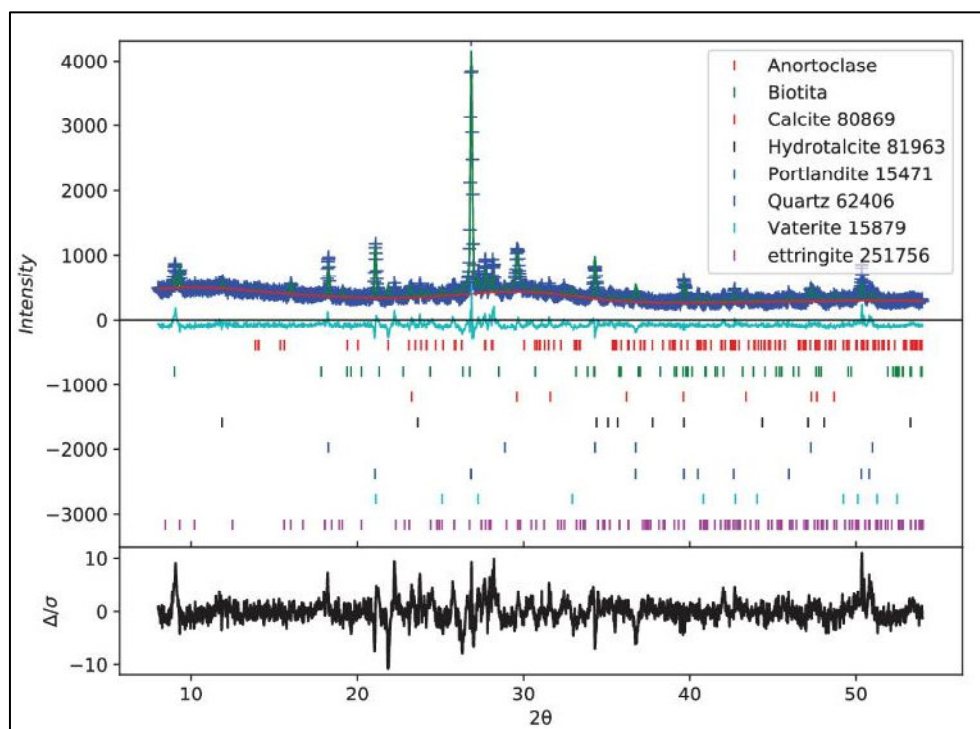


Figura D.11– Difratoograma de raios X da amostra CP4.7

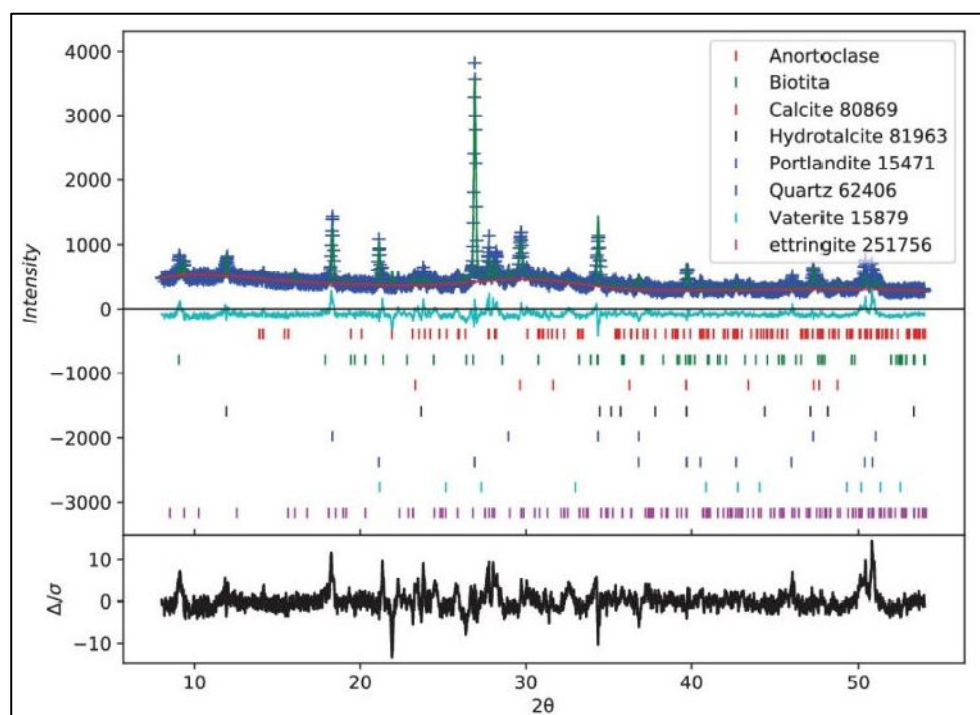


Figura D.12 – Difratoograma de raios X da amostra CP4.8

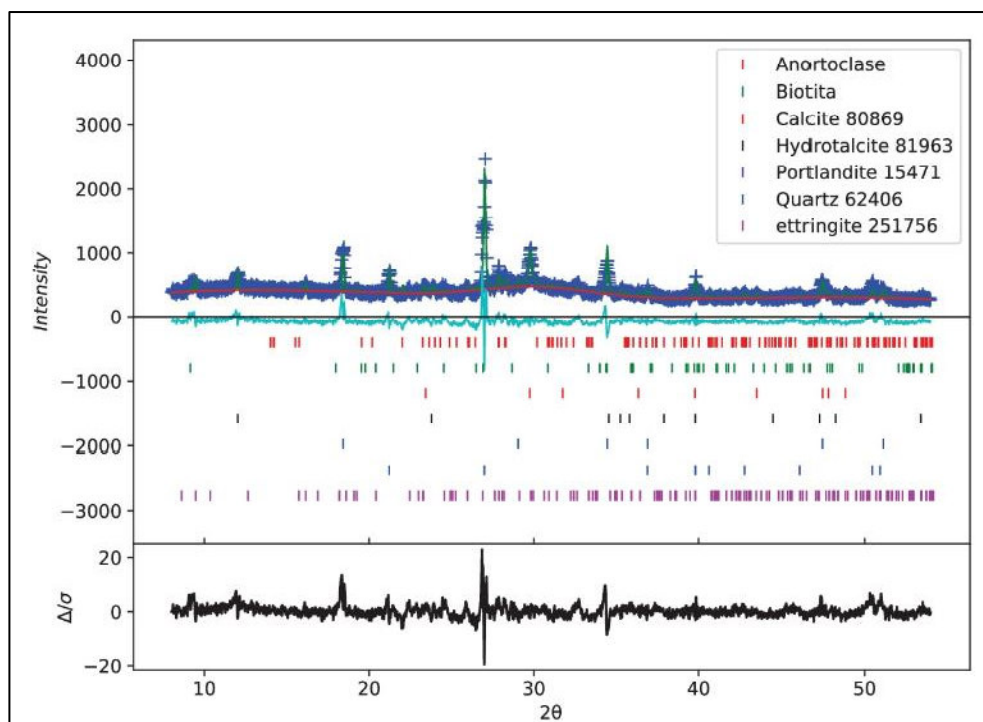


Figura D.13 – Difratoograma de raios X da amostra CP4.9

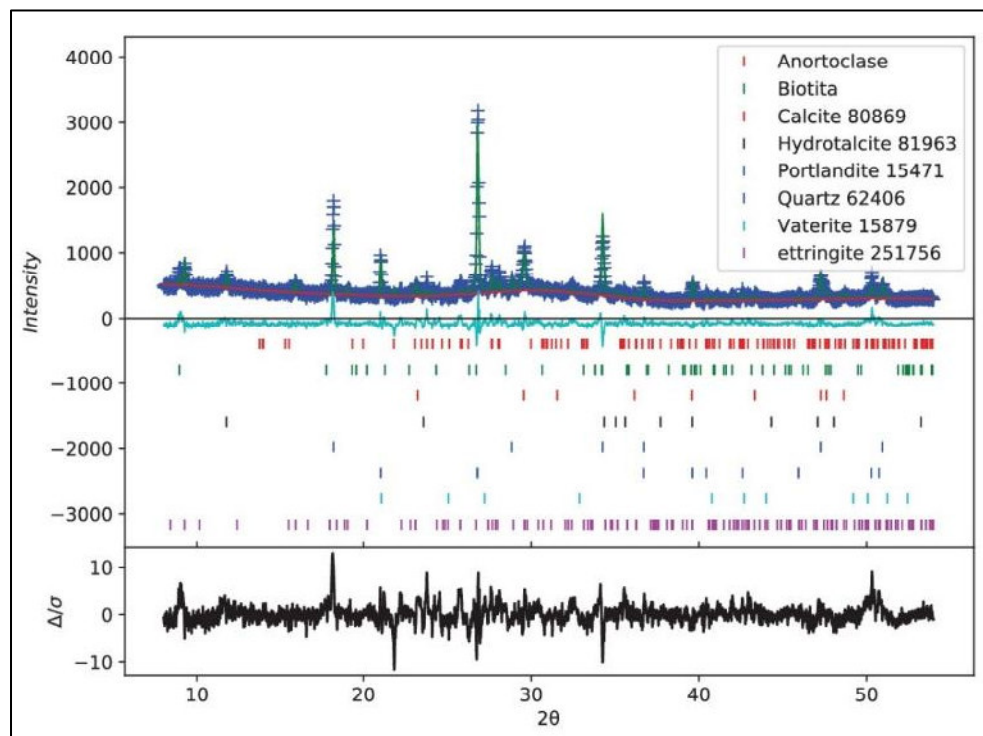


Figura D.14 – Difratoograma de raios X da amostra CP5.1

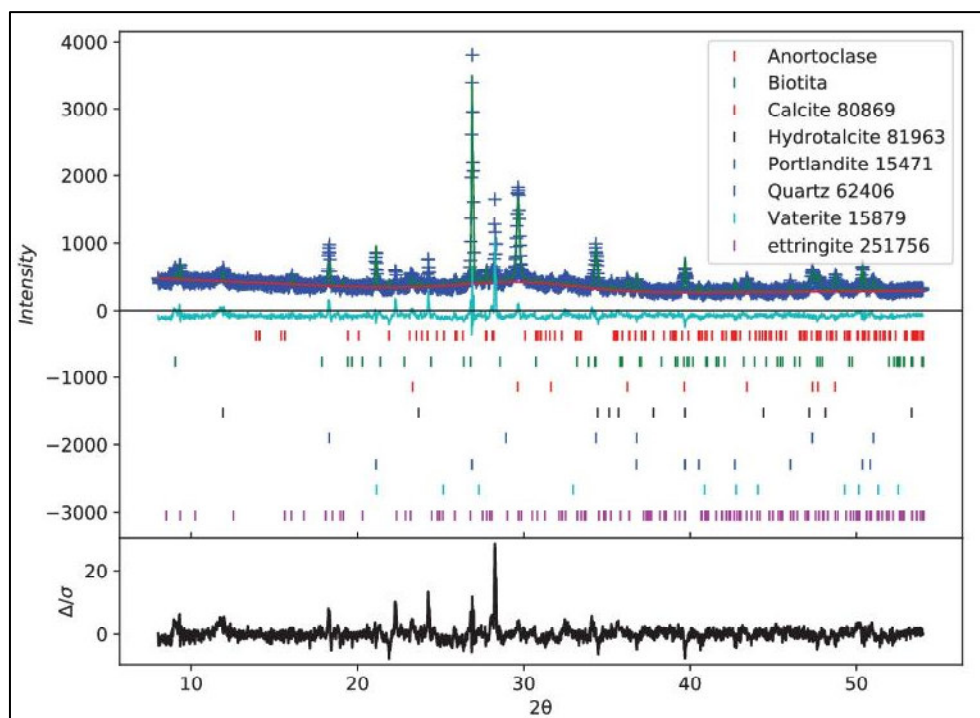


Figura D.15 – Difratoograma de raios X da amostra CP5.5

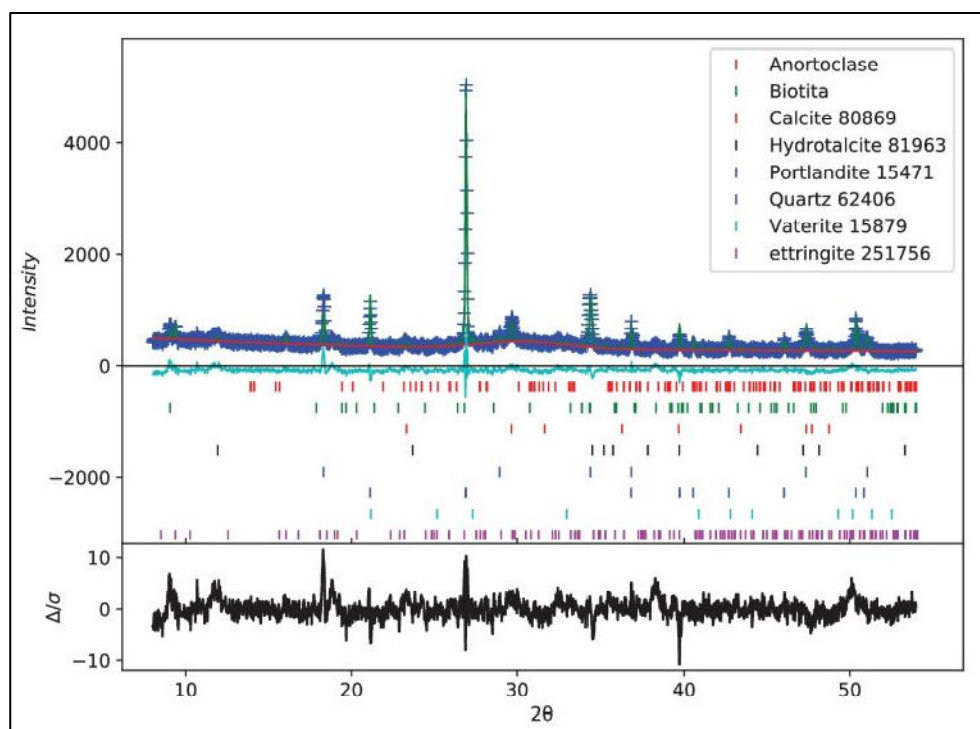


Figura D.16 – Difratoograma de raios X da amostra CP5.6

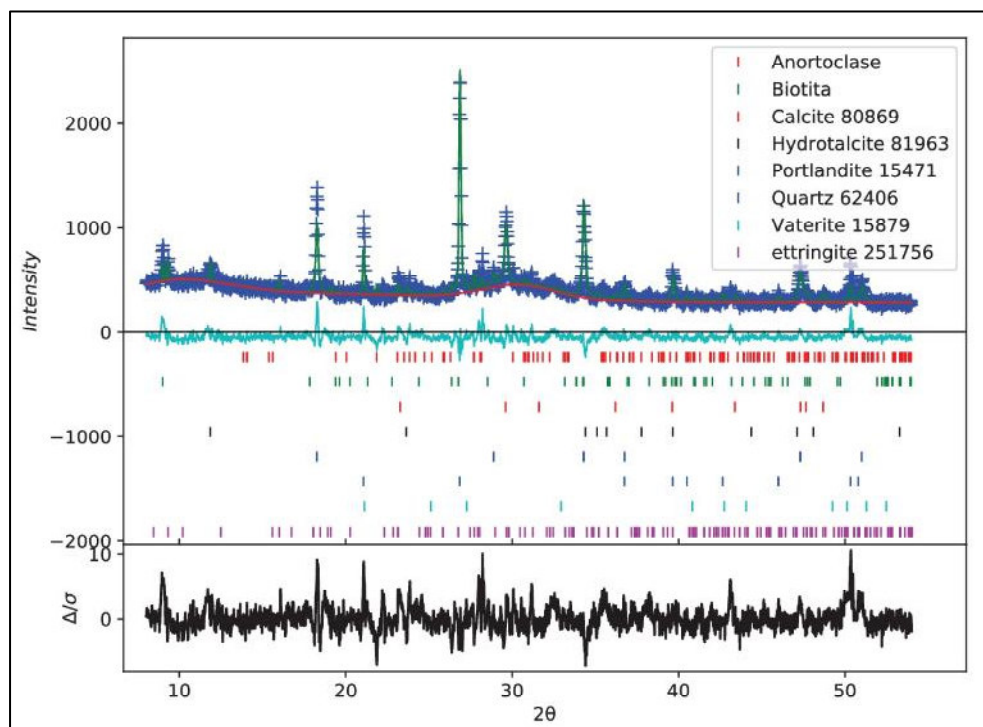


Figura D.17 – Difratoograma de raios X da amostra CP5.7

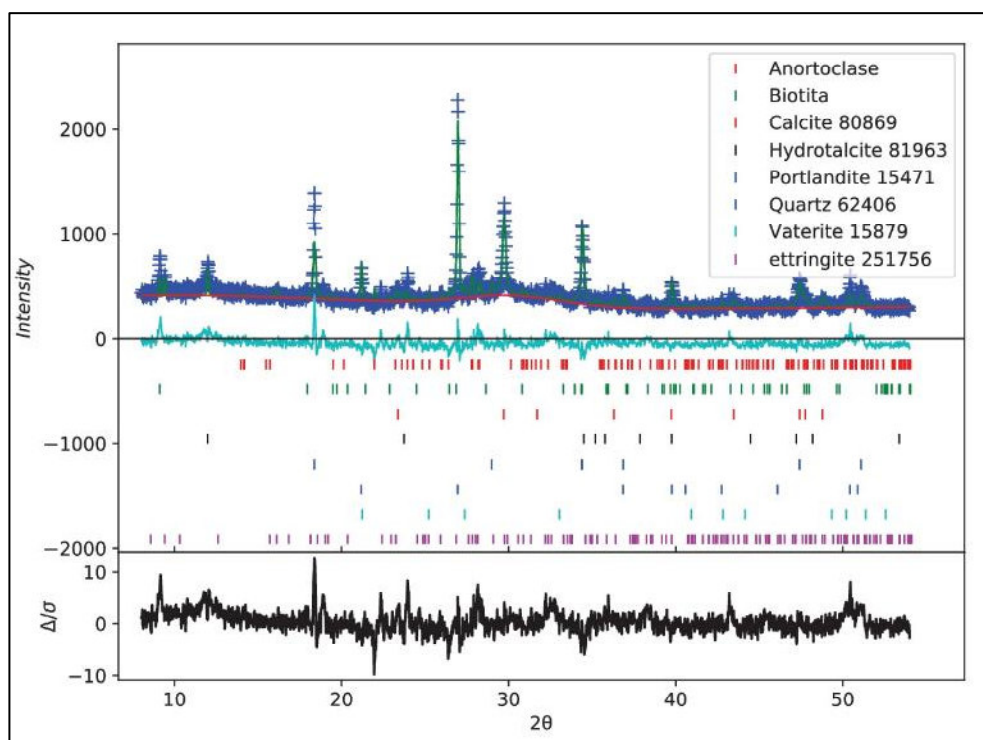


Figura D.18 – Difratoograma de raios X da amostra CP5.8

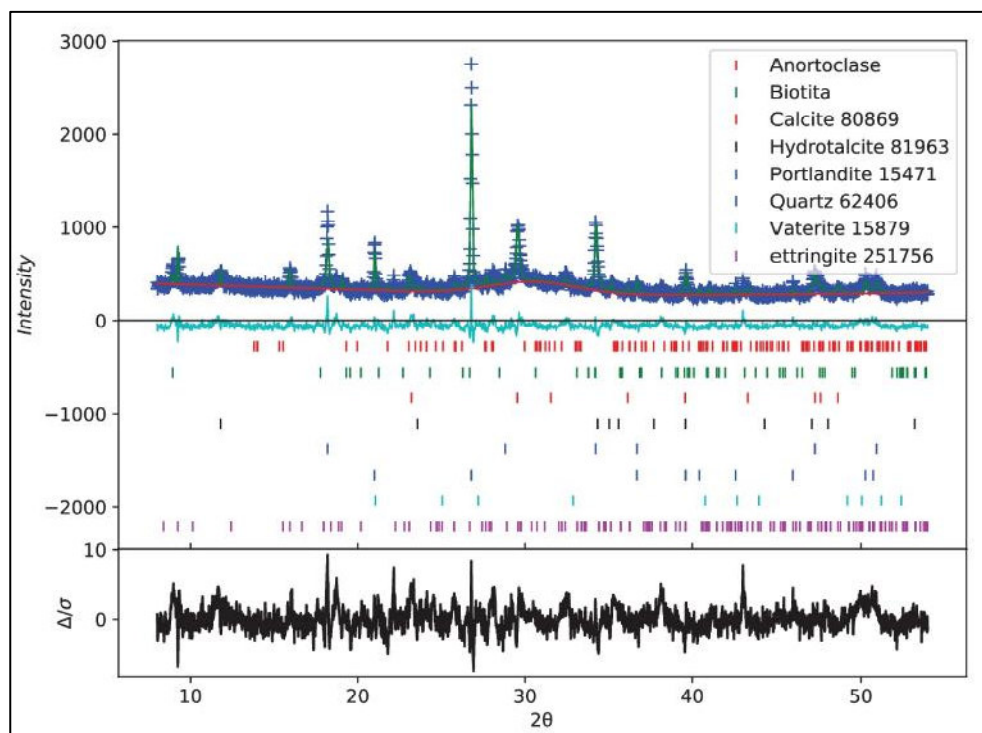
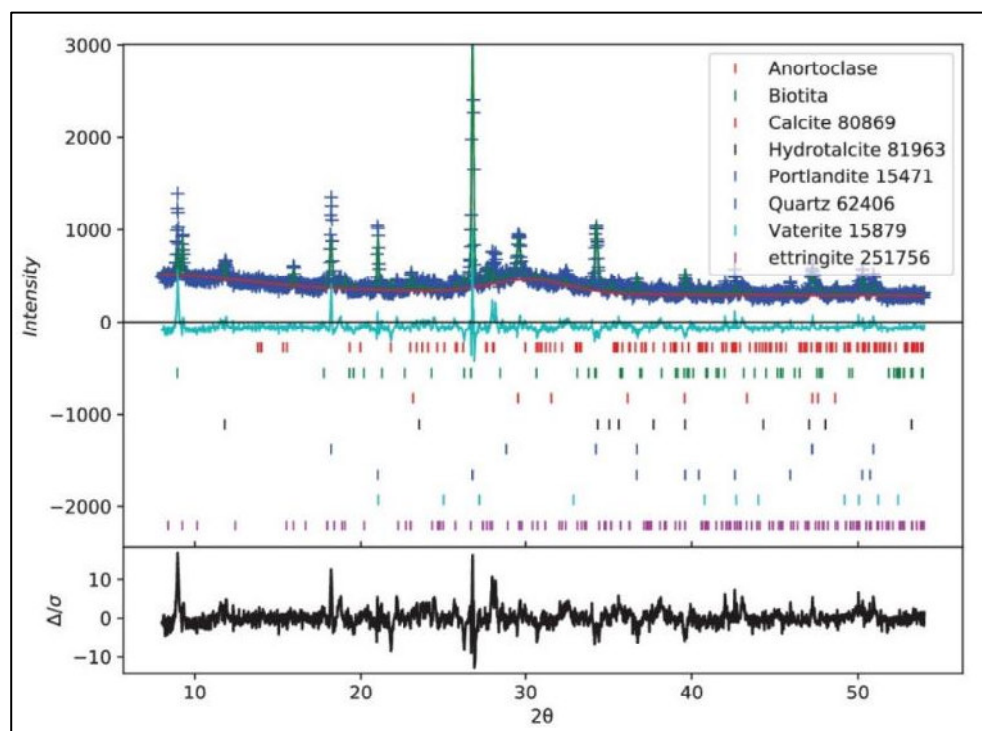


Figura D.19 – Difratoograma de raios X da amostra CP5.9



APÊNDICE E – Curvas de termogravimetria (TG/DTG) e Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) das amostras.

As Figuras E.1 a E.18 apresentam as curvas de termogravimetria (TG), de sua derivada (DTG) e a de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) das amostras.

Figura E.1 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP3.1

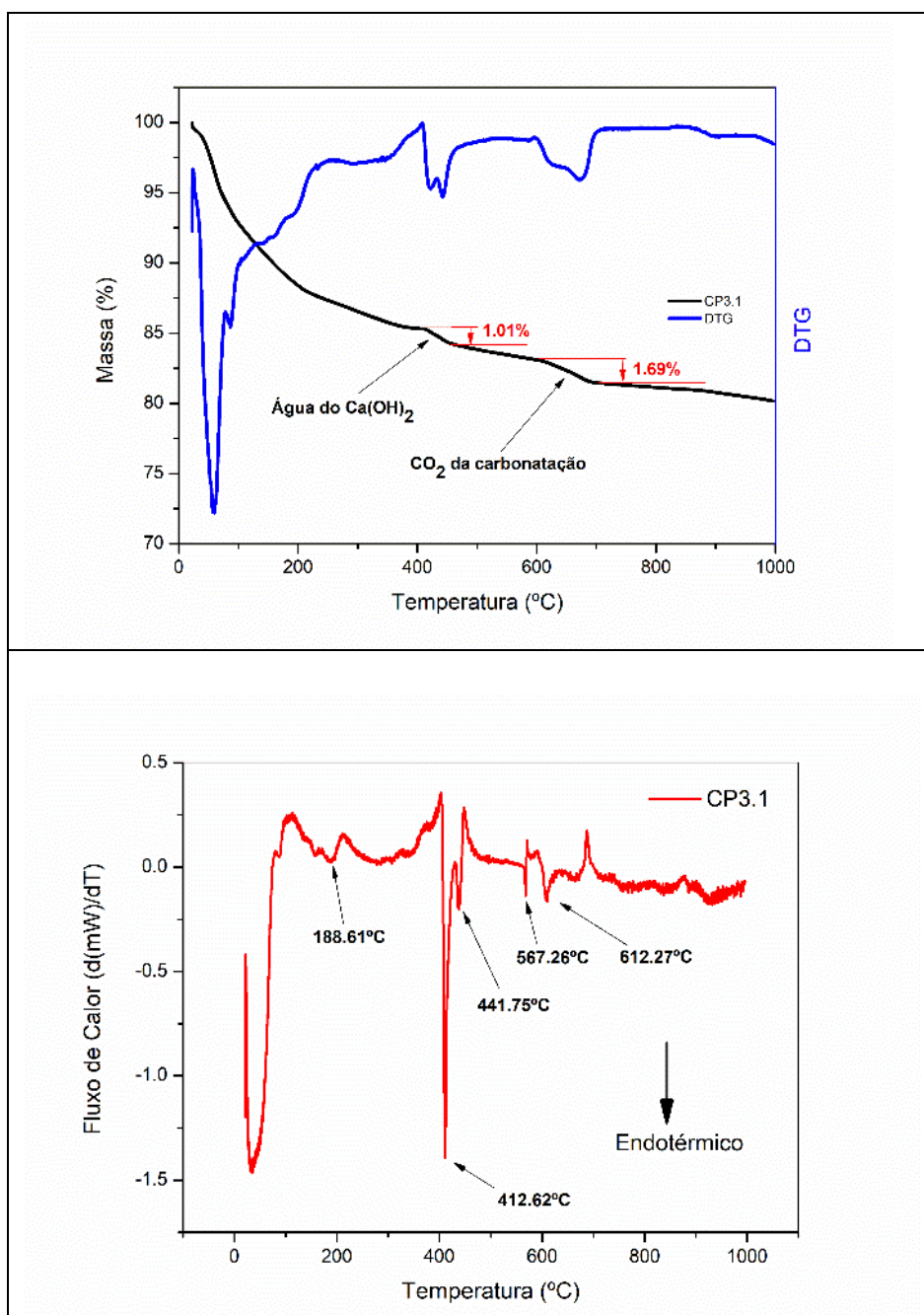


Figura E.2 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP3.2

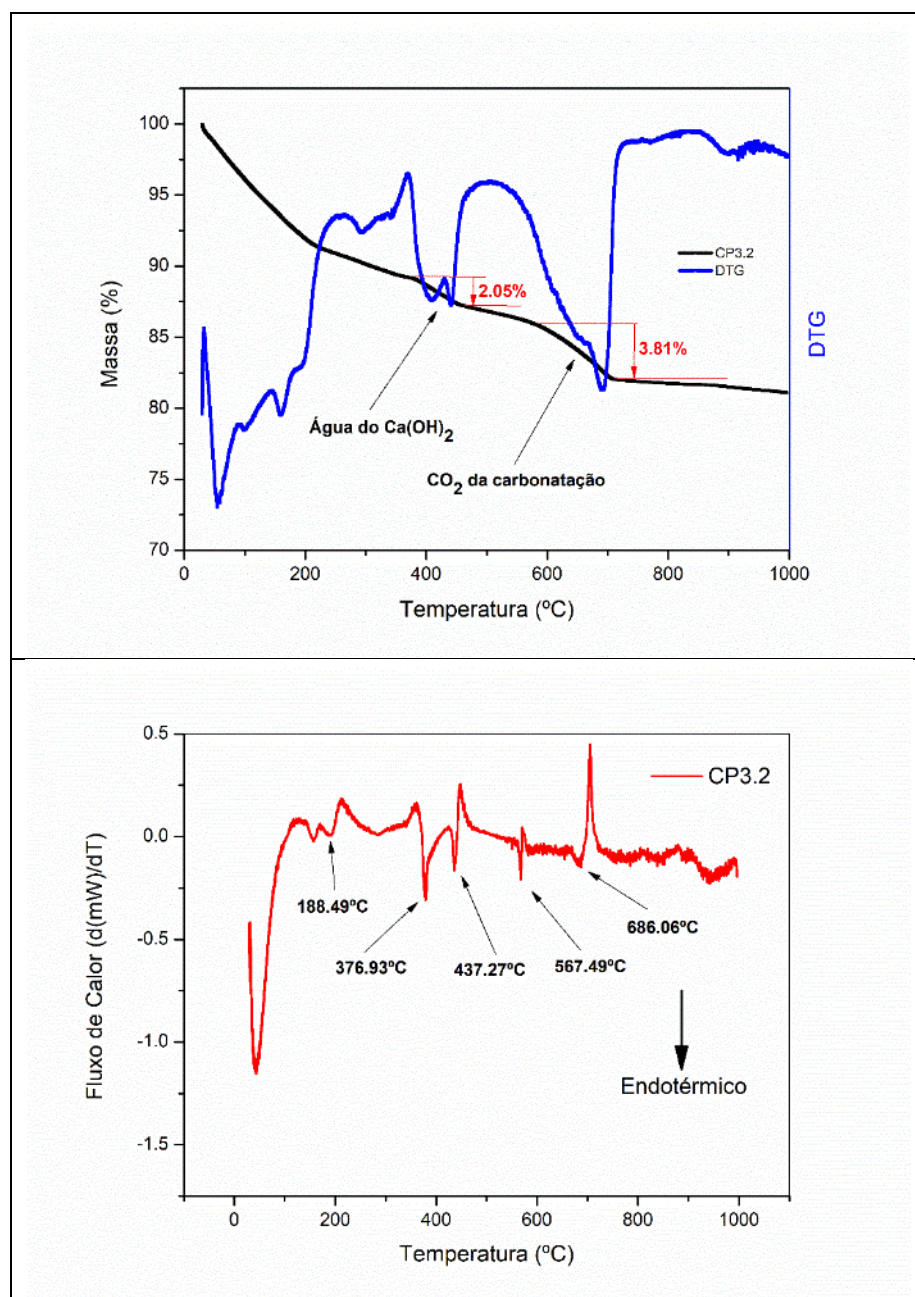


Figura E.3 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP3.3

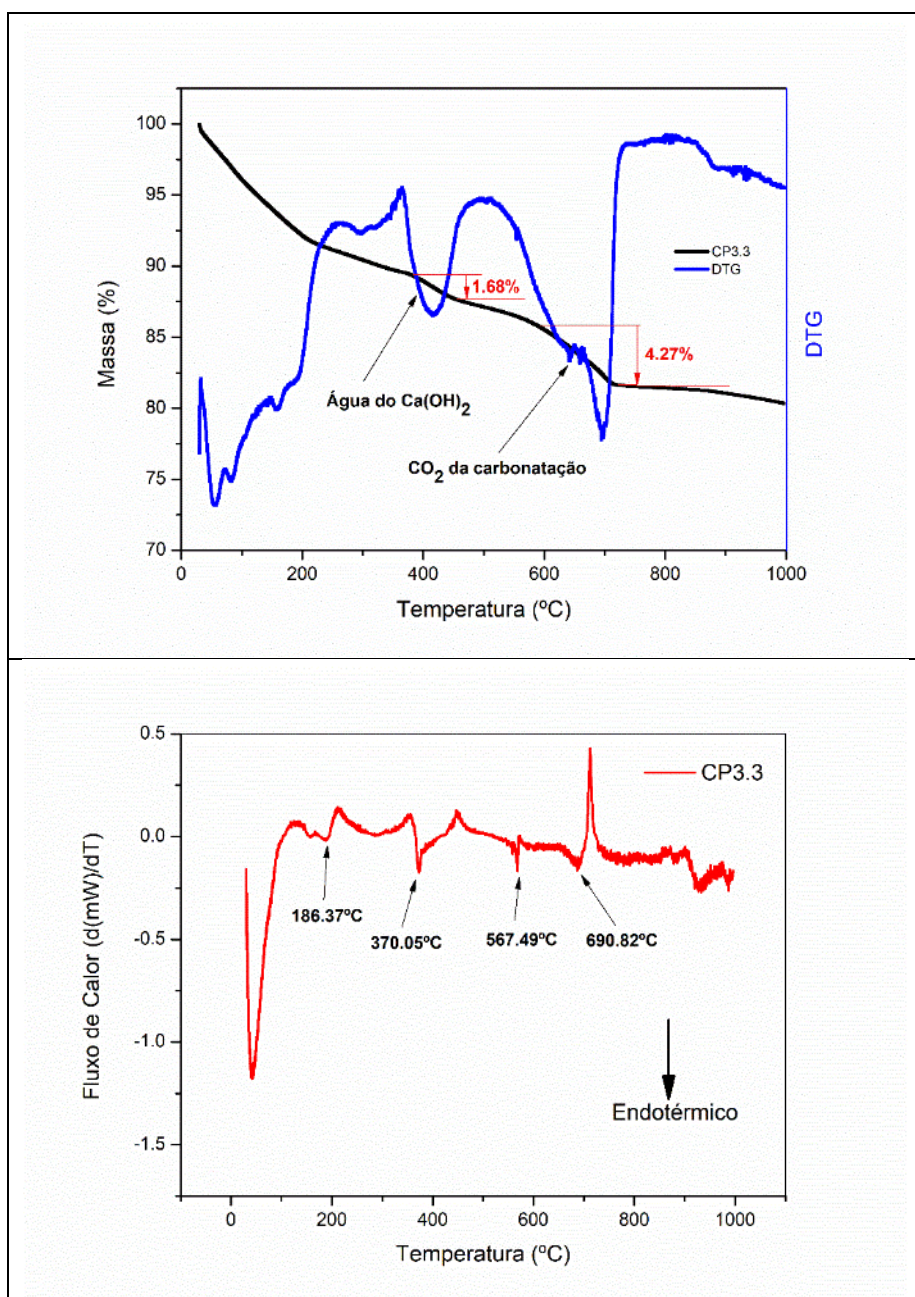


Figura E.4 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP3.4

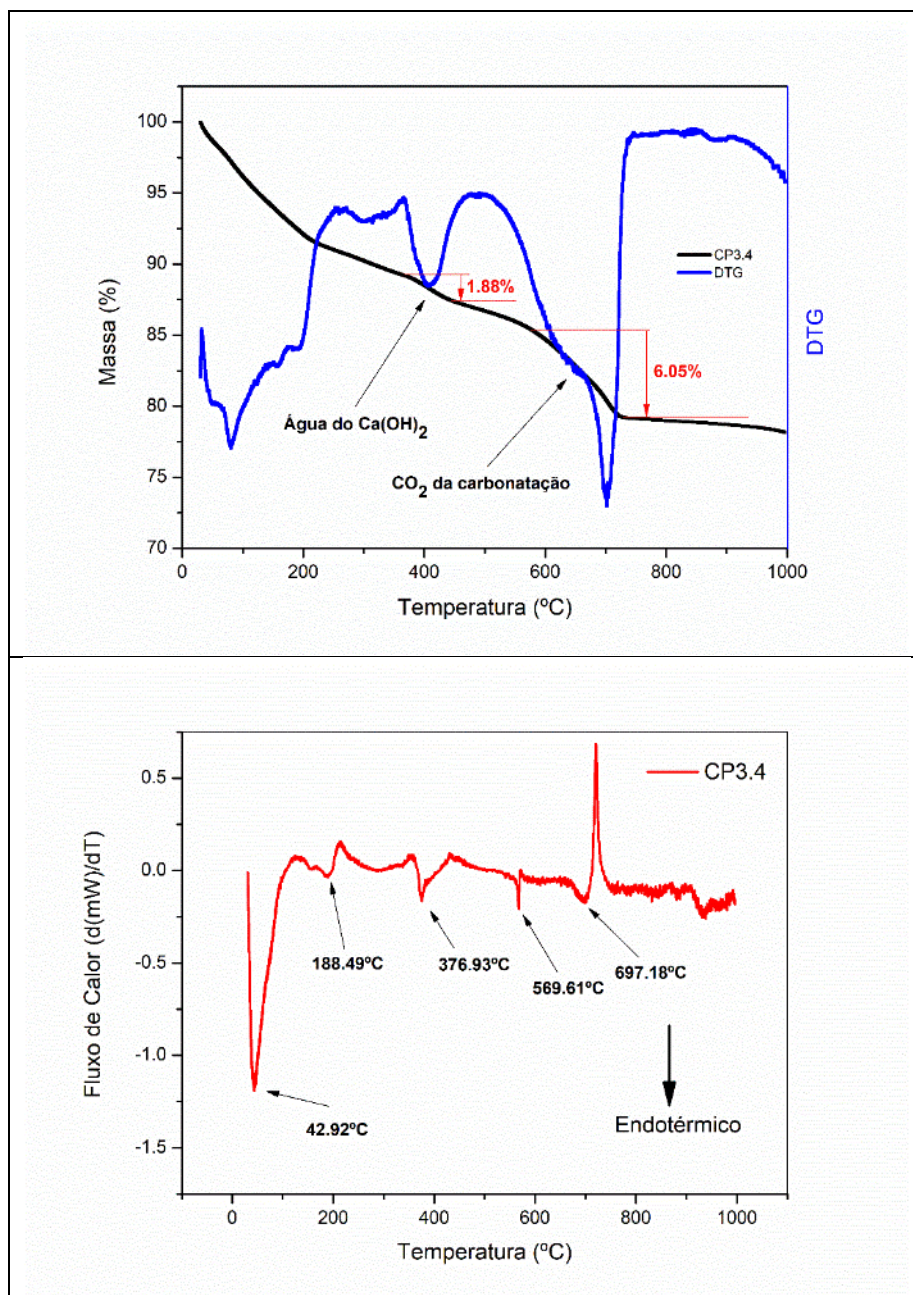


Figura E.5 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP3.5

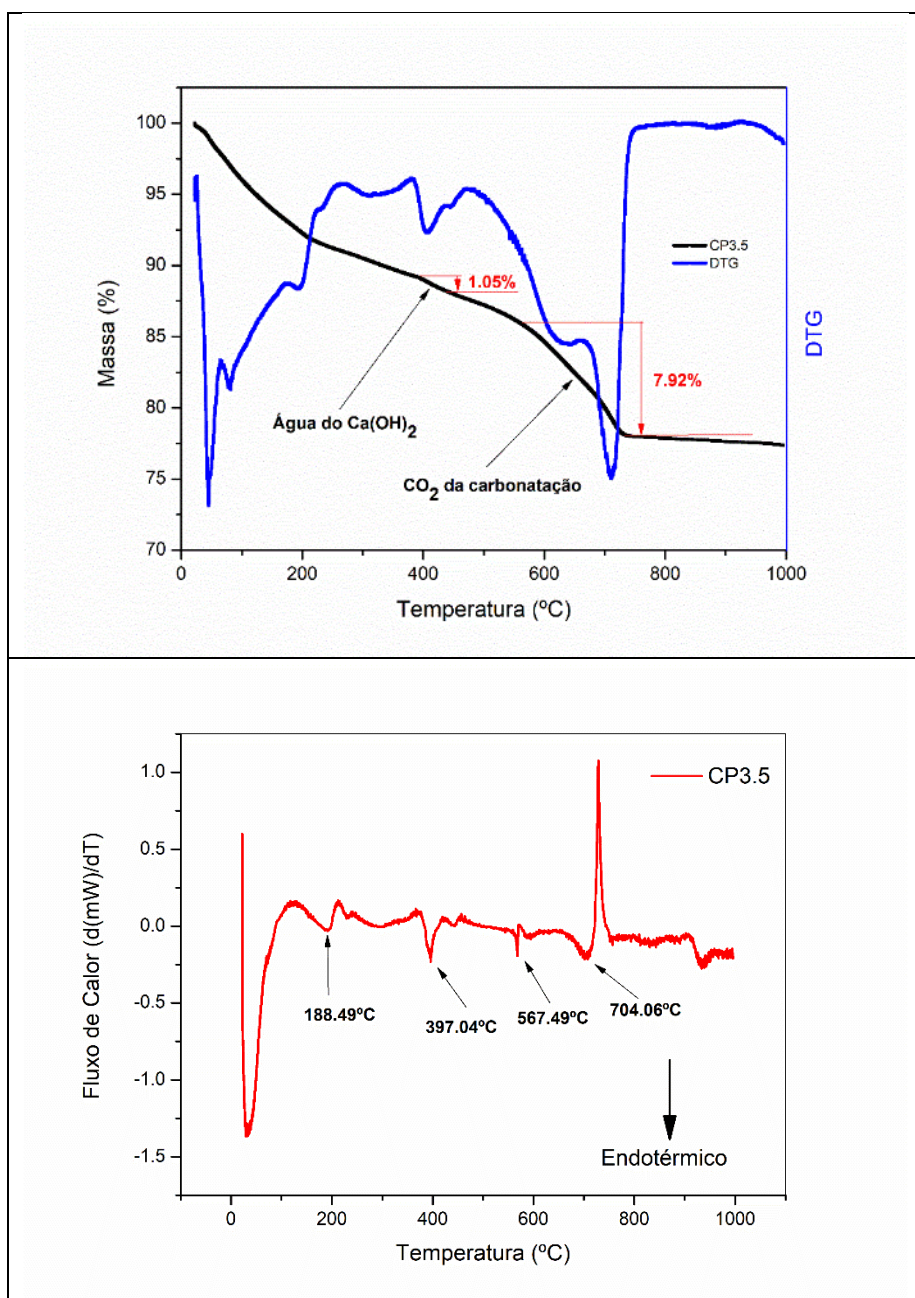


Figura E.6 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP3.8

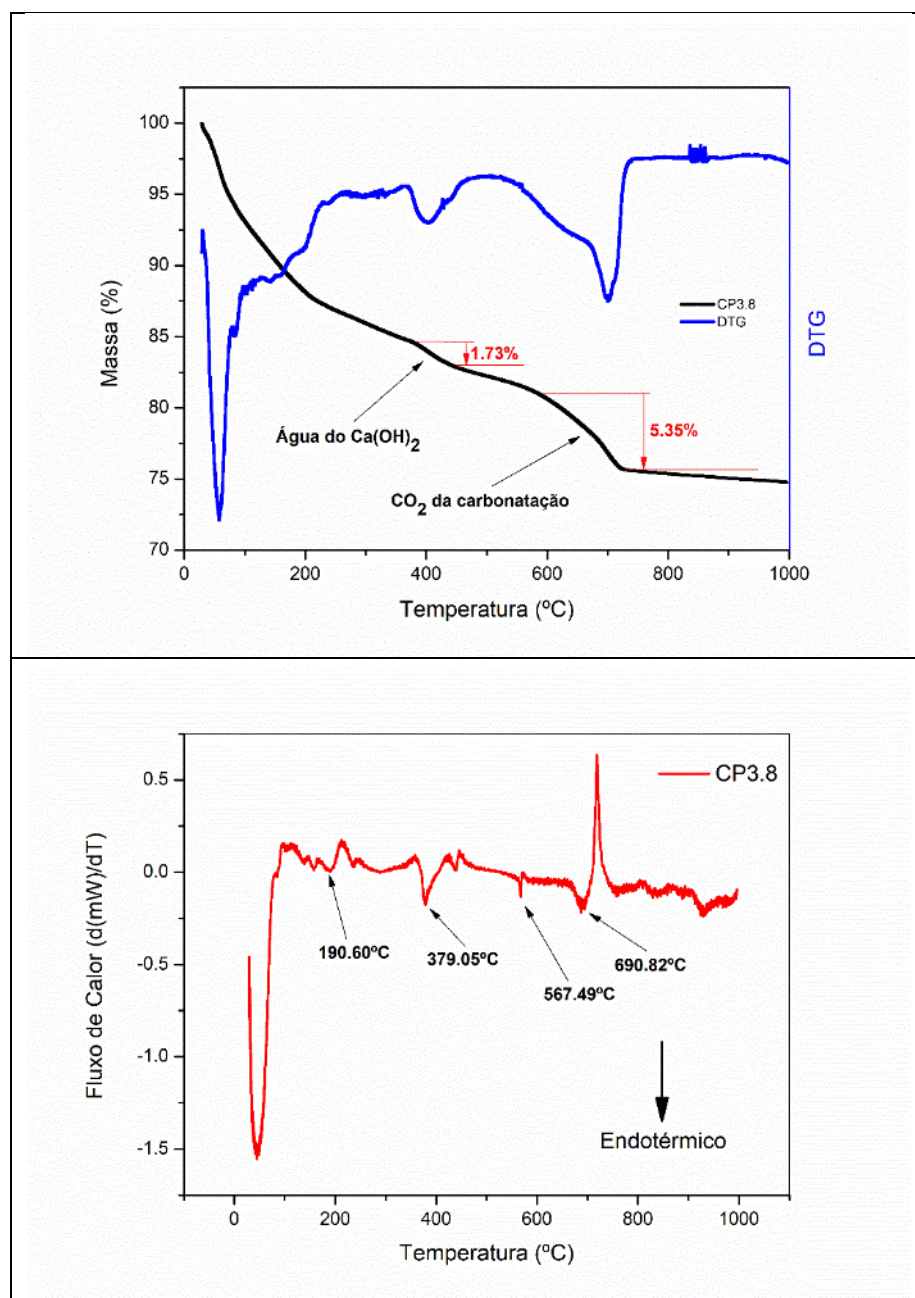


Figura E.7 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP3.9

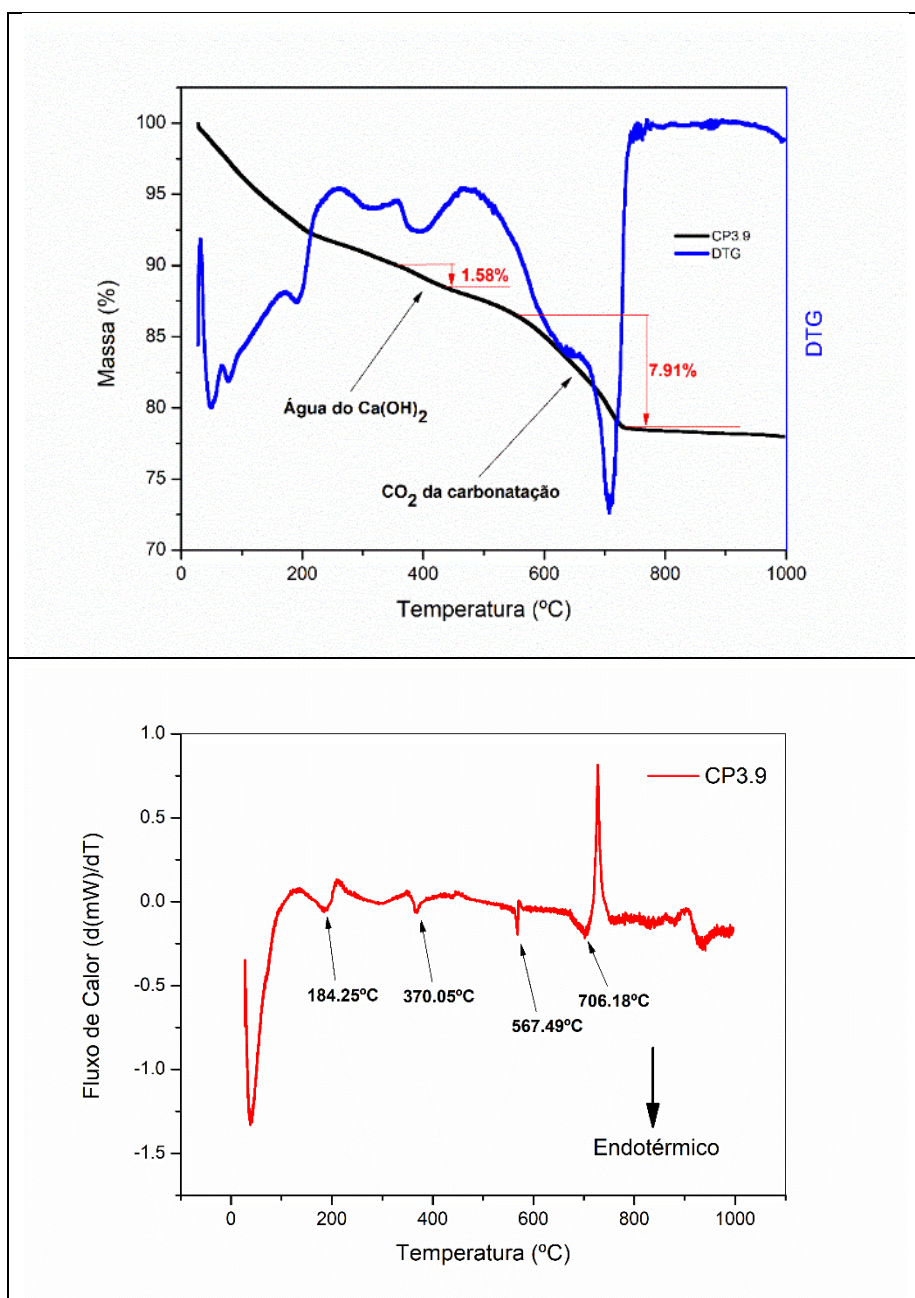


Figura E.8 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP4.3

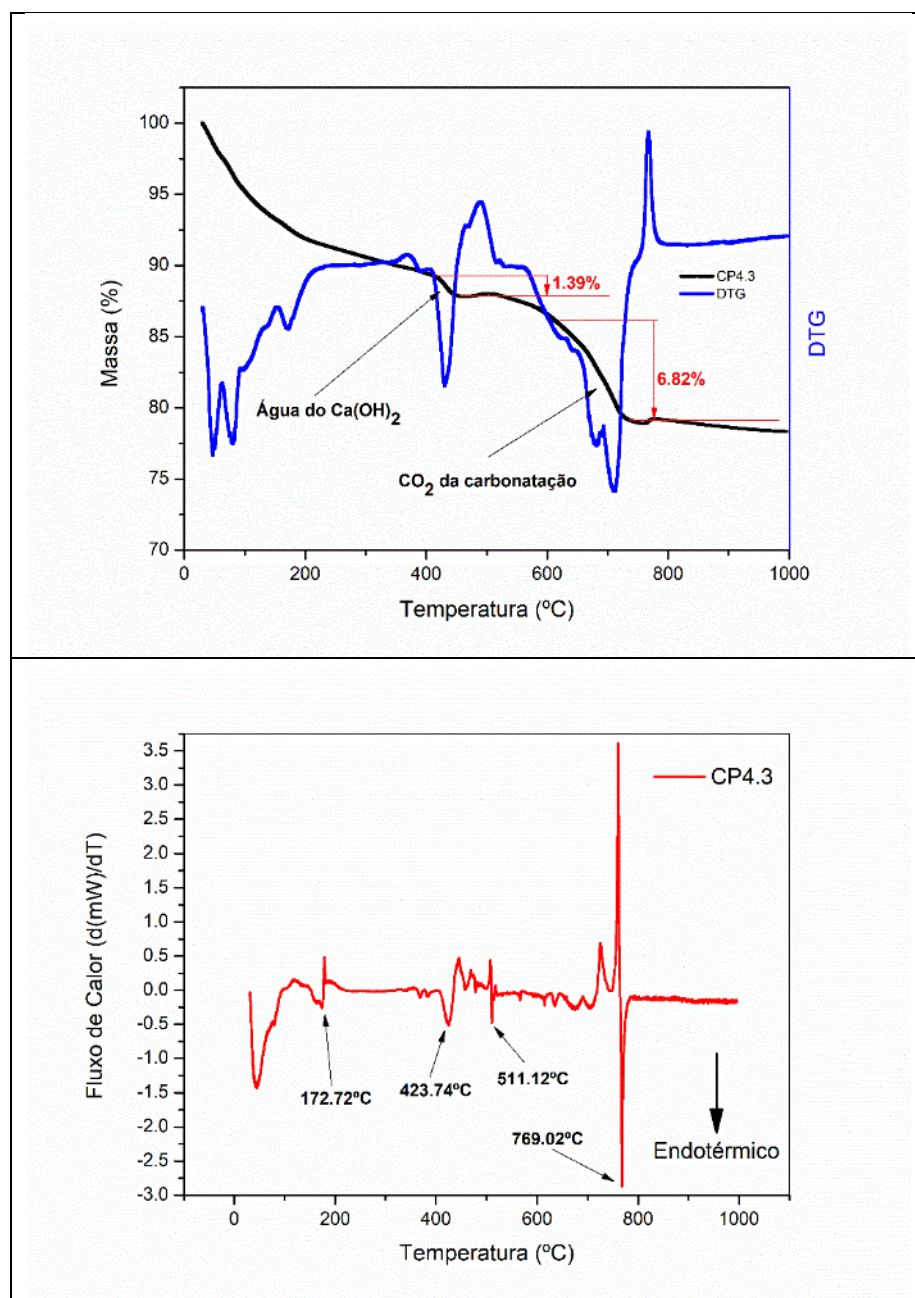


Figura E.9 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP4.5

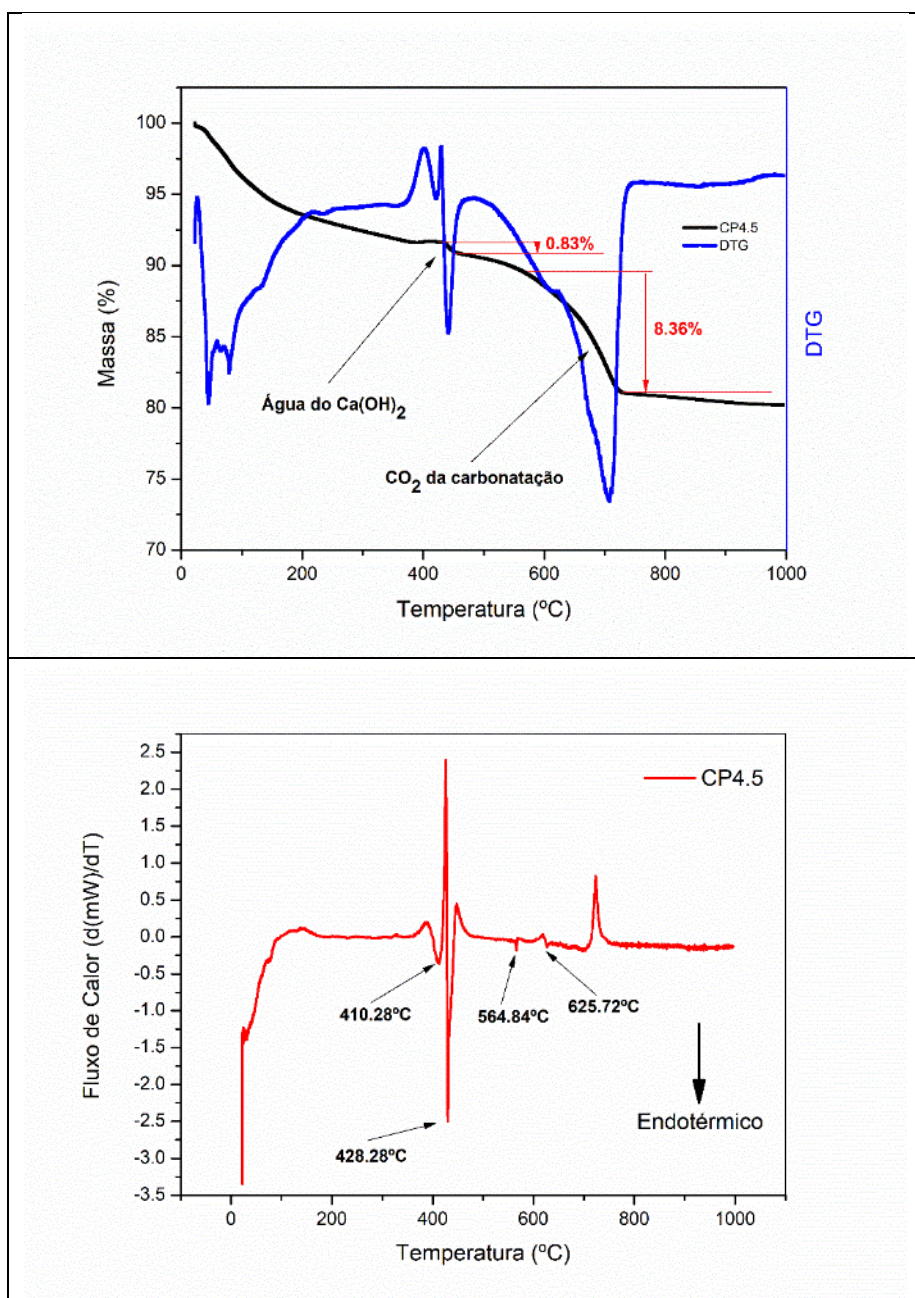


Figura E.10 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP4.6

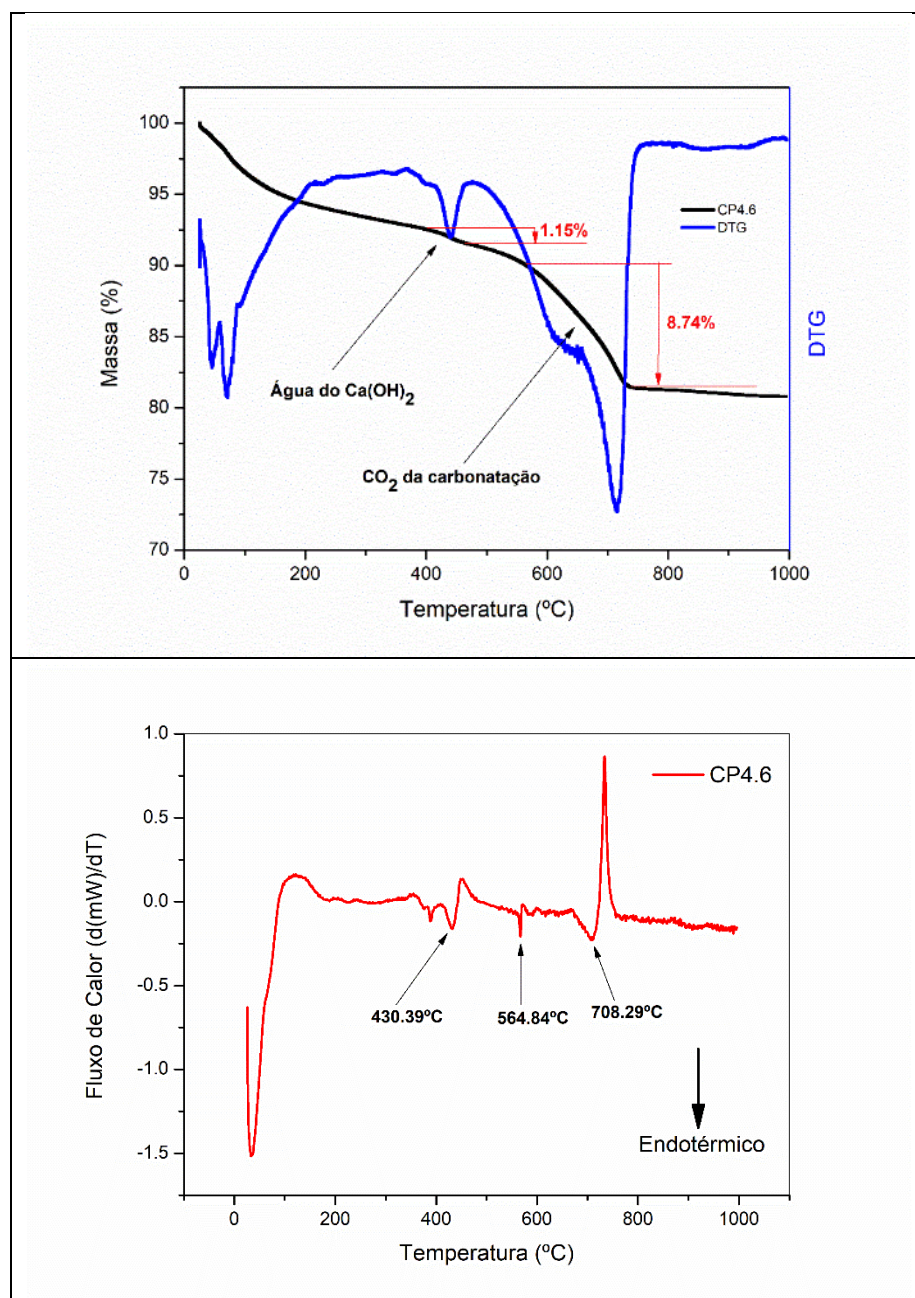


Figura E.11 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP4.7

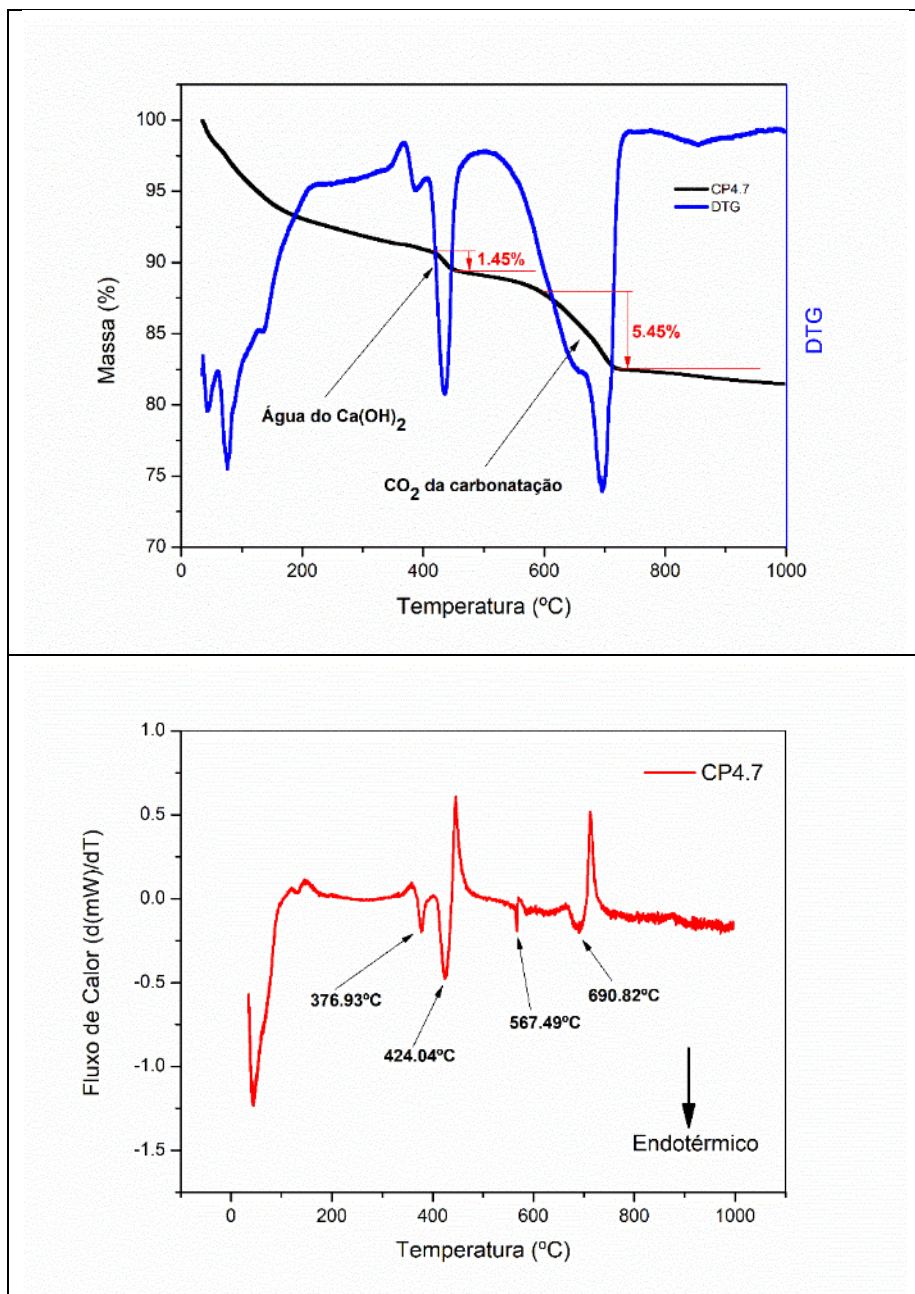


Figura E.12 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP4.8

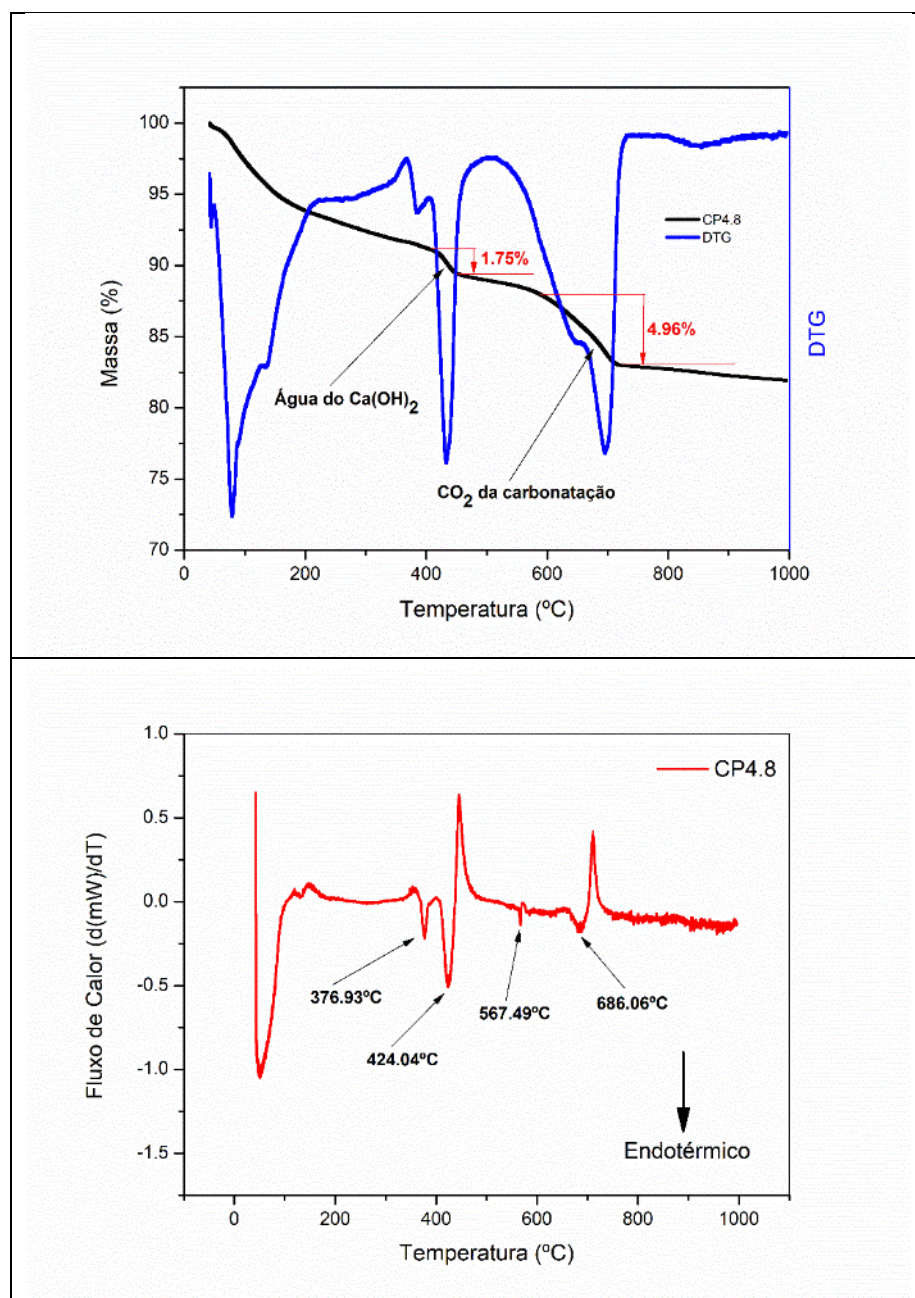


Figura E.13 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP5.1

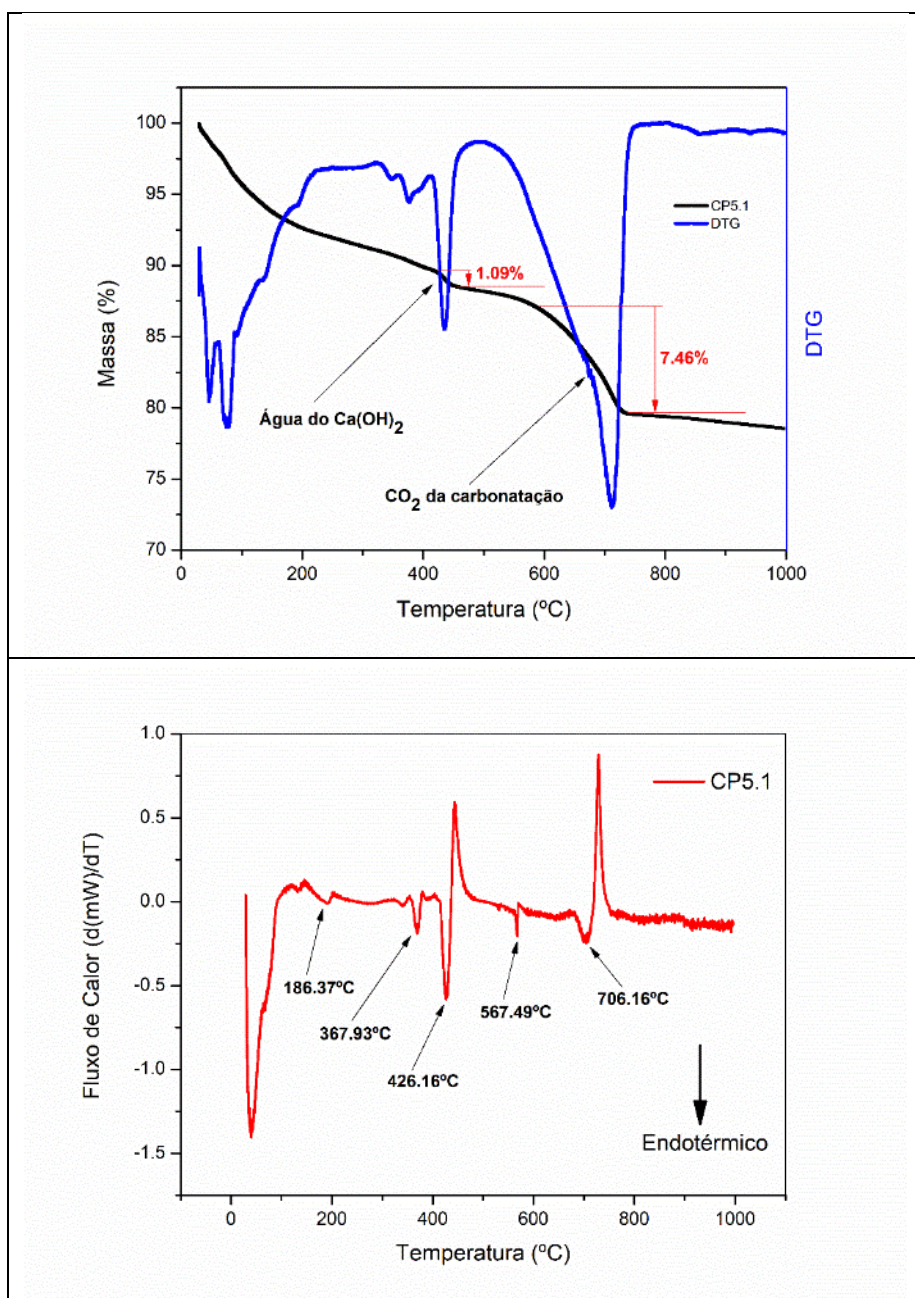


Figura E.14 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP5.5

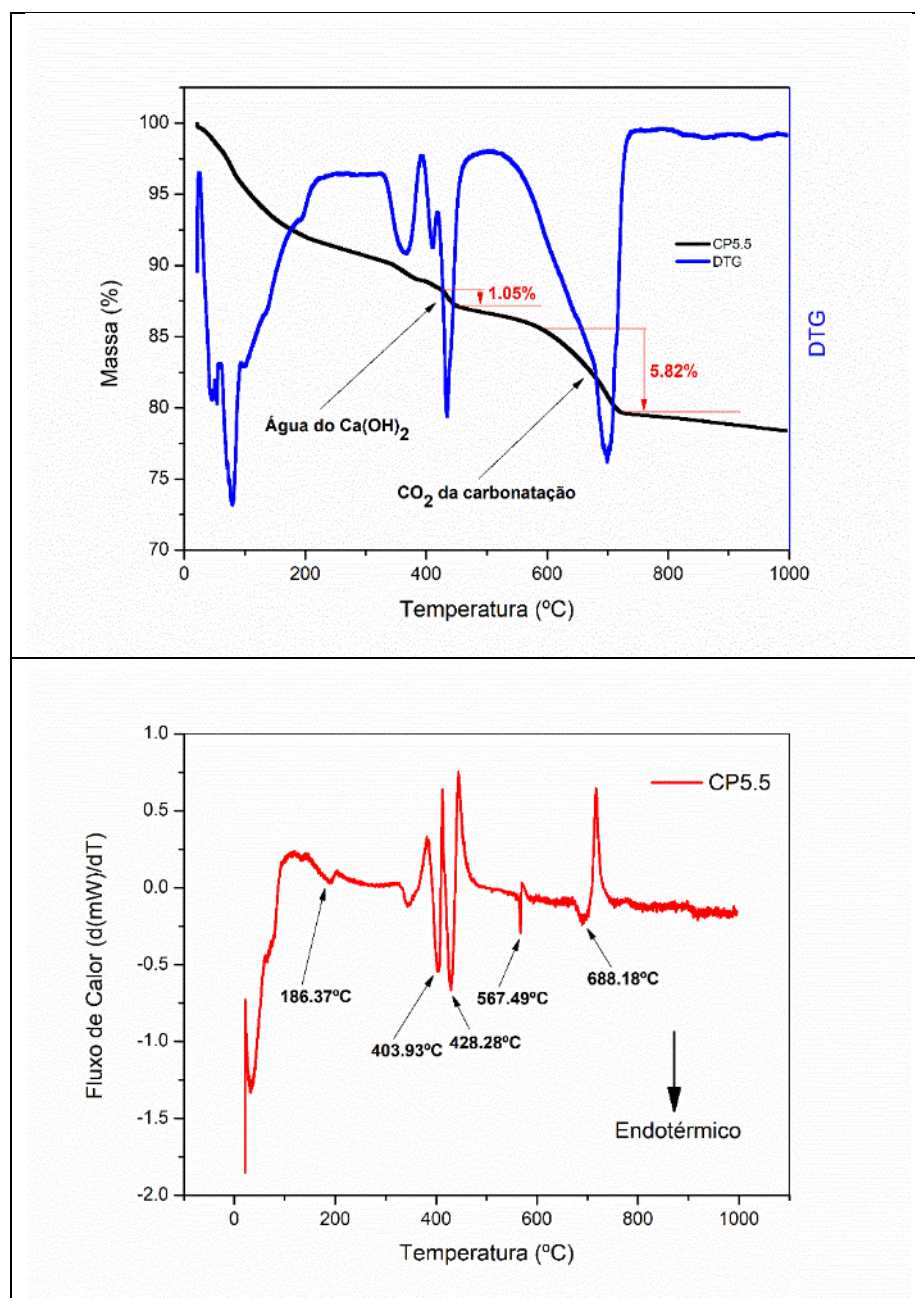


Figura E.15 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP5.6

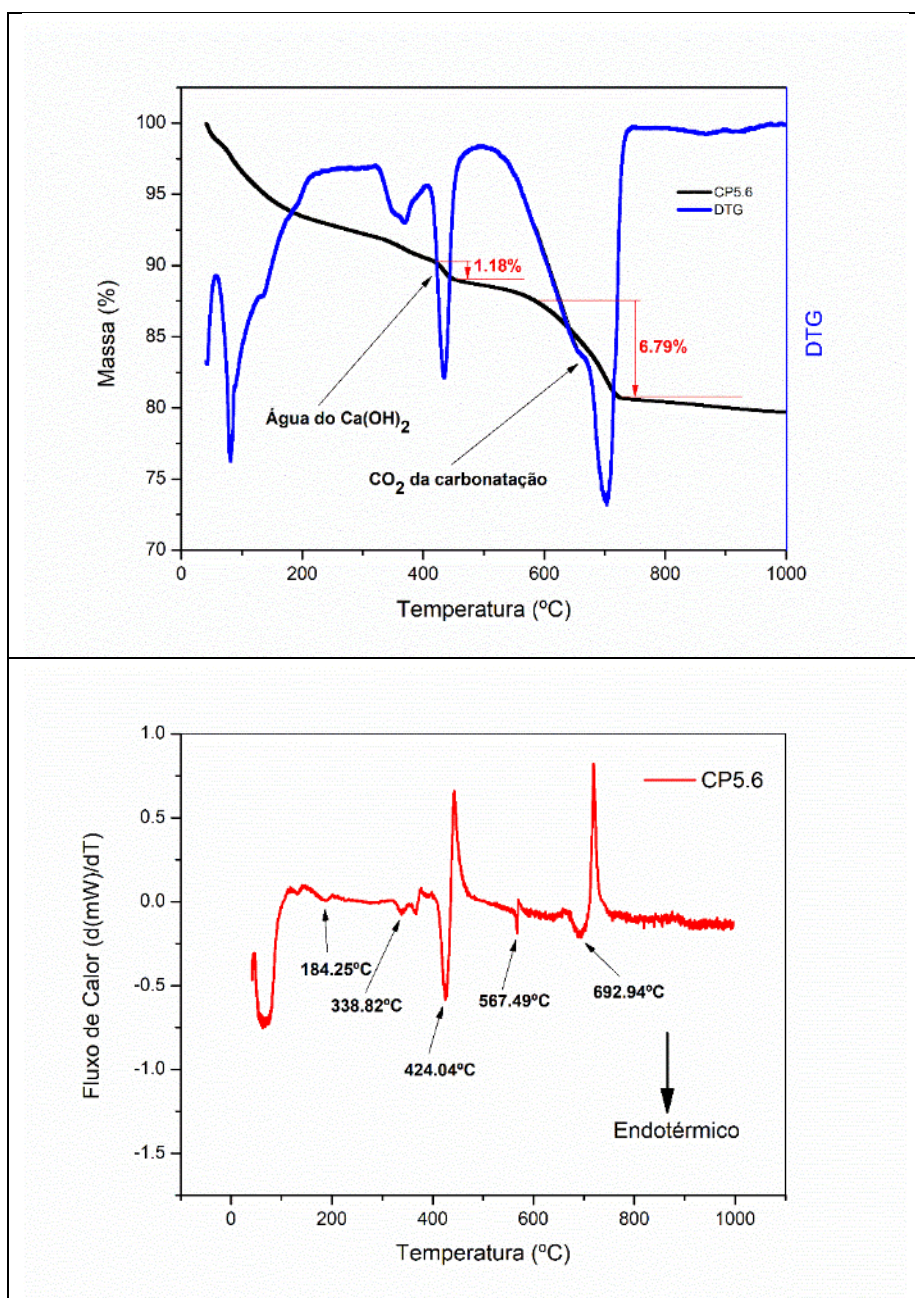


Figura E.16 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP5.7

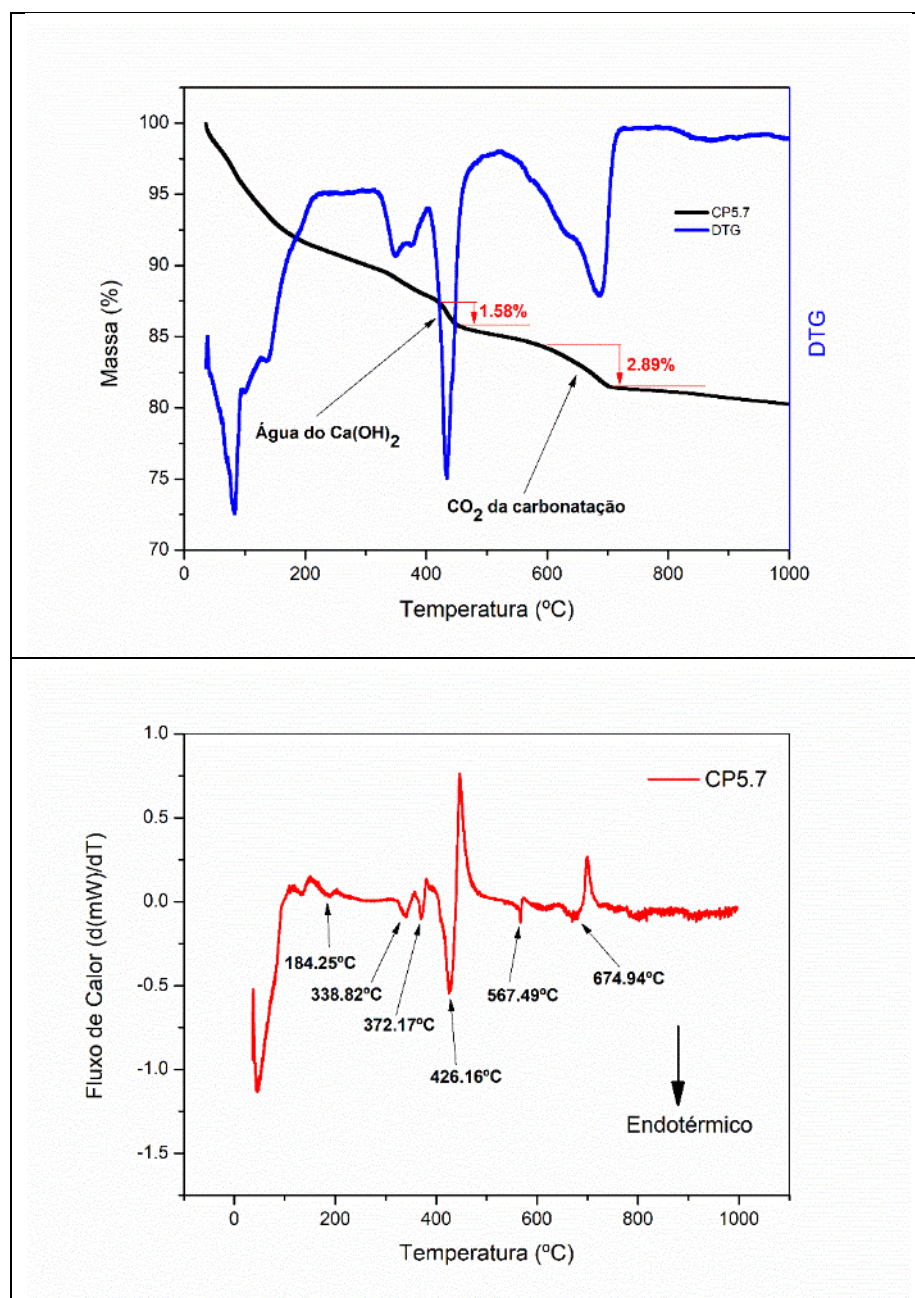


Figura E.17 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP5.8

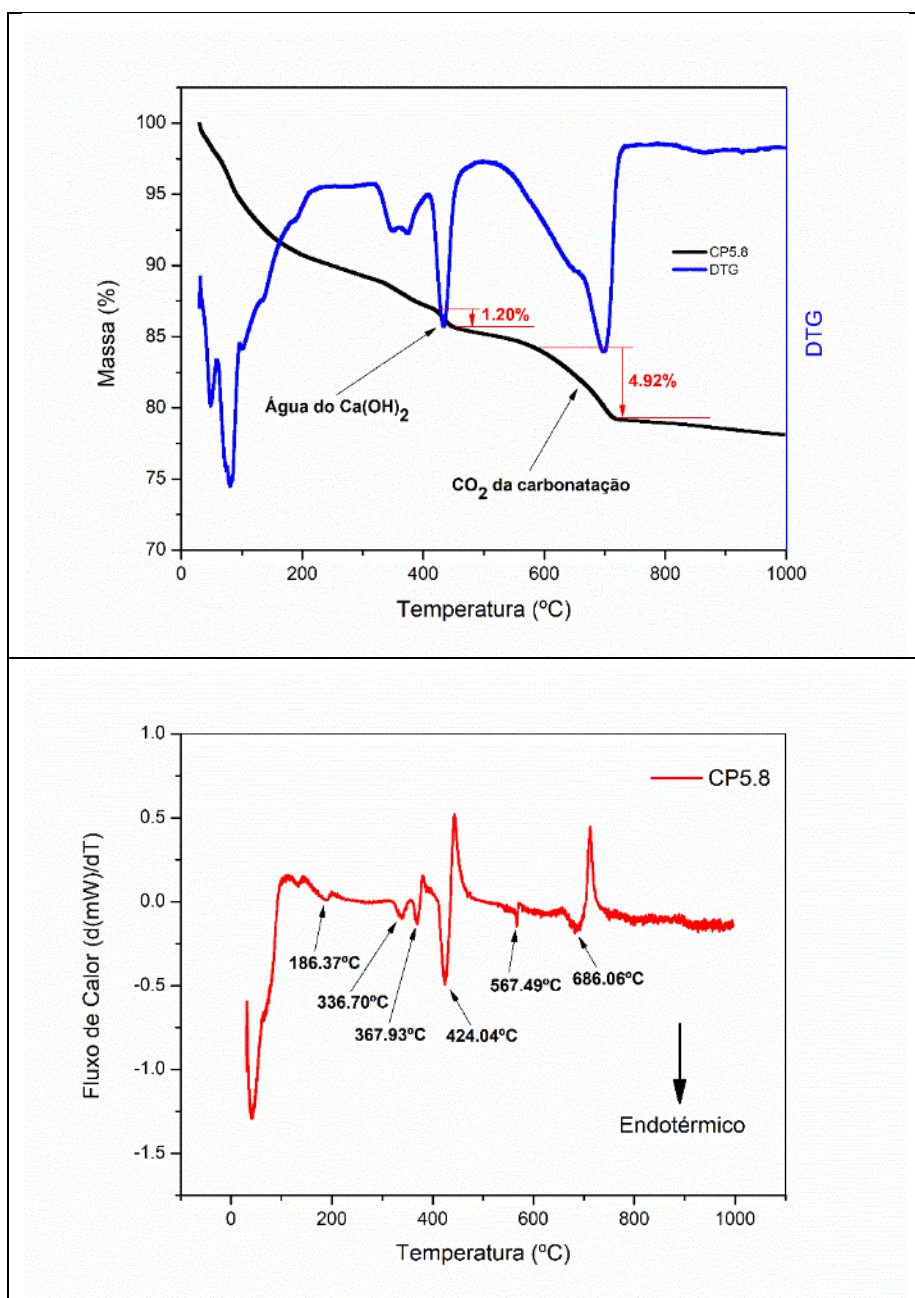
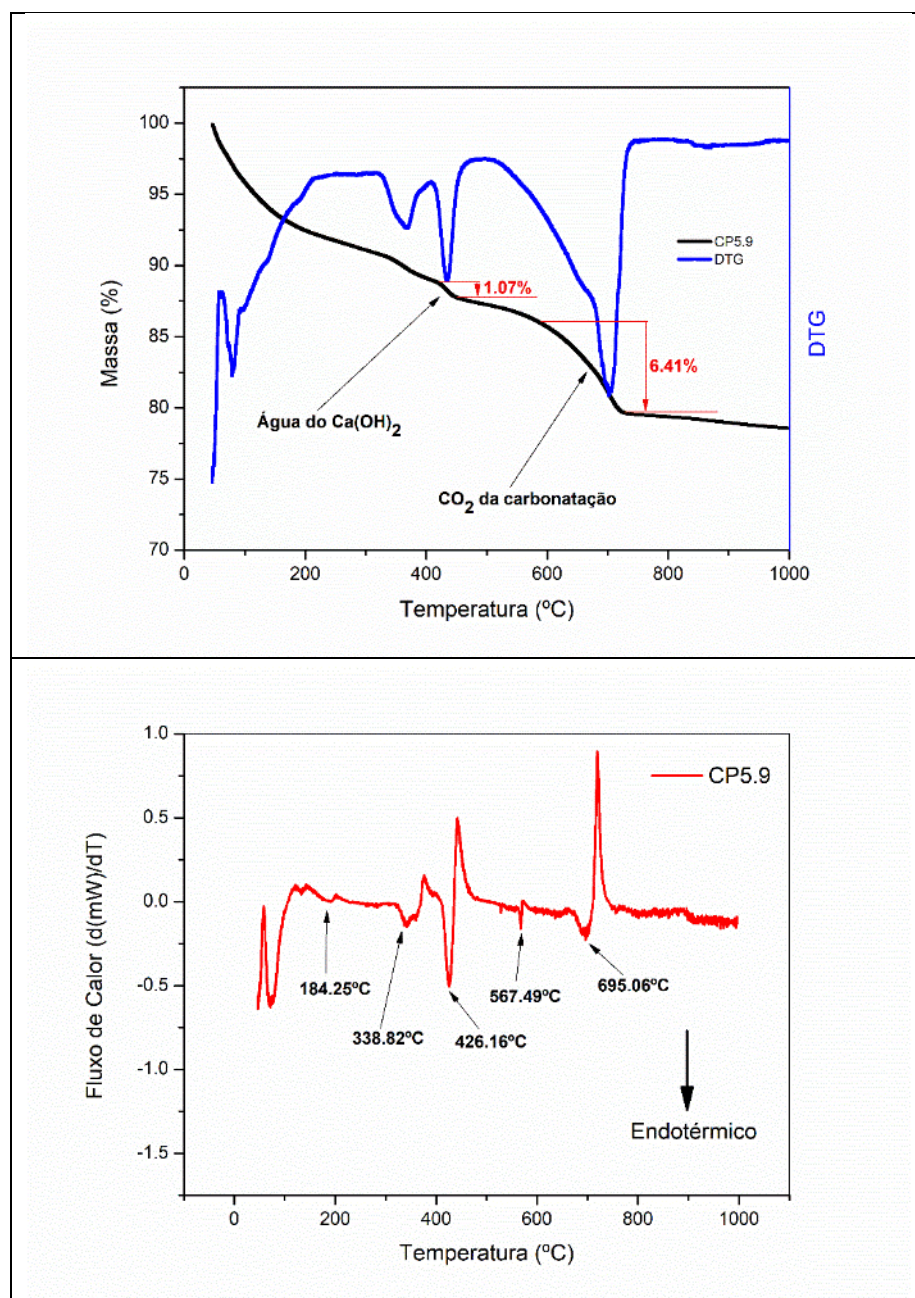


Figura E.18 – Curvas de TG/DTG (acima) e DSC (abaixo) da amostra CP5.9



APÊNDICE F – Espectros da transmitância de infravermelho das amostras.

As Figuras F.1 a F.18 apresentam os espectros da transmitância de infravermelho das amostras, referentes aos comprimentos de onda (cm^{-1}).

Figura F.1 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP3.1

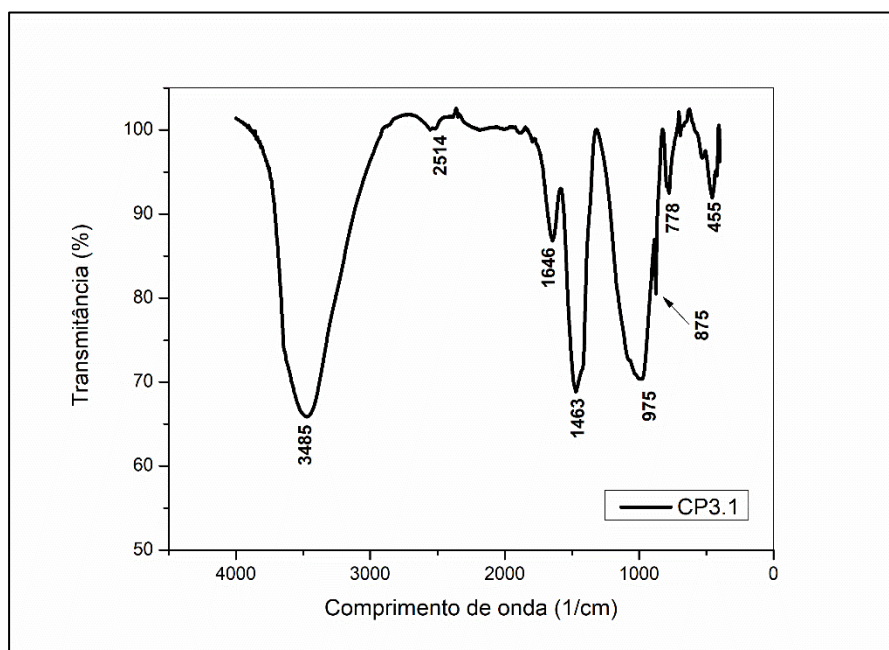


Figura F.2 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP3.2

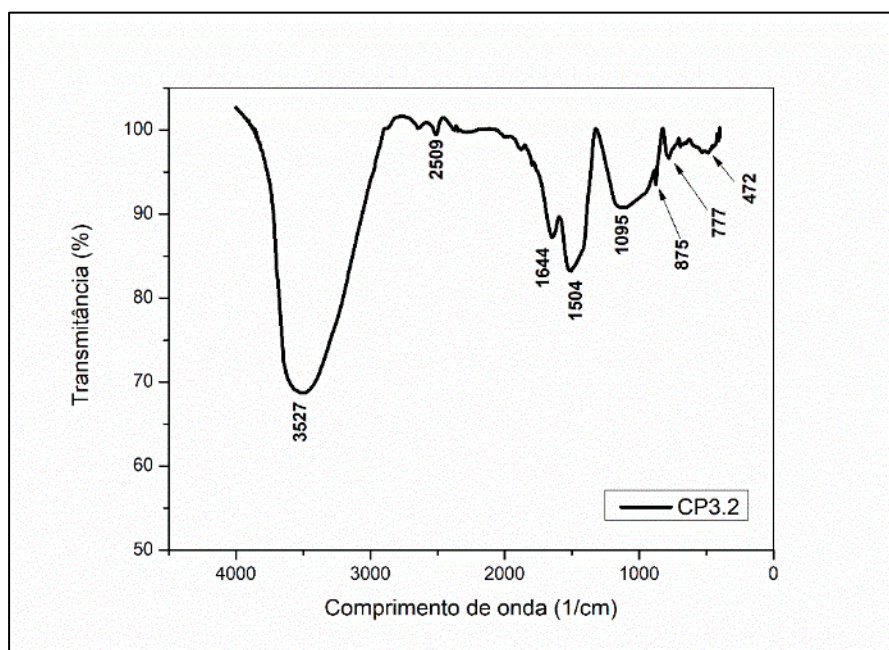


Figura F.3 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP3.4

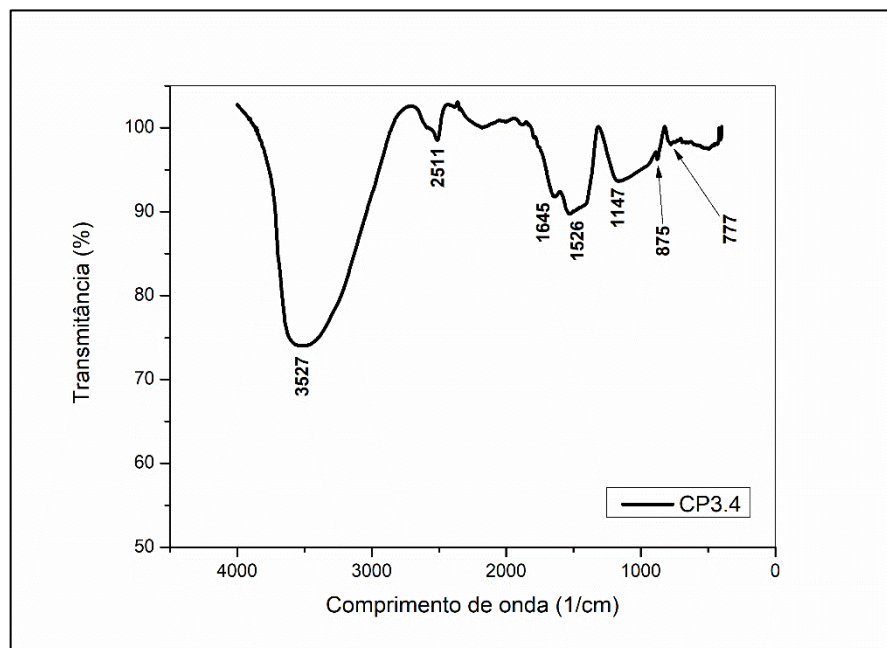


Figura F.4 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP3.5

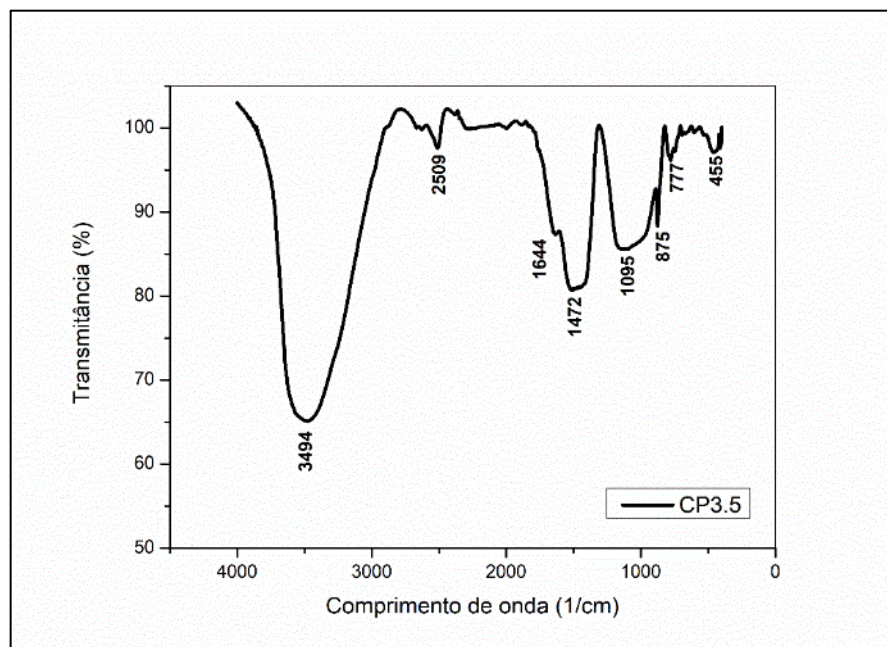


Figura F.5 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP3.8

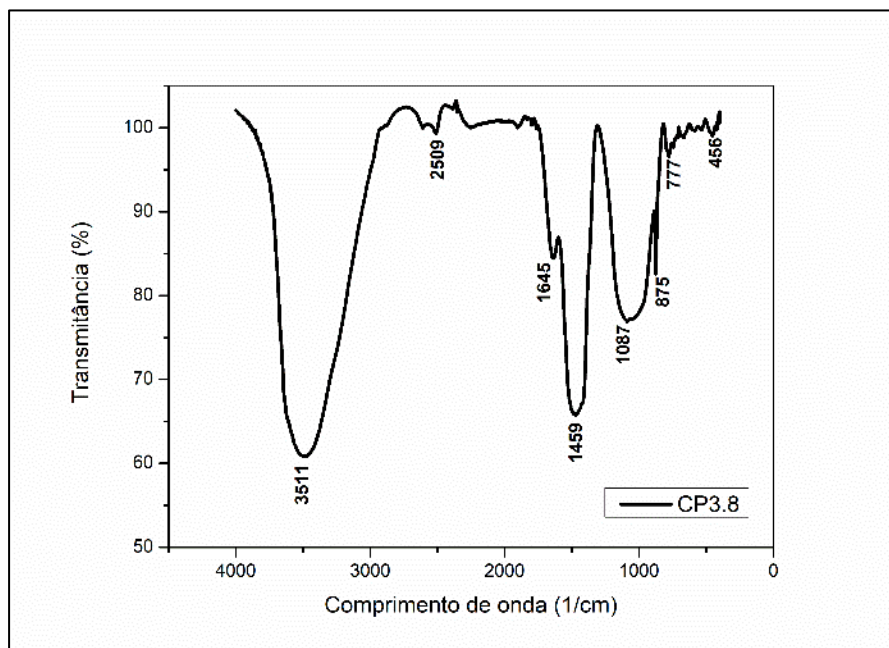


Figura F.6 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP3.9

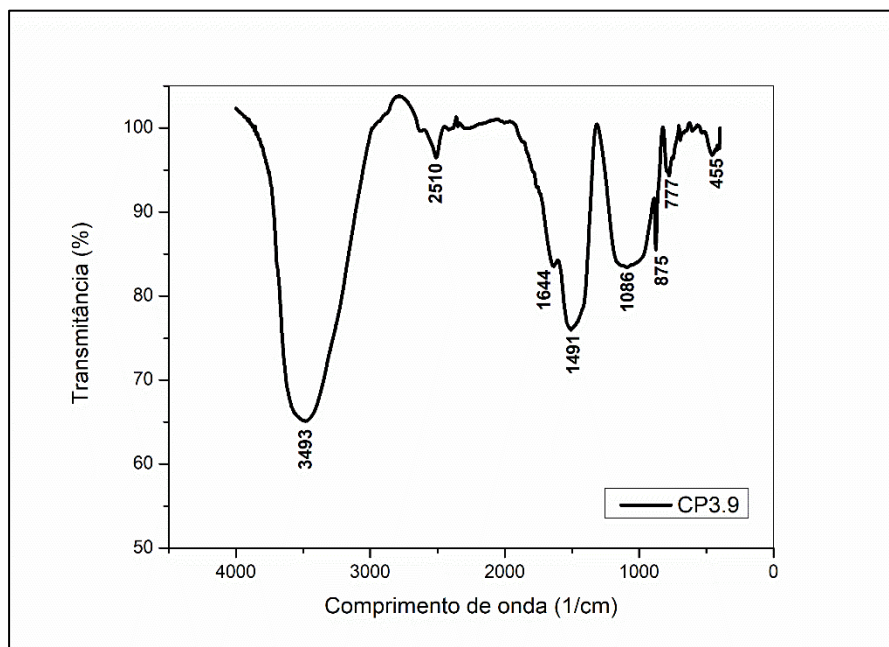


Figura F.7 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP4.1

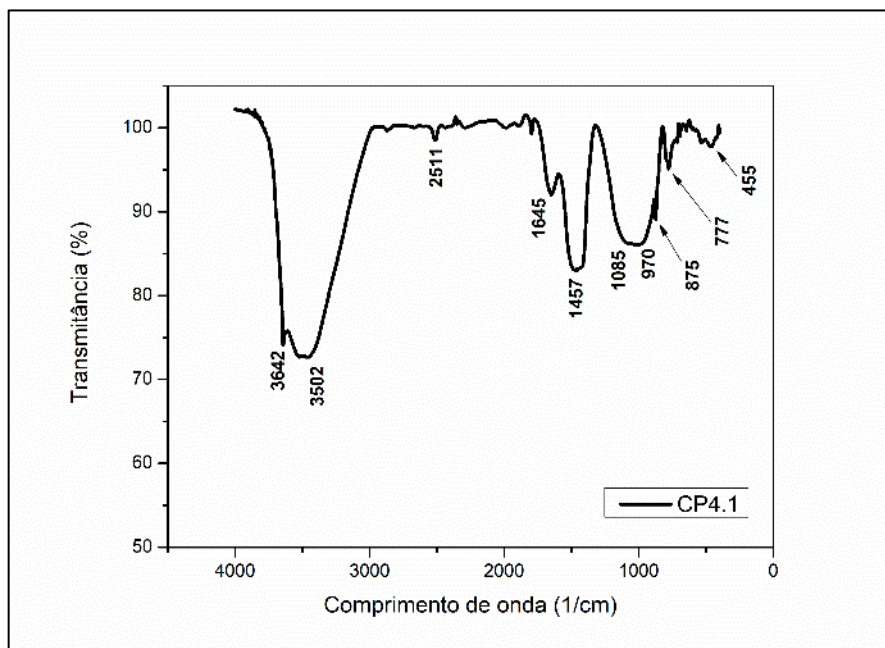


Figura F.8 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP4.3

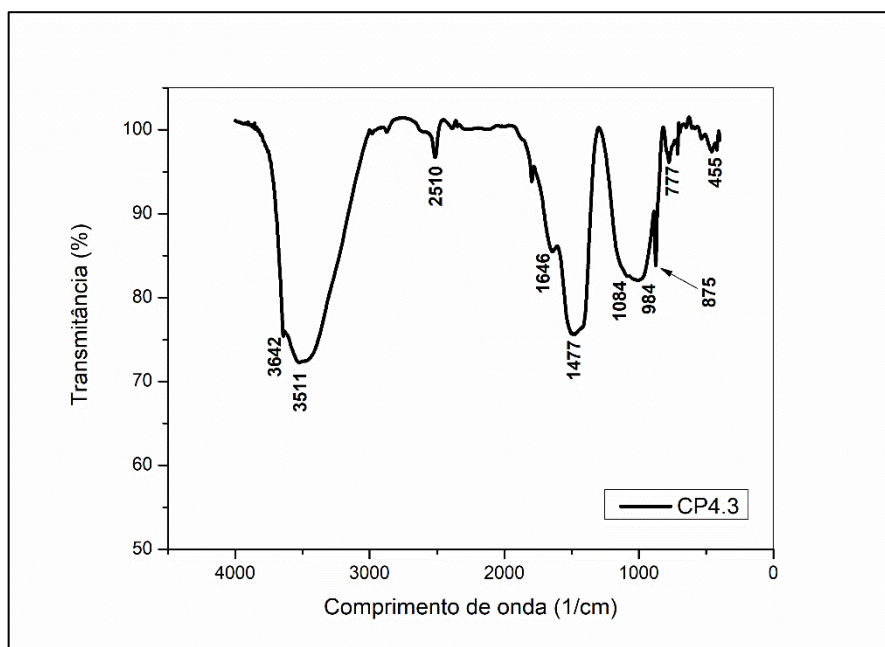


Figura F.9 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP4.5

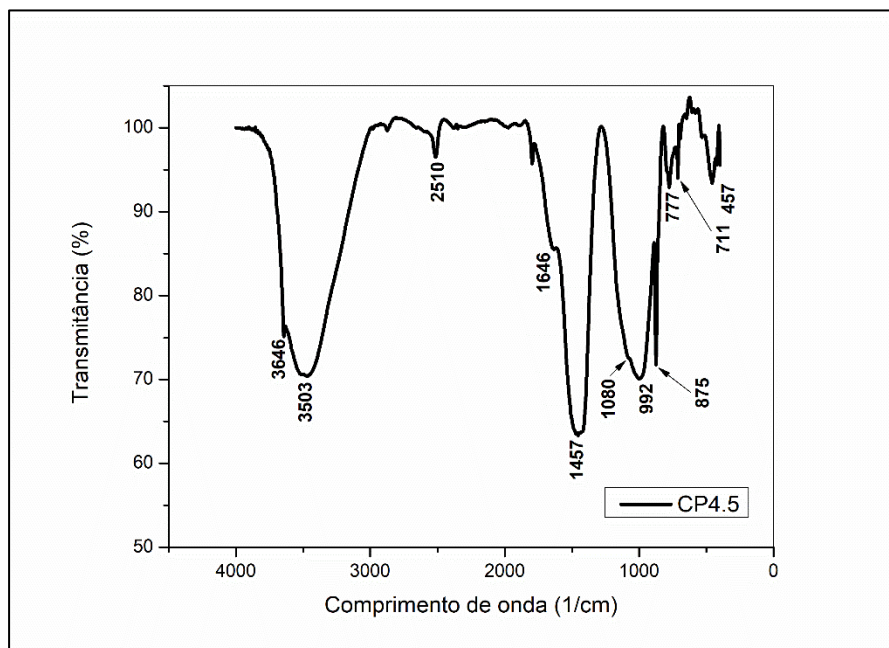


Figura F.10 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP4.6

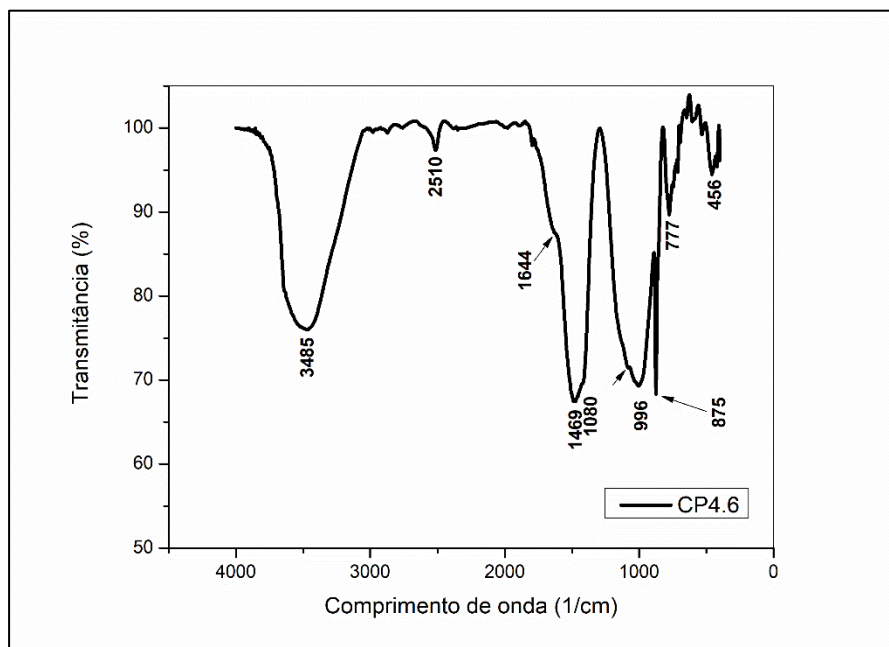


Figura F.11 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP4.7

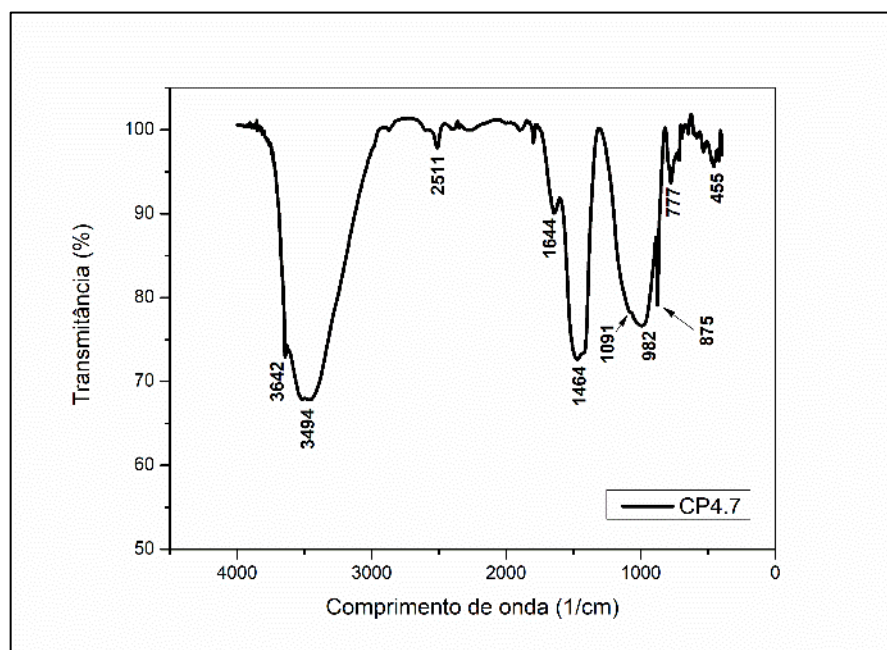


Figura F.12 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP4.8

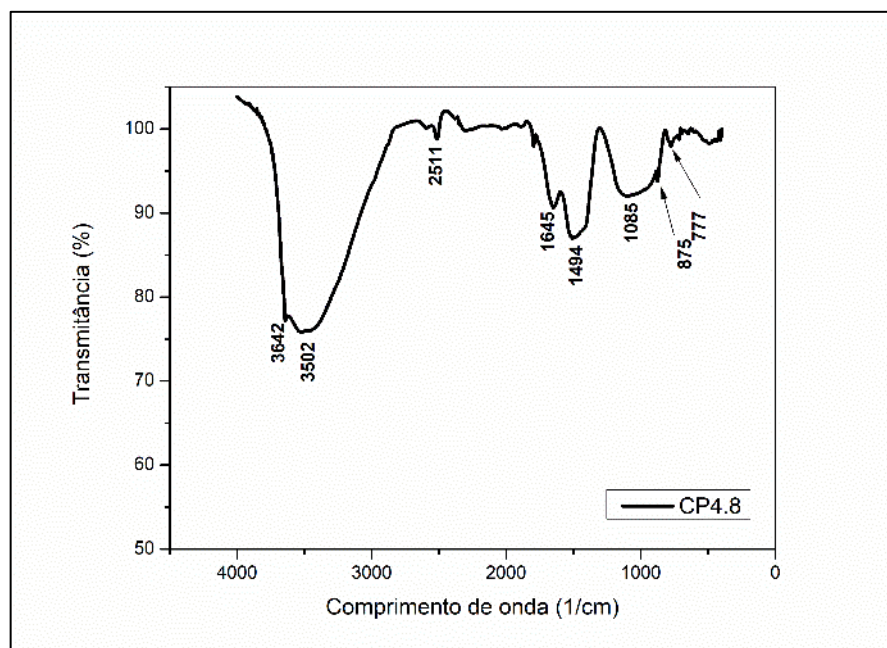


Figura F.13 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP5.1

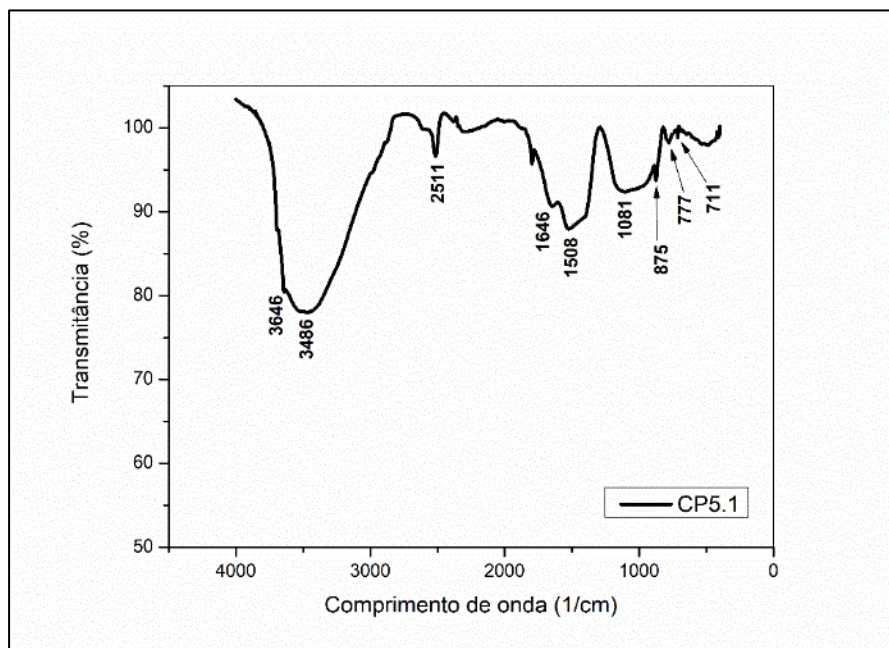


Figura F.14 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP5.5

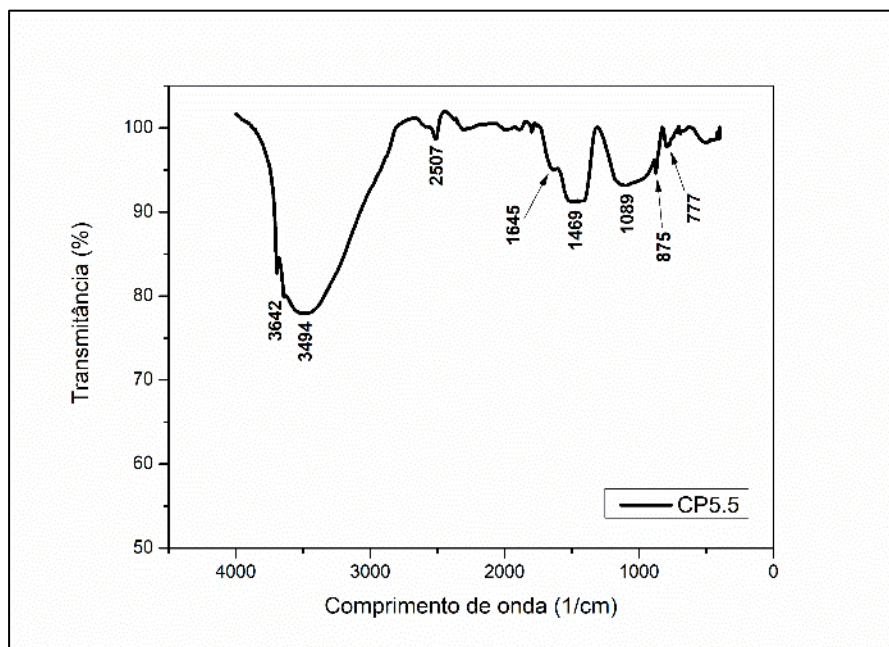


Figura F.15 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP5.6

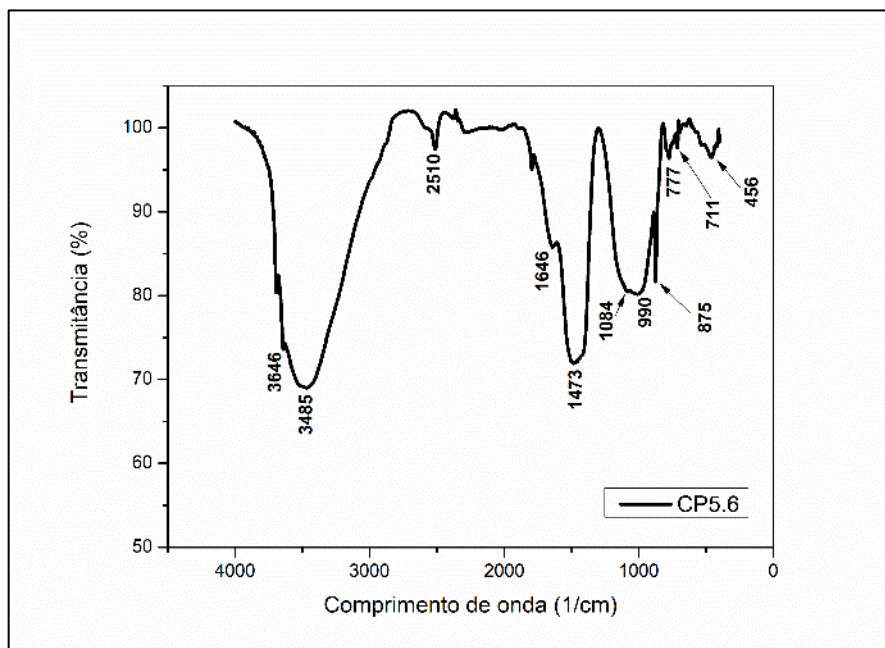


Figura F.16 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP5.7

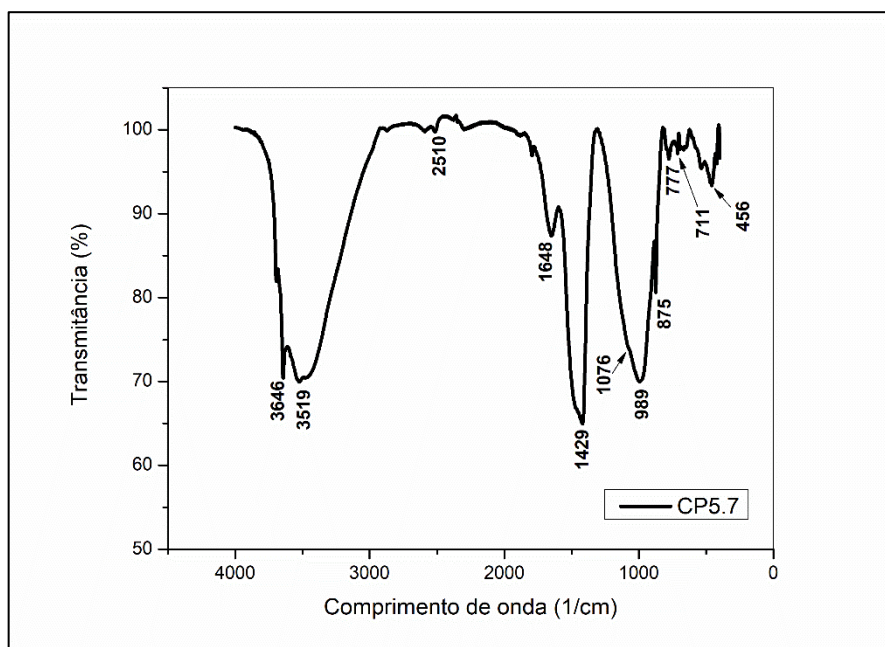


Figura F.17 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP5.8

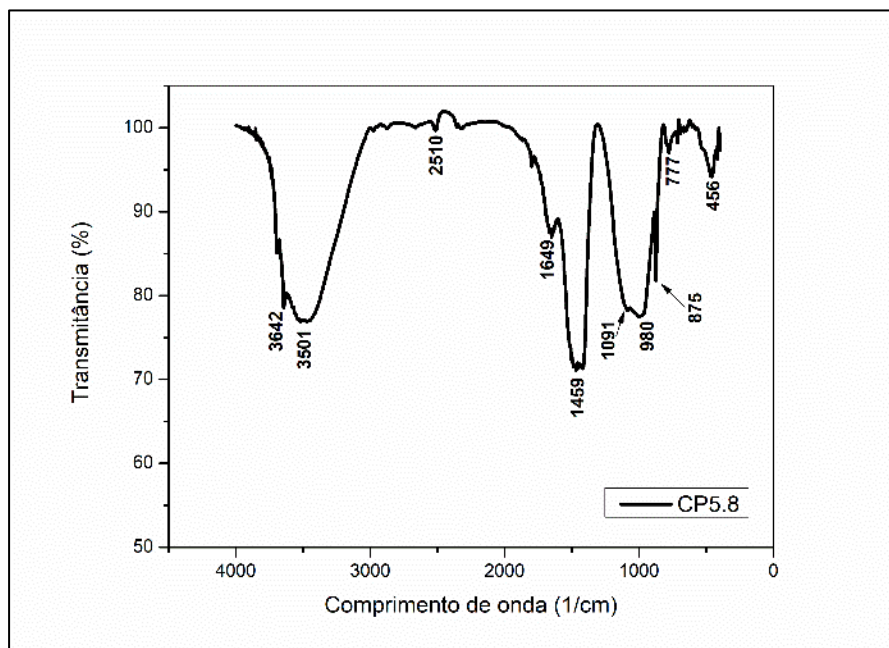


Figura F.18 –Espectro de transmitância de infravermelho da amostra CP5.9

