



Carlos Miguel Anselmo Rodrigues

Licenciado em Ciências de Engenharia Civil

Modelos de previsão da degradação de pavimentos: parâmetro IRI

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil

Orientador: Rui Alexandre Lopes Baltazar Micaelo,
Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências e Tecnologia

Júri:

Presidente: Prof. Doutor Armando Manuel Sequeira Nunes Antão
Arguente: Prof. Luís Manuel Trindade Quaresma
Vogal: Prof. Doutor Rui Alexandre Lopes Baltazar Micaelo



FAÇULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2013

“Copyright” Carlos Miguel Anselmo Rodrigues, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor

Agradecimentos

Uma palavra de agradecimento ao Professor Doutor Rui Micaelo pelos conhecimentos e confiança transmitidos, e também pela dedicação e tempo continuamente despendidos durante a realização desta dissertação.

Aos colegas mais próximos pela amizade e companheirismo demonstrado.

Por fim, e em especial, aos meus pais pela tolerância e apoio proporcionado ao longo do meu percurso académico.

Resumo

Um dos módulos essenciais aos sistemas de gestão de pavimentos, é o relativo aos modelos de previsão da degradação dos pavimentos como ferramenta de auxílio às estratégias de conservação e reabilitação da rede rodoviária.

A irregularidade longitudinal é uma patologia que afecta gravemente a qualidade funcional do pavimento, alterando as condições de segurança e conforto proporcionadas aos utentes da estrada, e que é objecto de análise neste trabalho.

O Banco Mundial foi um dos grandes impulsionadores nesta área, e em 1982, a partir de um programa experimental realizado no Brasil, foi dado um passo importante na metodologia de medição da irregularidade longitudinal, tendo sido estabelecido um índice de irregularidade internacional (IRI) de referência e sua correlação com outros índices utilizados por diversas administrações rodoviárias naquela época. O IRI é, ainda hoje, o parâmetro utilizado para quantificar a irregularidade longitudinal da superfície de um pavimento.

Neste trabalho é avaliada a aplicabilidade de diversos modelos de previsão da evolução do parâmetro IRI aos pavimentos típicos da rede rodoviária Portuguesa, nomeadamente: HDM-III; HDM-4 (original, Austrália e África do Sul); AASHTO/MEPDG; Índia; Dubai; Costa Rica.

O caso de estudo considerado corresponde a um pavimento típico da rede rodoviária nacional, dimensionado de acordo com o MACOPAV, compreendendo diferentes níveis de tráfego e diferentes condições de fundação.

Os resultados mostram diferenças significativas entre os vários modelos na previsão da irregularidade, em que os modelos HDM-4 apresentam os resultados mais conservadores e o modelo MEPDG os resultados menos conservadores. Considera-se que a versão Australiana ou a Sul-Africana do modelo HDM-4 deve ser seleccionada para o estudo de calibração a desenvolver previamente à integração num Sistema de Gestão de Pavimentos em Portugal.

Palavras-chave: Pavimentos Rodoviários Flexíveis, Índice de Irregularidade Longitudinal, Modelos de Degradação, Gestão de Pavimentos.

Abstract

One of the key modules of a Pavement Management System (PMS) is the one that includes Pavement Performance Models, which aids definition of maintenance and rehabilitation plans for the road network.

Longitudinal roughness is a distress type that affects seriously comfort and safety of driving. This dissertation describes a study about this subject.

The World Bank was the leader player on this matter. In 1982, it arranged a major field experiment in Brazil to evaluate and compare different roughness indexes used by road institutions at that time, from which it came the International Roughness Index (IRI) that is still today widely used.

In the present study, it is assessed the applicability of different pavement deterioration models for the IRI distress type to the pavements of the Portuguese road network. The following models were studied: HDM-III; HDM-4 (original, Australia and South-Africa); AASHTO/MEPDG; India; Dubai; Costa Rica.

The selected models are implemented to a fully flexible type pavement, designed according to MACOPAV for different combinations of traffic and foundation levels.

Results show significant differences between studied roughness evolution prediction models. HDM-4 models show the largest values while AASHTO/MEPDG model predicts a slight increase of IRI during 20 years. It is concluded that the Australian or the South-African version of HDM-4 model should be selected for the next phase, with a calibration study using pavement performance data from the Portuguese road network, previously to integration in a PMS in Portugal.

Keywords: Flexible Road Pavements, Longitudinal Roughness Index, Deterioration Models, Pavements Management.

Índice

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento Geral	1
1.2. Objectivos	3
1.3. Estrutura da Dissertação	3
2. Irregularidade Longitudinal.....	5
2.1. Introdução.....	5
2.2. Parâmetro IRI	7
2.3. Valores Admissíveis de IRI	11
3. Modelos de Previsão da Evolução da Irregularidade	15
3.1. Introdução.....	15
3.2. Modelos IRI	16
3.2.1. Modelo HDM-III.....	16
3.2.2. Modelos HDM-4, HDM-4 Australiano e HDM-4 Sul-Africano	21
3.2.3. Modelo MEPDG	27
3.2.4. Modelo Indiano	28
3.2.5. Modelo Dubai.....	29
3.2.6. Modelo Costa Rica	30
4. Caso de Estudo e Resultados.....	31
4.1. Introdução.....	31
4.2. Descrição do Caso de Estudo	31
4.2.1. Pressupostos	31
4.2.2. Materiais, Fundação e Estrutura do Pavimento	31
4.2.3. Tráfego.....	34
4.2.4. Condições Climáticas	35
4.2.5. Conservação/Reabilitação.....	37
4.3. Resultados.....	37
4.3.1. Resultados da combinação T5-F3-P4	38
4.3.2. Resultados da combinação T5-F2-P7	39
4.3.3. Resultados da combinação T3-F3-P9	40
4.3.4. Resultados da combinação T3-F2-P13	41
4.3.5. Resultados da combinação T1-F3-P14	42
4.3.6. Resultados da combinação T1-F2-P16	43
4.4. Análise e Discussão de Resultados	43
4.4.1. Modelo HDM-III.....	44

4.4.2. Modelos HDM-4, HDM-4 Australiano e HDM-4 Sul-Africano	49
4.4.3. Modelo MEPDG	60
4.4.4. Modelo Indiano	60
4.4.5. Modelo Dubai.....	64
4.4.6. Modelo Costa Rica	64
4.5. Comparação de resultados	64
5. Considerações Finais.....	67
5.1. Conclusões.....	67
5.2. Desenvolvimentos futuros	68
Referências Bibliográficas	69
Anexo A – Evolução da Irregularidade.....	73
Anexo B – Cálculos Auxiliares	91

Índice de Figuras

Figura 1.1 – Evolução da irregularidade num pavimento flexível [The World Bank, 2008]	3
Figura 2.1 – Integrador de Choque (<i>Bump Integrator</i>) [Aimil Ltd., 2013]	5
Figura 2.2 – Perfilómetro APL [Robert, 2007]	6
Figura 2.3 – Perfilómetro com tecnologia <i>laser</i> [Horta <i>et al.</i> , 2013]	6
Figura 2.4 – Modelo de quarto-de-carro [ASTM, 2001]	7
Figura 2.5 – Conversão entre o IRI e os restantes índices de irregularidade [Paterson, 1987]	12
Figura 3.1 – Estrutura interativa do modelo HDM-4 [N.D. Lea International Ltd., 1995]	23
Figura 4.1 – Evolução da irregularidade (T5-F3-P4)	38
Figura 4.2 – Evolução da irregularidade (T5-F2-P7)	39
Figura 4.3 – Evolução da irregularidade (T3-F3-P9)	40
Figura 4.4 – Evolução da irregularidade (T3-F2-P13)	41
Figura 4.5 – Evolução da irregularidade (T1-F3-P14)	42
Figura 4.6 – Evolução da irregularidade (T1-F2-P16)	43
Figura 4.7 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-III (T5-F3-P4)	46
Figura 4.8 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-III (T5-F2-P7)	46
Figura 4.9 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-III (T3-F3-P9)	47
Figura 4.10 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-III (T3-F2-P13)	47
Figura 4.11 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-III (T1-F3-P14)	48
Figura 4.12 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-III (T1-F2-P16)	48
Figura 4.13 – Contribuição de cada componente no crescimento da irregularidade – modelo HDM-III	49
Figura 4.14 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 (T5-F3-P4)	50
Figura 4.15 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 (T5-F2-P7)	50
Figura 4.16 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 (T3-F3-P9)	51
Figura 4.17 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 (T3-F2-P13)	51
Figura 4.18 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 (T1-F3-P14)	52

Figura 4.19 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 (T1-F2-P16).....	52
Figura 4.20 – Contribuição de cada componente no crescimento da irregularidade – modelo HDM-4	53
Figura 4.21 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Australiano (T5-F3-P4).....	53
Figura 4.22 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Australiano (T5-F2-P7).....	54
Figura 4.23 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Australiano (T3-F3-P9).....	54
Figura 4.24 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Australiano (T3-F2-P13).....	55
Figura 4.25 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Australiano (T1-F3-P14).....	55
Figura 4.26 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Australiano (T1-F2-P16).....	56
Figura 4.27 – Contribuição de cada componente no crescimento da irregularidade – modelo HDM-4 Australiano.....	56
Figura 4.28 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Sul-africano (T5-F3-P4).....	57
Figura 4.29 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Sul-africano (T5-F2-P7).....	57
Figura 4.30 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Sul-africano (T3-F3-P9).....	58
Figura 4.31 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Sul-africano (T3-F2-P13).....	58
Figura 4.32 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Sul-africano (T1-F3-P14).....	59
Figura 4.33 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Sul-africano (T1-F2-P16).....	59
Figura 4.34 – Contribuição de cada componente no crescimento da irregularidade – modelo HDM-4 Sul-africano.....	60
Figura 4.35 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo Indiano (T5-F3-P4).....	61
Figura 4.36 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo Indiano (T5-F2-P7).....	61
Figura 4.37 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo Indiano (T3-F3-P9).....	62
Figura 4.38 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo Indiano (T3-F2-P13).....	62

Figura 4.39 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo Indiano (T1-F3-P14).....	63
Figura 4.40 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo Indiano (T1-F2-P16).....	63
Figura 4.41 – Contribuição de cada componente no crescimento da irregularidade – modelo Indiano	64

Índice de Quadros

Quadro 1.1 – Famílias e tipos de degradações [Pereira e Miranda, 1999]	2
Quadro 2.1 – Parâmetros e respectivos valores (<i>Golden Car</i>) [ASTM, 2001].....	8
Quadro 2.2 – Avaliação da qualidade dos pavimentos através do índice PSI [AASHTO, 1993]	9
Quadro 2.3 – Avaliação da qualidade dos pavimentos através do índice IQ [EP, 2008]	10
Quadro 2.4 – Valores admissíveis de IRI (m/km), determinado para troços de 100 metros, em pavimentos novos com misturas betuminosas em camada de desgaste [EP, 2009].....	12
Quadro 2.5 - Valores admissíveis de IRI (m/km), determinado para troços de 100 metros, em pavimentos reabilitados com misturas betuminosas em camada de desgaste [EP, 2009]	13
Quadro 2.6 – Classificação da irregularidade [EP, 2009]	13
Quadro 2.7 – Classificação de qualidade de circulação [N.D. Lea International Ltd., 1995].....	13
Quadro 2.8 – Esquema de quantificação do IRI na ausência de medição directa [EP, 2008]	14
Quadro 2.9 – Degradações e níveis de gravidade em pavimentos flexíveis [EP, 2008]	14
Quadro 3.1 – Classificação dos modelos de desempenho [Branco <i>et al.</i> , 2011]	15
Quadro 3.2 – Valores recomendados para o coeficiente ambiental (m) aplicável aos modelos HDM-III e HDM-4 [The World Bank, 2008]	18
Quadro 3.3 – Coeficiente estrutural das camadas	18
Quadro 4.1 – Camada de leito do pavimento em materiais não ligados (MACOPAV) [JAE, 1995]	32
Quadro 4.2 – Estruturas de pavimento determinadas pelo MACOPAV [JAE, 1995].....	33
Quadro 4.3 – Combinações analisadas	33
Quadro 4.4 – Características volumétricas das misturas betuminosas a quente (MACOPAV) [JAE, 1995].....	33
Quadro 4.5 – Elementos relativos ao tráfego de veículos pesados (MACOPAV) [JAE, 1995]	34
Quadro 4.6 – Classe de betume em misturas betuminosas a quente para zona média (MACOPAV) [JAE, 1995]	35
Quadro 4.7 – Propriedades das camadas betuminosas	36
Quadro 4.8 – Temperatura média mensal do ar [Melo <i>et al.</i> , 1993]	36
Quadro 4.9 – Classificação da humidade [The World Bank, 2008]	36
Quadro 4.10 – Classificação da temperatura [The World Bank, 2008].....	37
Quadro 4.11 – Idade do pavimento quando a irregularidade atinge o valor terminal de 3,5 m/km (T5-F3-P4).....	38
Quadro 4.12 – Irregularidade do pavimento aos 20 anos de idade (T5-F3-P4)	38
Quadro 4.13 – Idade do pavimento quando a irregularidade atinge o valor terminal de 3,5 m/km (T5-F2-P7).....	39
Quadro 4.14 – Irregularidade do pavimento aos 20 anos de idade (T5-F2-P7)	39
Quadro 4.15 – Idade do pavimento quando a irregularidade atinge o valor terminal de 3,5 m/km (T3-F3-P9).....	40
Quadro 4.16 – Irregularidade do pavimento aos 20 anos de idade (T3-F3-P9)	40

Quadro 4.17 – Idade do pavimento quando a irregularidade atinge o valor terminal de 3,5 m/km (T3-F2-P13).....	41
Quadro 4.18 – Irregularidade do pavimento aos 20 anos de idade (T3-F2-P13)	41
Quadro 4.19 – Idade do pavimento quando a irregularidade atinge o valor terminal de 3,5 m/km (T1-F3-P14).....	42
Quadro 4.20 – Irregularidade do pavimento aos 20 anos de idade (T1-F3-P14)	42
Quadro 4.21 – Idade do pavimento quando a irregularidade atinge o valor terminal de 3,5 m/km (T1-F2-P16).....	43
Quadro 4.22 – Irregularidade do pavimento aos 20 anos de idade (T1-F2-P16)	43
Quadro 4.23 – Incremento da irregularidade num período de 20 anos, para diferentes valores de IRI_0 (T5-F3-P4)	44
Quadro 4.24 – Incremento da irregularidade num período de 20 anos, para diferentes valores de IRI_0 (T5-F2-P7)	44
Quadro 4.25 – Incremento da irregularidade num período de 20 anos, para diferentes valores de IRI_0 (T3-F3-P9)	45
Quadro 4.26 – Incremento da irregularidade num período de 20 anos, para diferentes valores de IRI_0 (T3-F2-P13)	45
Quadro 4.27 – Incremento da irregularidade num período de 20 anos, para diferentes valores de IRI_0 (T1-F3-P14)	45
Quadro 4.28 – Incremento da irregularidade num período de 20 anos, para diferentes valores de IRI_0 (T1-F2-P16)	45
Quadro A.1 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 0,5$ m/km (T5-F3-P4).....	73
Quadro A.2 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,0$ m/km (T5-F3-P4).....	74
Quadro A.3 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,5$ m/km (T5-F3-P4).....	75
Quadro A.4 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 0,5$ m/km (T5-F2-P7).....	76
Quadro A.5 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,0$ m/km (T5-F2-P7).....	77
Quadro A.6 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,5$ m/km (T5-F2-P7).....	78
Quadro A.7 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 0,5$ m/km (T3-F3-P9).....	79
Quadro A.8 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,0$ m/km (T3-F3-P9).....	80
Quadro A.9 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,5$ m/km (T3-F3-P9).....	81
Quadro A.10 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 0,5$ m/km (T3-F2-P13).....	82
Quadro A.11 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,0$ m/km (T3-F2-P13).....	83
Quadro A.12 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,5$ m/km (T3-F2-P13).....	84
Quadro A.13 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 0,5$ m/km (T1-F3-P14).....	85
Quadro A.14 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,0$ m/km (T1-F3-P14).....	86
Quadro A.15 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,5$ m/km (T1-F3-P14).....	87
Quadro A.16 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 0,5$ m/km (T1-F2-P16).....	88
Quadro A.17 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,0$ m/km (T1-F2-P16).....	89
Quadro A.18 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,5$ m/km (T1-F2-P16).....	90
Quadro B.1 – Número estrutural da AASHTO e número estrutural modificado	91

Quadro B.2 – Cálculos auxiliares para o modelo Indiano (T5-F3-P4)	91
Quadro B.3 – Cálculos auxiliares para o modelo Indiano (T5-F2-P7)	92
Quadro B.4 – Cálculos auxiliares para o modelo Indiano (T3-F3-P9)	93
Quadro B.5 – Cálculos auxiliares para o modelo Indiano (T3-F2-P13)	94
Quadro B.6 – Cálculos auxiliares para o modelo Indiano (T1-F3-P14)	95
Quadro B.7 – Cálculos auxiliares para o modelo Indiano (T1-F2-P16)	96
Quadro B.8 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-III (T5-F3-P4).....	97
Quadro B.9 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-III (T5-F2-P7).....	98
Quadro B.10 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-III (T3-F3-P9).....	99
Quadro B.11 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-III (T3-F2-P13).....	100
Quadro B.12 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-III (T1-F3-P14).....	101
Quadro B.13 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-III (T1-F2-P16).....	102
Quadro B.14 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 (T5-F3-P4).....	103
Quadro B.15 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 (T5-F2-P7).....	104
Quadro B.16 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 (T3-F3-P9).....	105
Quadro B.17 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 (T3-F2-P13).....	106
Quadro B.18 Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 (T1-F3-P14).....	107
Quadro B.19 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 (T1-F2-P16).....	108
Quadro B.20 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Australiano (T5-F3-P4).....	109
Quadro B.21 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Australiano (T5-F2-P7).....	110
Quadro B.22 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Australiano (T3-F3-P9).....	111
Quadro B.23 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Australiano (T3-F2-P13).....	112
Quadro B.24 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Australiano (T1-F3-P14).....	113
Quadro B.25 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Australiano (T1-F2-P16).....	114
Quadro B.26 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Sul-africano (T5-F3-P4)	115
Quadro B.27 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Sul-africano (T5-F2-P7)	116
Quadro B.28 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Sul-africano (T3-F3-P9)	117
Quadro B.29 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Sul-africano (T3-F2-P13)	118
Quadro B.30 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Sul-africano (T1-F3-P14)	119
Quadro B.31 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Sul-africano (T1-F2-P16)	120

Lista de Abreviaturas e Símbolos

Siglas e Abreviaturas

AASHO	<i>American Association of State Highway Officials</i>
AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
APL	Analisador do Perfil Longitudinal (<i>Analyseur du Profil en Long</i>)
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BD	Betão betuminoso em camada de Desgaste
BPR	<i>Bureau of Public Roads</i>
COTO	<i>Committee of Transport Officials</i>
CRR	<i>Centre de Recherches Routiers</i>
EP	Estradas de Portugal
FWD	Deflectómetro de Impacto (<i>Falling Weight Deflectometer</i>)
GM	<i>General Motors</i>
HDM	<i>Highway Design and Maintenance Standards Model</i>
IRI	Índice de Irregularidade Internacional (<i>International Roughness Index</i>)
IRRE	<i>International Road Roughness Experiment</i>
ISOHDM	<i>International Study of Highway Development and Management Tools</i>
JAE	Junta Autónoma de Estradas
MACOPAV	Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional
MB	Macadame Betuminoso em camada de base
MEPDG	<i>Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide</i>
NCHRP	<i>National Cooperative Highway Research Program</i>
PSI	Índice de Aptidão de Serviço (<i>Pavement Serviceability Index</i>)
RTRRMS	<i>Response-Type Road Roughness Measuring Systems</i>
SbG	Sub-base Granular em material britado sem reposição
SGP	Sistema de Gestão de Pavimentos
TRRL	<i>Transport and Road Research Laboratory</i>

Símbolos

a	Constante
ACA_a	Área de fendilhamento total no início do ano t
ACW_a	Área de fendilhamento aberto no início do ano t
ACW_t	Área de fendilhamento aberto no final do ano t
ACX_a	Área de fendilhamento ponderado no início do ano t
a_i	Coefficiente estrutural da camada i

APT _t	Área de covas no final do ano t
ARV _t	Área de desagregação superficial no final do ano t
b	Constante
BI	Índice de irregularidade obtido com o equipamento “Integrador de choque”
c	Factor de crescimento do tráfego
C _t	Área com fendilhamento no final do ano t
CBR	Índice Californiano de capacidade de carga (<i>California Bearing Ratio</i>)
CAPL ₂₅	Coeficiente de APL25, obtido com o perfilómetro APL
CP _{2.5}	Coeficiente de Planeza, obtido com o perfilómetro APL
CS _t	Área com pele de crocodilo ou com desagregação superficial no final do ano t
CW	Largura da faixa de rodagem
E	Módulo de deformabilidade
E _f	Módulo de deformabilidade da fundação do pavimento
FC _T	Área de fendas de fadiga no percurso das rodas
FDAM _O	Percentagem de área degradada a ser reparada anualmente, especificada pelo utilizador
FI	Índice de congelamento médio anual (<i>Freezing Index</i>)
FM	Índice de liberdade de manobrabilidade
FPT _O	Percentagem de área de covas a serem reparadas anualmente, especificada pelo utilizador
h _i	Espessura da camada <i>i</i>
HSNEW	Espessura total das camadas ligadas (actual)
HSOLD	Espessura total das camadas ligadas (anterior)
IM	Índice equivalente ao IRI, obtido por simulação de referência de um quarto-de-carro
IQ _t	Índice de qualidade no final do ano t
IRI	Índice de Irregularidade Internacional
IRI ₀	Irregularidade após a realização da última camada
IRI _a	Irregularidade no início do ano t
IRIEFF	Irregularidade efectiva resultante do uso da berma
IRISH	Irregularidade na berma
IRI _t	Irregularidade no final do ano t
K ₀	Coeficiente de calibração
K ₁	Coeficiente de calibração
K ₂	Coeficiente de calibração
K ₃	Coeficiente de calibração
K ₄	Coeficiente de calibração
K ₅	Coeficiente de calibração
K ₆	Coeficiente de calibração
K ₇	Coeficiente de calibração
K ₈	Coeficiente de calibração

LP	Comprimento do perfil
m	Coefficiente ambiental
n	Número de vias na faixa de rodagem
N ₈₀	Número acumulado de passagens de eixo-padrão de 80 KN
N80 ₀	Número de passagens de eixo-padrão por via, no ano de abertura ao tráfego
N80 _t	Número acumulado de passagens de eixo-padrão de 80 KN por via, no ano t
ncamada	Número de camadas acima da fundação
NDL _a	Número de peladas no início do ano t
NPT _a	Número de covas no início do ano t
NPT _t	Número de covas no final do ano t
p	Período de dimensionamento
PACA	Área de fendilhamento total nas camadas anteriores
PACW	Área de fendilhamento aberto nas camadas anteriores
PACX	Área de fendilhamento ponderado nas camadas anteriores
Pen25	Penetração a 25 °C no betume
Pen25 _r	Penetração a 25 °C no betume recuperado de misturas betuminosas em serviço
PH _t	Área de zonas reparadas em degradações de elevada gravidade no final do ano t, especificada pelo utilizador
P _{pat}	Percentagem de covas remendadas
PSI	Índice de Aptidão de Serviço
PSI _t	Índice de aptidão de serviço no final do ano t
P _t	Área de zonas reparadas no final do ano t
QI _m	Índice de Quarto-de-carro, obtido com o equipamento <i>Maysmeter</i> calibrado
R _t	Profundidade média das rodeiras no final do ano t
SD _t	Área de covas e peladas no final do ano t
S	Velocidade simulada
SN	Número estrutural da AASHTO
SNSG	Contribuição da resistência da fundação para o número estrutural
SNC	Número estrutural modificado pela contribuição da resistência da fundação
SNCK _t	Número estrutural modificado no final do ano t, reduzido pelo efeito do fendilhamento
STIME	Proporção do tempo de utilização da berma devido à largura da estrada e ao volume de tráfego
SV	Média da variância da inclinação do perfil longitudinal no final do ano t, medido com o perfilómetro CHLOE
t	Idade do pavimento desde a realização da última camada
TAB _r	Temperatura de amolecimento do betume recuperado de misturas betuminosas em serviço, pelo ensaio de anel e bola
T _{ar}	Temperatura do ar equivalente anual

T_b	Temperatura de serviço equivalente anual nas camadas betuminosas, à profundidade z
$(TCH_S)_t$	Espaçamento médio entre as fendas transversais de elevada gravidade no final do ano t
T_{bd}	Temperatura de serviço equivalente anual na camada de betão betuminoso
$(TC_S)_H$	Espaçamento médio entre as fendas transversais de elevada gravidade
TLF	Factor de lapso de tempo
TMDA	Tráfego médio diário anual
$TMDA_p$	Tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura, por sentido e na via mais solicitada
T_{mb}	Temperatura de serviço equivalente anual na camada de macadame betuminoso
T_{mma}	Temperatura média mensal do ar
t_p	Taxa média de crescimento anual do tráfego de veículos pesados
T_{pat}	Ciclo de manutenção
v_a	Percentagem volumétrica de agregado numa mistura betuminosa
v_b	Percentagem volumétrica de betume numa mistura betuminosa
v_v	Percentagem volumétrica de vazios numa mistura betuminosa
W_{sw}	Energia de Pequeno Comprimento de Onda, obtido com o perfilómetro APL
z	Profundidade medida a partir da superfície do pavimento
\dot{z}_s	Derivada (no tempo) do deslocamento da massa suspensa
\dot{z}_u	Derivada (no tempo) do deslocamento da massa não suspensa
ΔACA	Incremento anual da área de fendilhamento total
ΔACA_m	Incremento anual da área de fendilhamento total devido à manutenção do pavimento
ΔACW	Incremento anual da área de fendilhamento aberto
ΔACW_m	Incremento anual da área de fendilhamento aberto devido à manutenção do pavimento
ΔACX	Incremento anual da área de fendilhamento ponderado
ΔACX_m	Redução anual da área de fendilhamento ponderado devido à manutenção do pavimento
ΔAPH	Incremento anual da área de zonas remendadas
ΔAPT	Incremento anual da área de covas
ΔAPT_m	Redução anual da área de covas devido à manutenção do pavimento
ΔARV	Incremento anual da área de desagregação superficial
ΔASP	Área de reparação anual
$\Delta ASPS$	Área de reparação anual, especificada pelo utilizador
$\Delta ASPMAX$	Área máxima de reparação anual aplicável, especificada pelo utilizador
ΔIRI	Incremento anual da irregularidade
ΔIRI_c	Contribuição do fendilhamento para o incremento anual da irregularidade
ΔIRI_d	Contribuição das peladas para o incremento anual da irregularidade
ΔIRI_e	Contribuição das condições ambientais para o incremento anual da irregularidade

ΔIRI_h	Contribuição dos remendos para o incremento anual da irregularidade
ΔIRI_m	Redução anual da irregularidade devido à manutenção do pavimento
ΔIRI_p	Contribuição das covas para o incremento anual da irregularidade
ΔIRI_r	Contribuição das rodeiras para o incremento anual da irregularidade
ΔIRI_s	Contribuição estrutural para o incremento anual da irregularidade
ΔIRI_v	Contribuição da desagregação superficial para o incremento anual da irregularidade
ΔN_{80}	Incremento anual no número acumulado de passagens de eixo-padrão por via
ΔNDL	Incremento anual do número de peladas
ΔNPH	Incremento anual no número de remendos (com 300 mm de diâmetro padrão)
ΔNPT	Incremento anual do número de covas
ΔRDS	Incremento anual no desvio padrão da profundidade das rodeiras
$\Delta SNCK$	Redução no número estrutural modificado devido ao efeito do fendilhamento
ΔT	Intervalo de tempo

1. Introdução

1.1. Enquadramento Geral

“A informação sobre o estado da superfície e da estrutura dos pavimentos constitui um requisito essencial à eficaz gestão de uma rede rodoviária. A avaliação da segurança e conforto, assim como da capacidade de carga, conjuntamente com a ajuda de apropriados modelos de desempenho de pavimentos e de análise económica constituem os elementos necessários ao desenvolvimento de estratégias de conservação para diferentes categorias de redes rodoviárias” [Branco *et al.*, 2011].

Com o objectivo de apoiar os Sistemas de Gestão de Pavimentos (SGP) rodoviários, e em particular a gestão da conservação, têm sido desenvolvidos modelos de previsão do comportamento dos pavimentos – também designados por modelos de previsão da degradação–, que têm a função de prever o estado de degradação do pavimento ao longo da sua vida. Assim, conhecendo a evolução do estado de degradação do pavimento, é possível simular estratégias e definir programas de conservação e reabilitação adequados, evitando que seja atingido o seu limite de funcionalidade [Pereira e Miranda, 1999].

A degradação de um pavimento pode ser definida como a redução progressiva da sua qualidade inicial ao longo da vida útil. Num pavimento flexível as degradações são geralmente provocadas pela acção do tráfego e das condições climáticas (factores activos), e dependem da qualidade de construção, da geometria da estrutura e das propriedades dos materiais constituintes (factores passivos) [The World Bank, 2008].

As degradações interferem mutuamente, gerando uma cadeia de acontecimentos em que uma determinada degradação não evolui isoladamente, e em vez disso, essa degradação dá origem a novos tipos de degradação que por sua vez influenciam a evolução das primeiras e assim sucessivamente. Os tipos de degradação mais severos influenciam a forma como as cargas são aplicadas conduzindo a maiores cargas dinâmicas que por sua vez aceleram a evolução da degradação. Esse impacto é ainda mais notório quando o pavimento é submetido à circulação de veículos pesados [The World Bank, 2008].

Nos pavimentos flexíveis, que são pavimentos cujas camadas superiores são constituídas por misturas betuminosas, podem desenvolver-se vários tipos de degradação que se dividem em 4 famílias, como é mostrado no Quadro 1.1 [Pereira e Miranda, 1999].

A irregularidade longitudinal – também designada simplesmente por “irregularidade”–, que se insere no tema desta dissertação, traduz-se numa deformação longitudinal que se repete com uma determinada frequência ao longo do pavimento e que resulta de desvios entre o perfil real e o perfil teórico com comprimento de onda a variar entre 0.70 m e 50,0 m [Robert, 2007].

Os defeitos geométricos com comprimentos de onda inferiores a 0,7 m pertencem ao domínio da textura, e com comprimentos de onda superiores a 50 m consideram-se deficiências de construção do perfil, sendo excluídas do conceito de irregularidade na avaliação da qualidade do pavimento [Branco *et al.*, 2011].

Quadro 1.1 – Famílias e tipos de degradações [Pereira e Miranda, 1999]

Famílias de degradações	Tipos de degradações
Deformações	Abatimento longitudinal (berma ou eixo) Abatimento transversal Deformações localizadas Ondulação ou irregularidade longitudinal Rodeiras ou irregularidade transversal
Fendilhamento	Fendas de fadiga Fendas longitudinais (berma ou eixo) Fendas transversais Fendas parabólicas Pele de crocodilo (malha fina ou malha larga)
Desagregação da camada de desgaste	Desagregação superficial Cabeça de gato Peladas Ninhos (covas)
Movimento de materiais	Exsudação Subida de finos

Contrariamente a outros tipos de degradação, a irregularidade de um pavimento está sempre presente visto existirem sempre defeitos geométricos daquela ordem de grandeza na execução dos trabalhos de pavimentação [N.D. Lea International Ltd., 1995].

A irregularidade é uma anomalia que tem uma elevada influência na percepção da qualidade funcional de um pavimento por parte do utente, interferindo na segurança e no conforto de circulação. Num pavimento com um elevado índice de irregularidade, a carga dinâmica aplicada pode atingir duas vezes ou mais o valor da mesma acção aplicada estaticamente [The World Bank, 2008; COTO, 2007].

Numa perspectiva económica a irregularidade do perfil de uma estrada está fortemente relacionada com os custos de circulação dos veículos. Isto atribui à irregularidade uma importância preponderante na observação da qualidade dos pavimentos, que integra os sistemas de gestão tanto na fase de exploração [Watanatada *et al.*, 1987].

Por um lado a irregularidade longitudinal pode ter origem em fenómenos que podem ser modelados – é o caso dos outros tipos de degradação que se desenvolvem no pavimento, ou a influência das condições climáticas –, e por outro, em fenómenos que não dependem do comportamento do pavimento e que não são possíveis de prever – é o caso de reparações no pavimento após abertura de valas para instalação de infra-estruturas [N.D. Lea International Ltd., 1995]. A figura 1.1 mostra a cadeia de relações que contribuem para a irregularidade longitudinal em pavimentos flexíveis.

Segundo Brosseaud (1994), a utilização do betão betuminoso drenante na realização da camada de desgaste na reabilitação de pavimentos, é a técnica permite obter um melhor índice de irregularidade longitudinal, em particular nos pavimentos submetidos a tráfego intenso.

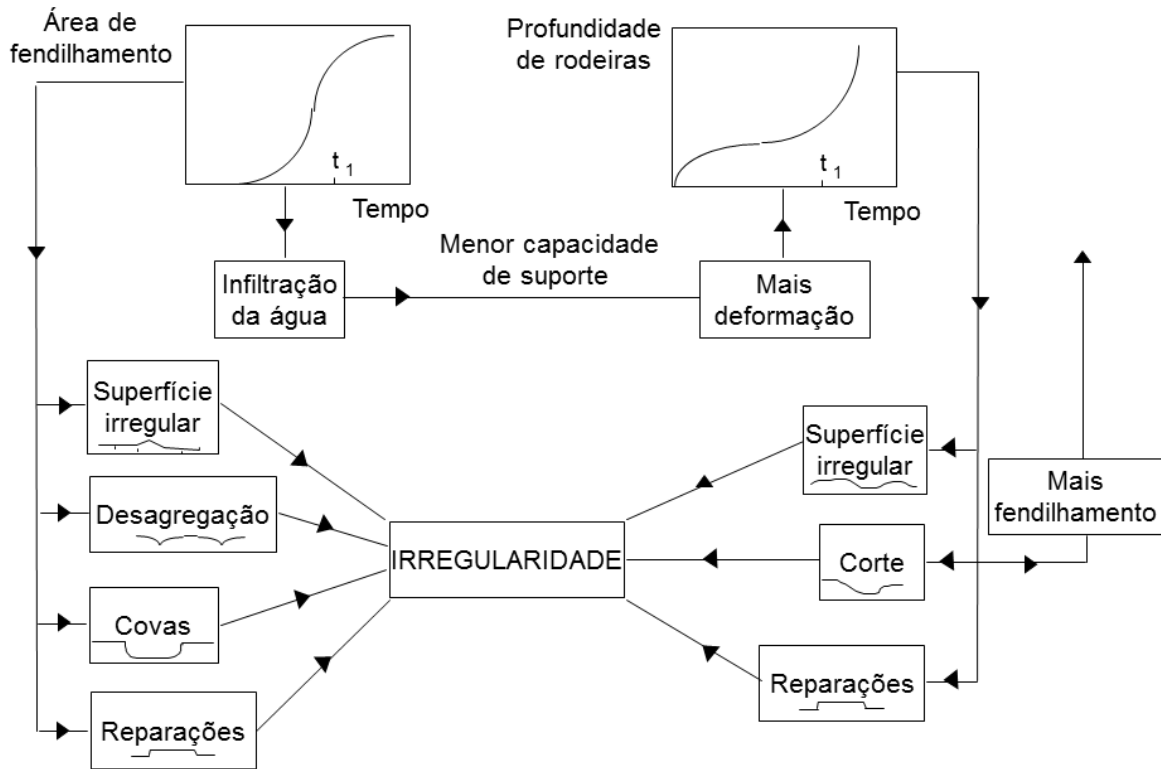


Figura 1.1 – Evolução da irregularidade num pavimento flexível [The World Bank, 2008]

1.2. Objectivos

Este trabalho consiste na análise de modelos de previsão da degradação de pavimentos rodoviários, especificamente do parâmetro IRI (*International Roughness Index*) da irregularidade longitudinal. Admitindo o conhecimento de todas as variáveis envolvidas (com base na experiência), determina-se a evolução da irregularidade longitudinal ao longo do tempo em estruturas tipo definidas no manual de dimensionamento MACOPAV [JAE, 1995], recorrendo a alguns dos modelos de previsão encontrados na literatura.

Pretende-se assim, estabelecer as bases para a avaliação da aplicabilidade dos modelos aos pavimentos em Portugal.

1.3. Estrutura da Dissertação

No primeiro capítulo faz-se uma breve introdução ao tema e é estabelecido o objectivo do trabalho, terminando com a descrição sumária da estrutura da dissertação.

No segundo capítulo descreve-se o parâmetro IRI, faz-se um enquadramento histórico e a sua relação com outros parâmetros de irregularidade. Por fim, indicam-se os valores habitualmente utilizados.

No capítulo “Modelos de previsão da evolução da irregularidade”, são abordados os vários tipos de modelos que podem ser encontrados na literatura, faz-se uma descrição detalhada dos modelos de previsão aplicados ao caso de estudo e um comentário do ponto de vista da aplicabilidade às condições nacionais.

No capítulo “Caso de estudo e Resultados”, faz-se uma descrição do caso considerado com elementos de análise dos modelos e são reunidos os dados necessários para o cálculo do parâmetro IRI. É apresentado um resumo dos resultados obtidos para cada combinação analisada e é efectuada uma análise aos resultados obtidos em cada modelo, comentando-se as características dos modelos e os factores mais condicionantes na evolução da irregularidade.

No último capítulo faz-se uma avaliação global dos modelos estudados, bem como a sugestão de desenvolvimentos futuros.

2. Irregularidade Longitudinal

2.1. Introdução

A avaliação da irregularidade longitudinal de uma estrada pode ser realizada recorrendo a vários equipamentos que adoptam diferentes métodos e princípios de medição. Os principais tipos de equipamento que têm sido utilizados ao longo da história são os equipamentos de referência geométrica simples, os equipamentos baseados na resposta dinâmica de um veículo (*Response-Type Road Roughness Measuring Systems*, RTRRMS) – geralmente designados por equipamentos “tipo-resposta”, e os equipamentos baseados na obtenção de uma “imagem” do perfil da superfície do pavimento – também designados por “perfilómetros”. Estes últimos são os mais utilizados actualmente, e os equipamentos de referência geométrica simples – como é o caso da régua de 3 metros - têm vindo a ser cada vez menos utilizados devido ao seu baixo rendimento [Sayers *et al.*, 1986].

Os equipamentos tipo-resposta medem os deslocamentos relativos entre as massas suspensas e as massas não suspensas de um veículo de ensaio adaptado para o efeito, que consiste num atrelado com apenas uma roda designado por “quarto-de-carro” (Figura 2.1). Alguns destes equipamentos baseiam-se no conceito do BPR (*Bureau of Public Roads*) *Roughmeter*, em que são acumulados apenas os movimentos ascendentes da suspensão do veículo a uma velocidade de 32 km/h [Branco *et al.*, 2011].

As medições obtidas nestes equipamentos dependem das características de suspensão do veículo de ensaio e do estado em que se encontra, o que faz com que veículos diferentes tenham leituras diferentes e seja necessário efectuar periodicamente a sua manutenção e calibração. Os modelos de equipamento tipo-resposta mais conhecidos são o *Maysmeter* e o *Bump Integrator* (Figura 2.1) [Sayers *et al.*, 1986].



Figura 2.1 – Integrador de Choque (*Bump Integrator*) [Aimil Ltd., 2013]

Por outro lado, os perfilómetros permitem a representação detalhada de um pseudo-perfil da superfície do pavimento. A obtenção do perfil pode ser realizada com recurso a perfilómetros estáticos - como o equipamento de mira e nível ou a viga TRRL (*Transport and Road Research Laboratory*) - ou perfilómetros dinâmicos - de referência inercial, como o GM (*General Motors*) e o APL (*Analyseur du Profil en Long* ou “Analisador do Perfil Longitudinal”) (Figura 2.2), ou com tecnologia *laser*, como o ARAN e o RST - que são equipamentos mais complexos obtendo leituras independentes do estado do veículo de ensaio e integrando-se perfeitamente no fluxo normal de tráfego. Os equipamentos mais utilizados actualmente são aqueles que se encontram dotados de tecnologia *laser* (Figura 2.3) [Branco *et al.*, 2011].



Figura 2.2 – Perfilómetro APL [Robert, 2007]



Figura 2.3 – Perfilómetro com tecnologia *laser* [Horta *et al.*, 2013]

2.2. Parâmetro IRI

Além do equipamento utilizado, a medição da irregularidade está também associada a um determinado princípio de medida, dado por um ou vários índices de irregularidade. Neste contexto surgiu a necessidade de estabelecer um índice de referência e um procedimento padronizado para a medição da irregularidade da superfície [N.D. Lea International Ltd., 1995].

Num ensaio realizado no Brasil em 1982, o *International Road Roughness Experiment* (IRRE), que incluiu os principais métodos de medição, foi definido o IRI (*International Roughness Index* ou “Índice de Irregularidade Internacional”) como o índice de irregularidade de referência [Watanatada *et al.*, 1987]. O IRI e os restantes índices de irregularidade compreendidos nesse ensaio são descritos de seguida.

O IRI é um índice de irregularidade que foi desenvolvido pelo Banco Mundial e é obtido por transformação matemática do perfil real da estrada (levantado com um perfilômetro), baseando-se na simulação da resposta de um quarto-de-carro (Figura 2.4) com parâmetros específicos (*Golden Car*), cujos valores são indicados Quadro 2.1. É uma medida absoluta, transferível (entre veículos diferentes) e estável no tempo, que representa o efeito da irregularidade do perfil na circulação de um veículo. É definido como um declive rectificadado médio de referência do perfil longitudinal (expresso em “m/km”), ou seja, a relação entre os deslocamentos relativos acumulados da suspensão de um quarto-de-carro e a distância percorrida a uma velocidade de 80 km/h. Um índice equivalente é o índice IM, mas expresso noutras unidades (polegadas/milha) [COTO, 2007; N.D. Lea International Ltd., 1995].

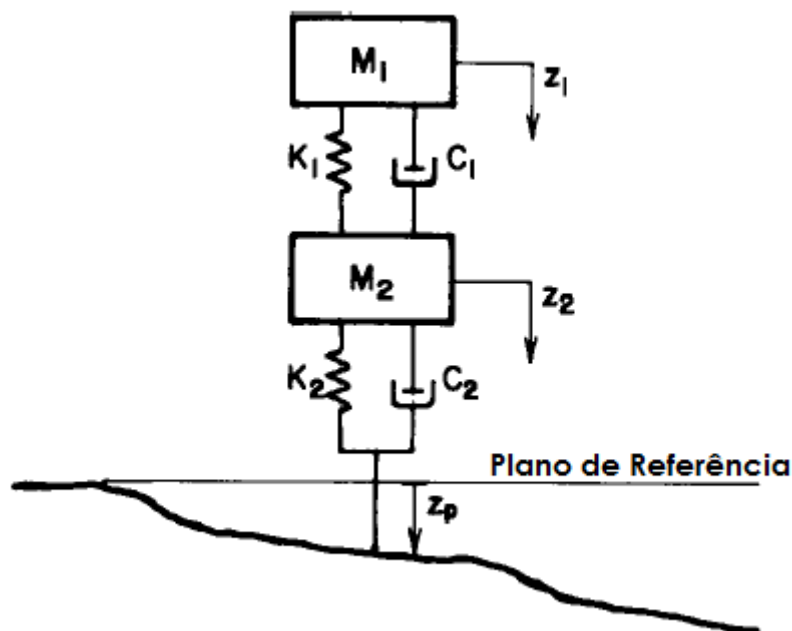


Figura 2.4 – Modelo de quarto-de-carro [ASTM, 2001]

Quadro 2.1 – Parâmetros e respectivos valores (*Golden Car*) [ASTM, 2001]

Parâmetro	Valor
K_1/M_1	63,3
K_2/M_1	653
M_2/M_1	0,15
C_1/M_1	6,0
C_2/M_1	0

A transformação matemática que permite a obtenção do IRI é constituída por um sistema de equações diferenciais que relacionam o movimento entre a massa suspensa e a massa não suspensa do modelo de quarto-de-carro com o perfil longitudinal medido [N.D. Lea International Ltd., 1995]:

$$IRI = \frac{1}{LP} \int_0^{LP/S} |\dot{Z}_s - \dot{Z}_u| dt \quad (2.1)$$

Em que:

IRI – Índice de Irregularidade Internacional (m/km)

LP – comprimento do perfil (km)

S – velocidade simulada (80 km/h)

\dot{Z}_s – derivada (no tempo) do deslocamento da massa suspensa

\dot{Z}_u – derivada (no tempo) do deslocamento da massa não suspensa

O perfil longitudinal é filtrado em intervalos de amostragem de 250 mm (não excedendo os 300 mm, para resultados mais precisos) e assume-se que o perfil tem um declive constante em todos os pontos na distância percorrida [N.D. Lea International Ltd., 1995].

No ensaio do Brasil foi inicialmente desenvolvido um índice de irregularidade designado QI_m (*Quarter-car Index* ou “Índice de Quarto-de-carro”), que representa o declive médio da irregularidade (expresso em “contagens/km”) obtido com o equipamento de ensaio tipo-resposta *Maysmeter* calibrado com o auxílio de um perfil levantado com um perfilómetro dinâmico [Watanatada *et al.*, 1987]. Este parâmetro é conceptualmente idêntico ao IRI e são ambos fortemente correlacionados visto que o procedimento baseia-se no mesmo princípio utilizado para obter o IRI, o qual substituiu o método de calibração que vinha sendo adoptado anteriormente, que devido a defeitos de equipamento e erros de metodologia, não permitia replicar os resultados obtidos no passado (instável no tempo) [COTO, 2007].

O índice BI foi desenvolvido pelo TRRL e é dado por um declive médio da irregularidade do perfil (expresso em “mm/km”), obtido com o equipamento tipo-resposta *Bump Integrator* (“Integrador de Choque”) movimentando-se a uma velocidade de 32 km/h. Este índice resulta dos deslocamentos acumulados da suspensão apenas numa direcção [Sayers *et al.*, 1986].

O $CP_{2.5}$ (*Coefficient of Planarity* ou “Coeficiente de Planeza”) é um índice de irregularidade que foi desenvolvido pelo CRR (*Centre de Recherches Routiers*), na Bélgica, e é definido pelo valor médio do deslocamento da suspensão calculado em troços de 2,5 m a partir de um perfil obtido num

perfilómetro APL operado a 72 km/h. Este índice é expresso em centésimas de milímetro e está fortemente correlacionado com o IRI [Robert, 2007].

O índice $CAPL_{25}$ (*Coefficient of APL25* ou “Coeficiente de APL25”) foi desenvolvido pelo LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*) e é definido pelo declive médio da irregularidade calculado para cada troço de 25 metros com base num perfil obtido num perfilómetro APL operado a uma velocidade de 21,6 km/h [Robert, 2007].

O W_{sw} (*Short Wavelength Energy* ou “Energia de Pequeno Comprimento de Onda”) é um índice que foi desenvolvido pelo LCPC, dado pela média-quadrática das irregularidades de pequeno comprimento de onda de um perfil obtido com um perfilómetro APL que opera a uma velocidade de 72 km/h. Este parâmetro é fortemente correlacionado com o IRI [Watanatada *et al.*, 1987].

O PSI (*Pavement Serviceability Index* ou “Índice de Aptidão de Serviço”) é um índice de qualidade global dos pavimentos que resultou da informação obtida no ensaio da AASHO (*American Association of State Highway Officials*) – o AASHO Road Test – realizado em Illinois no final dos anos 50, e que foi adoptado pelo Sistema de Gestão de Pavimentos do estado do Nevada. Este índice relaciona-se com a irregularidade longitudinal e com outras características do estado superficial do pavimento observadas (rodeiras, reparações e fendilhamento), utilizando a expressão 2.2 para pavimentos flexíveis [AASHTO, 1993]. A avaliação da qualidade do pavimento em função do índice PSI é indicada no Quadro 2.2.

$$PSI_t = 5,03 - 1,91 \log(1 + SV_t) - 1,38 R_t^2 - 0,01 \sqrt{CS_t + P_t} \quad (2.2)$$

Onde:

PSI_t – Índice de Aptidão de Serviço no final do ano t

SV_t – média da variância da inclinação do perfil longitudinal no final do ano t, medido com o perfilómetro CHLOE

R_t – profundidade média das rodeiras no final do ano t (polegadas)

CS_t – área com pele de crocodilo ou com desagregação superficial no final do ano t (1/1000)

P_t – área de zonas reparadas no final do ano t (1/1000)

Quadro 2.2 – Avaliação da qualidade dos pavimentos através do índice PSI [AASHTO, 1993]

PSI	Classificação
0-1	Muito mau
1-2	Mau
2-3	Regular
3-4	Bom
4-5	Muito bom

No SGP das Estradas de Portugal (EP) adoptou-se um índice de qualidade (IQ) que se baseia no PSI e se relaciona com o IRI, obtido através da expressão 2.3 para pavimentos flexíveis [EP, 2008]. A avaliação da qualidade do pavimento em função do índice IQ é indicada no Quadro 2.3.

$$IQ_t = 5 e^{-0,0002598 IRI_t} - 0,002139 R_t^2 - 0,03 (C_t + S_t + P_t)^{0,5} \quad (2.3)$$

Onde:

IQ_t – índice de qualidade no final do ano t

IRI_t – irregularidade no final do ano t (mm/km IRI)

R_t – profundidade média das rodeiras no final do ano t (mm)

C_t – área com fendilhamento no final do ano t ($m^2/100m^2$)

SD_t – área de covas e peladas no final do ano t ($m^2/100m^2$)

P_t – área de zonas reparadas no final do ano t ($m^2/100m^2$)

Quadro 2.3 – Avaliação da qualidade dos pavimentos através do índice IQ [EP, 2008]

IQ	Classificação
0	Pavimento em muito mau estado
2,5	Necessidade de intervenção
5	Pavimento em muito bom estado

A partir dos dados recolhidos no *International Road Roughness Experiment* (IRRE), foram estabelecidas as seguintes correlações aproximadas entre o IRI e os restantes índices referidos anteriormente [Watanatada *et al.*, 1987]. Na Figura 2.5 é apresentado um ábaco que também correlaciona os parâmetros referidos.

$$IRI = \frac{QI_m}{13} \quad (2.4)$$

Em que:

IRI – Índice de Irregularidade Internacional (m/km)

QI_m – Índice de Quarto-de-carro, obtido com o equipamento *Maysmeter* calibrado (contagens/km)

$$IRI = 0,0032 BI^{0,89} \quad (2.5)$$

Em que:

IRI – Índice de Irregularidade Internacional (m/km)

BI – índice de irregularidade obtido com o equipamento "Integrador de Choque" (mm/km)

$$IRI = \frac{CP_{2.5}}{16} \quad (2.6)$$

Em que:

IRI – Índice de Irregularidade Internacional (m/km)

$CP_{2.5}$ – Coeficiente de Planeza, obtido com o perfilómetro APL (0,01 mm)

$$IRI = 0,78 W_{sw}^{0,63} \quad (2.7)$$

Em que:

IRI – Índice de Irregularidade Internacional (m/km)

W_{sw} – Energia de Pequeno Comprimento de Onda, obtido com o perfilómetro APL

$$IRI = 0,45 k CAPL_{25} \quad (2.8)$$

Em que:

IRI – Índice de Irregularidade Internacional (m/km)

$CAPL_{25}$ – Coeficiente de APL25, obtido com o perfilómetro APL

$k = 1$ para uso geral, $k=0,74$ para betão betuminoso, $k=1,11$ para tratamento superficial, terra ou seixo

$$IRI = 5,5 \ln \left(\frac{50}{PSI} \right) \quad (2.9)$$

Em que:

IRI – Índice de Irregularidade Internacional (m/km)

PSI – Índice de Aptidão de Serviço

$$IRI = \frac{IM}{63,36} \quad (2.10)$$

Em que:

IRI – Índice de Irregularidade Internacional (m/km)

IM – índice equivalente ao IRI, obtido por simulação de referência de um quarto-de-carro (polecada/milha)

2.3. Valores Admissíveis de IRI

Se do ponto de vista do utilizador o valor do parâmetro IRI representa um determinado nível de conforto de circulação, do ponto de vista das administrações rodoviárias ele representa um importante indicador do estado funcional do pavimento, não apenas na fase de exploração mas também nas fases de construção ou reabilitação [Branco *et al.*, 2011].

No que diz respeito ao controlo da qualidade dos pavimentos, o Caderno de Encargos Tipo Obras (CETO) das Estradas de Portugal [EP, 2009] recomenda que sejam respeitados os valores limite de IRI definidos para a camada de desgaste. Para pavimentos novos com misturas betuminosas em camada de desgaste, os valores admissíveis são apresentados no Quadro 2.4, e para pavimentos reabilitados com espessura de misturas betuminosas igual ou inferior a 0,10, no Quadro 2.5. Ainda segundo Ferreira *et al.* (2013), estes valores são recomendados para auto-estradas. Aos valores apresentados nos Quadros 2.4 e 2.5, aplica-se a classificação estabelecida ao Quadro 2.6.

IRI (m/km IRI)	GI _m (count/km)	BI _r (mm/km)	CP _{2.5} (0.01 mm)	W _{sw}	CAPL ₂₅	SI (PSI)	IM _r (in/mile)	IRI m/km
0	0	0	0	0	0	5.0	0	0
2	20	1,000	20	4	4	4.0	100	2
4	40	2,000	40	8	8	3.0	200	4
6	80	4,000	60	12	12	2.0	300	6
8	120	6,000	80	16	16	1.5	400	8
10	160	8,000	100	20	20	1.0	500	10
12	200	10,000	120	24	24	0.5	600	12
14	240	12,000	140	28	28		700	14
16	280	14,000	160	32	32		800	16
18	320	16,000	180	36	36		900	18
20	360	18,000	200	40	40		1,000	20

Figura 2.5 – Conversão entre o IRI e os restantes índices de irregularidade [Paterson, 1987]

Também de acordo com o CETO [EP, 2009], a avaliação da irregularidade longitudinal deverá ser efectuada no final de todos os trabalhos de pavimentação, por medição em contínuo recorrendo a equipamentos que permitam o levantamento do perfil longitudinal, como é o caso dos perfilómetros APL e dos perfilómetros com sensores tipo *laser*. A medição da irregularidade longitudinal deverá ser realizada ao longo da rodeira externa ou, preferencialmente, ao longo das duas rodeiras de cada um dos lotes ensaiados.

O caderno refere ainda que não deverá ser efectuada a medição utilizando equipamentos tipo “resposta”, atendendo às limitações que estes equipamentos apresentam, considerando-se desejável o fornecimento dos resultados em termos de perfil longitudinal da superfície segundo o alinhamento ensaiado, para além dos valores de IRI por troços de 100 m, de modo a tornarem-se visíveis quaisquer deficiências pontuais existentes na superfície, facilitando a sua localização e posterior correcção quando se justifique.

Quadro 2.4 – Valores admissíveis de IRI (m/km), determinado para troços de 100 metros, em pavimentos novos com misturas betuminosas em camada de desgaste [EP, 2009]

Camada	Percentagem da extensão da obra		
	50%	80%	100%
Camada de desgaste	≤ 1,5	≤ 2,5	≤ 3,0

Quadro 2.5 - Valores admissíveis de IRI (m/km), determinado para troços de 100 metros, em pavimentos reabilitados com misturas betuminosas em camada de desgaste [EP, 2009]

Camada	Percentagem da extensão da obra		
	50%	80%	100%
Camada de desgaste	≤ 2,0	≤ 3,0	≤ 3,5

Quadro 2.6 – Classificação da irregularidade [EP, 2009]

Muito Bom	Excede largamente os parâmetros exigidos
Bom	Cumprer os parâmetros exigidos excepção feita à percentagem da extensão do traçado com valores inferiores a 3,0 e 3,5, que deverá ser superior ou igual a 95%
Razoável	Cumprer os parâmetros exigidos, excepção feita às percentagens de extensão do traçado com valores inferiores a 1,5 e 2,0 e 3,0 e 3,5, onde se admitem respectivamente as percentagens de 40 e 90
Medíocre	Não cumprir as exigências anteriores (razoável), mas apresenta valores de IRI de 1,5; 2,5 e 3,0 e 2,0, 3,0 e 3,5 em percentagens do traçado superiores a 15, 60 e 85, respectivamente
Mau	Não cumprir os parâmetros exigidos nas classificações anteriores

Outras administrações rodoviárias adoptam outros valores. A título de exemplo, o Departamento de Estradas do Município do Dubai adopta um valor terminal de IRI de 3,0 m/km para vias de tráfego lento, e de 3,3 para vias de tráfego rápido, a partir do qual se considera o fim da vida útil do pavimento e um nível de serviço inadequado [Al-Suleiman e Shyab, 2003].

O ISOHDM sugere uma classificação da qualidade de circulação em função do valor do IRI de acordo com o Quadro 2.7.

Quadro 2.7 – Classificação de qualidade de circulação [N.D. Lea International Ltd., 1995]

Qualidade de circulação	IRI (m/km)
Bom	3,0
Razoável	5,0
Fraco	7,0
Mau	11,0

Nas situações em que se pretende avaliar o IRI na ausência ou inviabilidade de medição directa, pode-se recorrer a métodos que se baseiam na análise subjectiva da irregularidade.

Segundo Sayers *et al.* (1986), para pavimentos com superfície em betão betuminoso ou tratamento superficial: IRI de 2 m/km corresponde a uma circulação confortável a uma velocidade acima dos 120 km/h, com ondulação pouco perceptível a uma velocidade 80 km/h; IRI de 4 m/km corresponde a uma circulação confortável até a uma velocidade de 100-120 km/h, com ondulação moderadamente perceptível a uma velocidade de 80 km/h; IRI de 6 m/km corresponde a circulação confortável até a uma velocidade de 70-90 km/h, com oscilações fortemente perceptíveis; IRI de 8m/km corresponde a uma circulação confortável até a uma velocidade de 50-60 km/h, com oscilações e movimentos bruscos frequentes; IRI de 10 m/km corresponde a um conforto de circulação a uma velocidade abaixo dos 50 km/h.

O Manual de Utilização do SGP [EP, 2008] relaciona o IRI com o nível de gravidade de outras degradações (Quadro 2.8), sendo o nível de gravidade classificado de acordo com o Quadro 2.9.

Quadro 2.8 – Esquema de quantificação do IRI na ausência de medição directa [EP, 2008]

Nível 1	IRI = 1500 mm/km: fendilhamento (nível 1 ou inferior) e peladas (nível 1 ou inferior) e rodeiras (nível 1 ou inferior)
Nível 2	IRI = 2500 mm/km: casos intermédios
Nível 3	IRI = 3500 mm/km: fendilhamento (nível 3) ou peladas (nível 3) e rodeiras (nível 2 ou superior)

Quadro 2.9 – Degradações e níveis de gravidade em pavimentos flexíveis [EP, 2008]

Degradação	Nível de gravidade	Descrição do nível de gravidade
Fendilhamento	Nível 1	Fenda isolada mas perceptível
	Nível 2	Fendas longitudinais ou transversais abertas e/ou ramificadas
	Nível 3	Pele de crocodilo
Peladas, desagregação superficial, exsudação de betume, polimento dos agregados, deformações localizadas	Nível 1	Anomalia com largura inferior a 30 cm
	Nível 2	Anomalia com largura entre 30 a 100 cm
	Nível 3	Anomalia com largura superior a 100 cm
Covas (ninhos)	Nível 1	Profundidade máxima da cavidade < 2 cm
	Nível 2	2 cm < Profundidade máxima da cavidade < 4 cm
	Nível 3	Profundidade máxima da cavidade > 4 cm ou várias covas de qualquer largura na mesma secção transversal
Reparações	Nível 1	Reparações bem executadas
	Nível 2	Reparações com baixa qualidade de execução ou má elaboração das juntas
	Nível 3	Reparações mal executadas
Rodeiras	Nível 1	Profundidade máxima da rodeira < 10 mm
	Nível 2	10 mm < Profundidade máxima da rodeira < 30 mm
	Nível 3	Profundidade máxima da rodeira > 30 mm

3. Modelos de Previsão da Evolução da Irregularidade

3.1. Introdução

Segundo Branco *et al.* (2011), os modelos de desempenho de pavimentos podem classificar-se de acordo com vários atributos: nível de aplicação, tipo de variáveis dependentes e independentes, formato conceptual e tipo de formulação. No Quadro 3.1 descreve-se a classificação de cada um deles.

Quadro 3.1 – Classificação dos modelos de desempenho [Branco *et al.*, 2011]

Nível de aplicação	Tipo de variáveis dependentes	Tipo de variáveis independentes	Formato conceptual	Tipo de formulação
Projecto Rede	Global Paramétrico	Absoluto Relativo	Empírico Mecanicista Empírico-mecanicista	Determinístico Probabilístico

▪ **Nível de aplicação**

Os modelos aplicados ao nível de rede pretendem contribuir para a definição das necessidades de intervenção de conservação e reabilitação ao longo da vida do pavimento [Ferreira, 2007].

Ao nível de projecto, os modelos apoiam a tomada de decisão de carácter técnico relacionada com as intervenções em trechos específicos da rede, como por exemplo, a escolha de tipos de materiais do pavimento [Ferreira, 2007].

▪ **Tipo de variáveis dependentes**

Os modelos globais representam o estado do pavimento do pavimento através de índices de degradação e de índices de condição ou de serviço (por exemplo: PSI) [Branco *et al.*, 2011].

Os modelos paramétricos expressam o estado do pavimento através de índices que representam os vários parâmetros de estado (por exemplo: área de fendilhamento, profundidade de rodeiras, IRI) [Branco *et al.*, 2011].

▪ **Tipo de variáveis independentes**

Os modelos absolutos admitem várias variáveis independentes para prever a evolução do estado do pavimento (espessura das camadas, módulo de deformabilidade, características das misturas, clima e tráfego). Caracterizam-se por serem modelos mais complexos mas de aplicação impossível na ausência de valores de auscultação [The World Bank, 2008].

Os modelos relativos prevêm o estado futuro do pavimento para os vários parâmetros de estado considerando apenas uma variável independente, que pode ser o tempo ou o tráfego [Pereira e Miranda, 1999].

- **Formato conceptual**

Os modelos mecanicistas baseiam-se em fundamentos teóricos do comportamento dos materiais que constituem o pavimento, representando portanto uma aproximação puramente racional do comportamento do pavimento [N.D. Lea International Ltd., 1995].

Os modelos empíricos apoiam-se em dados de observação do comportamento do pavimento obtidos em levantamentos de campo, em ensaios de laboratório ou em ensaios de carregamento acelerado [N.D. Lea International Ltd., 1995].

Ambos apresentam desvantagens que limitam a sua aplicação. Por um lado os modelos mecanicistas solicitam um grande número de variáveis e incidem em parâmetros que são difíceis de quantificar, que torna muito complexa a sua concepção e aplicação, e por outro lado os modelos empíricos estão limitados às condições específicas em que foram obtidos os dados de observação. Por outro lado, os modelos empírico-mecanicistas combinam bases teóricas dos modelos mecanicistas ponderadas com a análise de dados experimentais ou observados. Por esse motivo, estes modelos são mais flexíveis [N.D. Lea International Ltd., 1995].

- **Tipo de formulação**

Os modelos determinísticos prevêm um único valor para o parâmetro de estado correspondente a um conjunto de variáveis independentes [The World Bank, 2008].

Os modelos probabilísticos, para além de determinar um valor que pode ser comparado com o valor calculado a partir de um modelo determinístico, indicam as probabilidades de diferentes estados do pavimento para cada ano e para todos os trechos da rede rodoviária [The World Bank, 2008].

3.2. Modelos IRI

Os modelos que serão descritos de seguida dizem respeito apenas à irregularidade, não sendo mencionados os modelos concebidos para outros parâmetros de estado que são tidos em consideração.

Os modelos foram seleccionados tendo em conta a sua aplicabilidade ao caso de estudo apresentado no capítulo 4 e aos dados disponíveis. Fundamentalmente, procura-se avaliar pavimentos flexíveis sujeitos a tráfego pesado variável (de leve a intenso) e a condições climáticas normais (não coincidindo com extremos de temperatura e precipitação).

3.2.1. Modelo HDM-III

Este modelo foi publicado em 1987 e é o resultado da terceira versão de um estudo levado a cabo pelo Banco Mundial (*The World Bank*), o HDM (*Highway Design and Maintenance Standards Model*), que teve início em 1969 com incidência em países tropicais, nomeadamente Quênia (1971-75), Caraíbas (1977-82), Índia (1977-83) e Brasil (1975-84). O estudo do Brasil, em particular, foi o

que teve na origem dos modelos de previsão da degradação de pavimentos [Watanatada *et al.*, 1987; N.D. Lea International Ltd., 1995].

O HDM-III contém relações para prever o comportamento dos pavimentos ao longo do tempo, considerando o efeito das intervenções de conservação [N.D. Lea International Ltd., 1995].

No modelo HDM-III foi adoptada uma abordagem empírico-mecanicista, absoluta e incremental, em que a progressão da irregularidade longitudinal se divide em duas fases. Uma fase em que ocorre um crescimento anual no valor da irregularidade devido à deterioração do pavimento, e outra fase em que há uma diminuição no valor da irregularidade devido a uma política de manutenção (definida pelo utilizador) aplicada no início do ano seguinte. Tem-se assim um estado no final do ano em análise (antes da manutenção) e outro estado no início do ano seguinte (após a manutenção) [Watanatada *et al.*, 1987].

O modelo de previsão da evolução da irregularidade devido à degradação é dado pela expressão 3.1 e resulta da soma de cinco componentes: deformação estrutural (relacionada com a capacidade estrutural do pavimento); fendilhamento (*cracking*); covas (*potholing*); rodeiras (*rutting*); e uma componente ambiental (relacionada com as condições climáticas) [Watanatada *et al.*, 1987]. Além do IRI, todos os parâmetros de estado mencionados podem também ser previstos através de expressões do HDM-III que não serão descritas neste trabalho.

O modelo descrito no parágrafo anterior aplica-se a pavimentos flexíveis e expressa-se com o parâmetro QI, mas foi feita a conversão para IRI aplicando expressão 2.4.

$$\Delta IRI_t = K_0 [134 e^{m \cdot t} (SNCK_t + 1)^{-5.0} \Delta N80 + 0.114 \Delta RDS + 0.0066 \Delta ACX + 0.42 \Delta APT] + m IRI_a \quad (3.1)$$

Em que:

ΔIRI_t – incremento anual da irregularidade (m/km IRI)

IRI_a – irregularidade no início do ano t (m/km IRI)

K_0 – coeficiente de calibração (valor por defeito = 1)

m – coeficiente ambiental (Quadro 3.2)

t – idade do pavimento desde a realização da última camada (anos)

$\Delta N80$ – incremento anual no número acumulado de passagens de eixo-padrão por via (milhões)

$SNCK_t$ – número estrutural modificado no final do ano t, reduzido pelo efeito do fendilhamento, dado pela equação 3.2

ΔRDS – incremento anual no desvio padrão da profundidade das rodeiras (mm)

ΔACX – incremento anual da área de fendilhamento ponderado, em percentagem da área total (%), dado pela equação 3.9

ΔAPT – incremento anual da área de covas, em percentagem da área total (%)

$$SNCK_t = \max (1.5 ; SNC - \Delta SNCK) \quad (3.2)$$

Em que:

SNC – número estrutural modificado pela contribuição da resistência da fundação, dado pela

equação 3.3

Δ SNCK – redução no número estrutural modificado devido ao efeito do fendilhamento, dada pela equação 3.6

Quadro 3.2 – Valores recomendados para o coeficiente ambiental (m) aplicável aos modelos HDM-III e HDM-4 [The World Bank, 2008]

Classificação da humidade	Classificação da temperatura				
	Tropical	Subtropical quente	Subtropical frio	Temperado frio	Temperado gelo
Árido	0,005	0,010	0,015	0,025	0,040
Semiárido	0,010	0,015	0,025	0,035	0,060
Sub-húmido	0,020	0,025	0,040	0,060	0,100
Húmido	0,025	0,030	0,060	0,100	0,200
Molhado	0,030	0,040	0,070	-	-

$$SNC = SN + SNSG \quad (3.3)$$

Em que:

SN – número estrutural da AASHTO, dado pela equação 3.4

SNSG – contribuição da resistência da fundação para o número estrutural, dado pela equação 3.5

$$SN = 0.0394 \sum_i^{ncamada} a_i h_i \quad (3.4)$$

Em que:

a_i – coeficiente estrutural da camada i (Quadro 3.3)

h_i – espessura da camada i (mm)

$ncamada$ – número de camadas acima da fundação

Quadro 3.3 – Coeficiente estrutural das camadas

Camada	a_i
Betão betuminoso	0,11
Macadame betuminoso	0,34
Material britado	0,44

$$SNSG = \begin{cases} 3.51 \log_{10} CBR - 0.85 (\log_{10} CBR)^2 - 1.43, & CBR \geq 3 \\ 0, & CBR < 3 \end{cases} \quad (3.5)$$

Em que:

CBR – índice californiano de capacidade de carga (*California Bearing Ratio*) (%)

$$\Delta SNCK = 0.0000758 [\min (63; ACX_a) HSNEW + \max [\min (ACX_a - PACX; 40); 0] HSOLD] \quad (3.6)$$

Em que:

HSNEW – espessura total das camadas ligadas (actual) (mm)

HSOLD – espessura total das camadas ligadas (anterior) (mm)

ACX_a – área de fendilhamento ponderado no início do ano t, em percentagem da área total (%), dada pela equação 3.7

$PACX$ – área de fendilhamento ponderado nas camadas anteriores, em percentagem da área total (%), dada pela equação 3.8

$$ACX_a = 0.62 ACA_a + 0.39 ACW_a \quad (3.7)$$

Em que:

ACA_a – área de fendilhamento total no início do ano t, em percentagem da área total (%)

ACW_a – área de fendilhamento aberto no início do ano t, em percentagem da área total (%)

$$PACX = 0.62 PACA + 0.39 PACW \quad (3.8)$$

Em que:

$PACA$ – área de fendilhamento total nas camadas anteriores, em percentagem da área total (%)

$PACW$ – área de fendilhamento aberto nas camadas anteriores, em percentagem da área total (%)

$$\Delta ACX = 0.62 \Delta ACA + 0.39 \Delta ACW \quad (3.9)$$

Em que:

ΔACA – incremento anual da área de fendilhamento total, em percentagem da área total (%)

ΔACW – incremento anual da área de fendilhamento aberto, em percentagem da área total (%)

O termo correspondente à redução da irregularidade devido à manutenção do pavimento, decorrente da política de conservação, é dado pela expressão 3.10 [Watanatada *et al.*, 1987]. Fez-se novamente a conversão para IRI utilizando a expressão 2.4.

$$\Delta IRI_m = \frac{1}{13} \min [0.130 \min (\Delta ASP; 10) + 0.086 \Delta ACX_m + 4.91 \Delta APT_m; 150 - 13 IRI_t] \quad (3.10)$$

Onde:

ΔIRI_m – redução anual da irregularidade devido à manutenção do pavimento (m/km IRI)

IRI_t – irregularidade no final do ano t (m/km IRI)

ΔASP – área de reparação anual, em percentagem da área total (%), dada pela equação 3.11

ΔACX_m – redução anual da área de fendilhamento ponderado devido à manutenção do pavimento, em percentagem da área total (%), dada pela equação 3.13

ΔAPT_m – redução anual da área de covas devido à manutenção do pavimento, em percentagem da área total (%)

$$\Delta ASP = \min \left[\Delta ASP_S; \frac{\Delta ASP_{MAX}}{10 CW} \right] \quad (3.11)$$

Onde:

ΔASP_S – área de reparação anual, especificada pelo utilizador, em percentagem da área total (%), dada pela equação 3.12

ΔASP_{MAX} – área máxima de reparação anual aplicável, especificada pelo utilizador (m^2/km)

CW – largura da faixa de rodagem (m)

$$\Delta ASP_S = \begin{cases} \frac{FPT_0}{100} APT_t & , \text{ se aplicada apenas às covas} \\ \frac{FDAM_0}{100} (ACW_t + ARV_t + APT_t) & , \text{ se aplicada a várias degradações} \end{cases} \quad (3.12)$$

Onde:

FPT_0 – percentagem de área de covas a serem reparadas anualmente, especificada pelo utilizador (%)

$FDAM_0$ – percentagem de área degradada a ser reparada anualmente, especificada pelo utilizador (%)

APT_t – área de covas no final do ano t, em percentagem de área total (%)

ACW_t – área de fendilhamento aberto no final do ano t, em percentagem da área total (%)

ARV_t – área de desagregação superficial no final do ano t, em percentagem da área total (%)

$$\Delta ACX_m = 0.62 \Delta ACA_m + 0.39 \Delta ACW_m \quad (3.13)$$

ΔACA_m – incremento anual da área de fendilhamento total devido à manutenção do pavimento, em percentagem da área total (%)

ΔACW_m – incremento anual da área de fendilhamento aberto devido à manutenção do pavimento, em percentagem da área total (%)

O valor absoluto da irregularidade no final do ano (antes da manutenção) é obtido pela expressão 3.14 e o valor da irregularidade no início do ano seguinte (depois da manutenção) é obtido pela expressão 3.15.

$$IRI_t = \min \left(\frac{150}{13}; IRI_a + \Delta IRI_t \right) \quad (3.14)$$

Em que:

IRI_t – irregularidade no final do ano t (m/km IRI)

IRI_a – irregularidade no início do ano t (m/km IRI), dada pela equação 3.15

ΔIRI_t – incremento anual da irregularidade (m/km IRI), dado pela equação 3.1

$$IRI_a = IRI_t - \Delta IRI_m \quad (3.15)$$

Em que:

IRI_a – irregularidade no início do ano t (m/km IRI)

IRI_t – irregularidade no final do ano t (m/km IRI), dada pela equação 3.14

ΔIRI_m – redução anual da irregularidade devido à reparação do pavimento (m/km IRI), dada pela equação 3.10

Uma vez que este estudo se foca essencialmente em países tropicais e que os modelos de previsão da degradação se baseiam em estudos de campo conduzidos no Brasil, a sua aplicação a pavimentos localizados em países abrangidos por um contexto físico e económico diferente - que se reflecte em termos de tráfego, tipos de solo, materiais e tecnologias de pavimentação disponíveis, e condições climáticas-, requer a calibração do modelo para as condições locais de forma a garantir a aplicabilidade do modelo e aumentar a fiabilidade das previsões [Watanatada *et al.*, 1987]. É o caso da aplicação do modelo a um pavimento localizado em Portugal, definido como o caso de estudo deste trabalho.

Apesar do HDM-III se basear largamente em dados de estudo do Brasil, já foi validado em estudos de campo independentes realizados em vários países diferentes. Assim, a aplicabilidade do modelo não deve ser vista exclusivamente ao nível de países tropicais [N.D. Lea International Ltd., 1995].

Neste trabalho adoptou-se o valor por defeito definido para os coeficientes de calibração (1,0) perante a ausência de dados que suportem a sua aplicação.

Verifica-se que neste modelo é imposto um limite superior no cálculo da irregularidade, omitindo um crescimento demasiado acentuado a partir de um determinado valor. Esse aspecto limita a previsão da evolução da irregularidade para períodos muito longos.

3.2.2. Modelos HDM-4, HDM-4 Australiano e HDM-4 Sul-Africano

O modelo HDM-4 é um modelo empírico-mecanicista que foi desenvolvido na sequência do HDM-III, num estudo internacional designado ISOHDM (*International Study of Highway Development and Management Tools*), iniciado em 1993 e concluído em 1995 com o objectivo de actualizar as relações anteriormente estabelecidas [N.D. Lea International Ltd., 1995].

No modelo de previsão da irregularidade longitudinal (IRI) para pavimentos flexíveis foram introduzidas algumas alterações comparativamente ao que é disposto no HDM-III, tendo sido adicionadas três novas componentes: desagregação superficial (*ravelling*), peladas (*delamination*), e remendos (*patching*). Notam-se também alterações na forma como a irregularidade é afectada pelas covas [N.D. Lea International Ltd., 1995].

Na Figura 3.1 observa-se um fluxograma que resume o cálculo da irregularidade no modelo HDM-4.

O estudo refere ainda que o efeito das peladas na evolução da irregularidade é válido apenas para casos em que há reforço (*overlay*) de misturas betuminosas em pavimentos já existentes. Portanto, pelo facto do caso de estudo apresentado neste trabalho ser referente a uma construção nova não se admite qualquer tipo de sobreposição de camadas de desgaste e dessa forma é desprezado o efeito das peladas na previsão da irregularidade.

Uma vez que o HDM-4 é um modelo utilizado por várias Administrações Rodoviárias em todo o mundo, foram sendo desenvolvidos estudos com o objectivo de calibrar e introduzir alterações ao modelo – é o caso do modelo “HDM-4 Australiano” da *Austroads*, e do modelo “HDM-4 Sul-Africano” da *SANRAL (South African National Roads Agency Limited)*. Ambos os modelos desprezam os efeitos da desagregação superficial, das peladas e dos remendos na irregularidade, e introduzem modificações na forma como se quantifica o efeito das covas [Hoque *et al.*, 2008, Theyse, 2008]. Os modelos HDM-4 e HDM-4 Australiano/Sul-Africano são dados pelas expressões 3.16 e 3.17, respectivamente.

$$\Delta IRI_t = K_0 [K_1 \Delta IRI_s + K_2 \Delta IRI_c + K_3 \Delta IRI_v + K_4 \Delta IRI_r + K_5 \Delta IRI_p + K_6 \Delta IRI_d + K_7 \Delta IRI_h + K_8 \Delta IRI_e] \quad (3.16)$$

$$\Delta IRI_t = K_0 [K_1 \Delta IRI_s + K_2 \Delta IRI_c + K_4 \Delta IRI_r + K_5 \Delta IRI_p + K_8 \Delta IRI_e] \quad (3.17)$$

Onde:

ΔIRI_t – incremento anual da irregularidade (m/km IRI)

$K_0, K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6, K_7, K_8$ – coeficientes de calibração (valor por defeito = 1)

ΔIRI_s – contribuição estrutural para o incremento anual da irregularidade (m/km IRI), dada pela equação 3.18

ΔIRI_c – contribuição do fendilhamento para o incremento anual da irregularidade (m/km IRI), dada pela equação 3.19

ΔIRI_v – contribuição da desagregação superficial para o incremento anual da irregularidade (m/km IRI), dada pela equação 3.20

ΔIRI_r – contribuição das rodeiras para o incremento anual da irregularidade (m/km IRI), dada pela equação 3.21

ΔIRI_p – contribuição das covas para o incremento anual da irregularidade (m/km IRI), dada pelas equações 3.22 (sem manutenção) e 3.23 (com manutenção) para o modelo HDM-4, equações 3.24 (sem manutenção) e 3.25 (com manutenção) para o modelo HDM-4 Australiano, e equações 3.26 (sem manutenção) e 3.27 (com manutenção) para o modelo HDM-4 Sul-Africano

ΔIRI_d – contribuição das peladas para o incremento anual da irregularidade (m/km IRI), dada pela equação 3.30 (sem manutenção) e pela equação 3.31 (com manutenção)

ΔIRI_h – contribuição dos remendos para o incremento anual da irregularidade (m/km IRI), dada pela equação 3.32

ΔIRI_e – contribuição das condições ambientais para o incremento anual da irregularidade (m/km IRI), dada pela equação 3.33

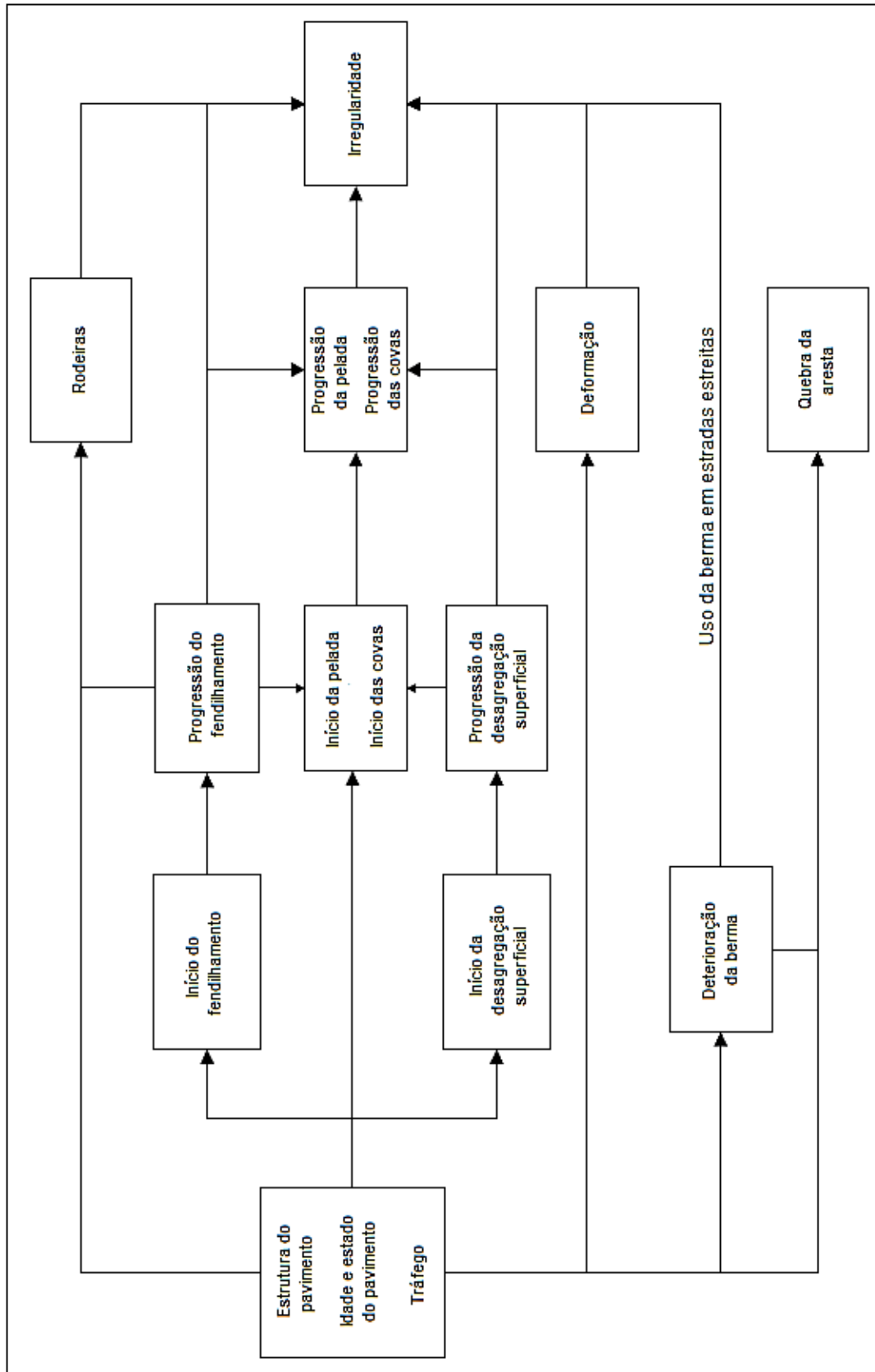


Figura 3.1 – Estrutura interativa do modelo HDM-4 [N.D. Lea International Ltd., 1995]

$$\Delta IRI_s = 134 e^{m \cdot t} (1 + SNCK_t)^{-5.0} \Delta N80 \quad (3.18)$$

Onde:

m – coeficiente ambiental (Quadro 3.2)

t – idade do pavimento desde a realização da última camada (anos)

$SNCK_t$ – número estrutural modificado no final do ano t , reduzido pelo efeito do fendilhamento, dado pela equação 3.2

$\Delta N80$ – incremento anual no número acumulado de passagens de eixo-padrão por via (milhões)

$$\Delta IRI_c = 0.0066 \Delta ACA \quad (3.19)$$

Onde:

ΔACA – incremento anual da área de fendilhamento total, em percentagem da área total (%)

$$\Delta IRI_v = 0.0033 \Delta ARV \quad (3.20)$$

Onde:

ΔARV – incremento anual da área de desagregação superficial, em percentagem da área total (%)

$$\Delta IRI_r = 0.088 \Delta RDS \quad (3.21)$$

Onde:

ΔRDS – incremento anual no desvio padrão da profundidade das rodeiras (mm)

$$\Delta IRI_p = 0.00019 (2 - FM) \left(NPT_a + \frac{\Delta NPT}{2} \right)^{0.5} \Delta NPT \quad (3.22)$$

$$\Delta IRI_p = 0.00019 (2 - FM) \left(\frac{\left(NPT_a + \frac{\Delta NPT}{2} \right) T_{pat}}{730} \right)^{0.5} \left(\frac{\Delta NPT T_{pat}}{730} \right) \quad (3.23)$$

$$\Delta IRI_p = 0.00019 (2 - FM) \left(\left(NPT_a + \frac{\Delta NPT}{2} \right)^{1.5} - NPT_a^{1.5} \right) \quad (3.24)$$

$$\Delta IRI_p = 0.00019 (2 - FM) \left(\left(NPT_a TLF + \frac{\Delta NPT}{2} TLF \right)^{1.5} - NPT_a^{1.5} \right) \quad (3.25)$$

$$\Delta IRI_p = 0.00019 (2 - FM) (NPT_b^{1.5} - NPT_a^{1.5}) \quad (3.26)$$

$$\Delta IRI_p = 0.00019 (2 - FM) ((NPT_b TLF)^{1.5} - NPT_a^{1.5}) \quad (3.27)$$

Onde:

FM – índice de liberdade de manobrabilidade, dado pela equação 3.28

NPT_a – número de covas no início do ano t (número/km)

NPT_t – número de covas no final do ano t (número/km)

ΔNPT – incremento anual do número de covas (número/km)

T_{pat} – ciclo de manutenção (dias)

TLF – factor de lapso de tempo, dado pela equação 3.29

$$FM = \max \left(\min (0.25 (CW - 3), 1); 0 \right) \max \left(1 - \frac{n \times TMDA}{5000}; 0 \right) \quad (3.28)$$

Onde:

CW – largura da faixa de rodagem (m)

n – número de vias na faixa de rodagem

TMDA – tráfego médio diário anual, por sentido e na via mais solicitada

$$TLF = 1 - \frac{P_{pat}}{100} \left(1 - \frac{F_{pat}}{365} \right) \quad (3.29)$$

Onde:

P_{pat} – percentagem de covas remendadas (%)

T_{pat} – ciclo de manutenção (dias)

$$\Delta IRI_d = 0.00019 (1.5 - FM) \left(\frac{HSNEW}{80} \right) \left(NDL_a + \frac{\Delta NDL}{2} \right)^{0.5} \Delta NDL \quad (3.30)$$

$$\Delta IRI_d = 0.00019 (1.5 - FM) \left(\frac{HSNEW}{80} \right) \left(\frac{NPT_a T_{pat}}{730} \right)^{0.5} \left(\frac{\Delta NPT T_{pat}}{730} \right) \quad (3.31)$$

Onde:

FM – índice de liberdade de manobrabilidade, dado pela equação 3.22

HSNEW – espessura total das camadas ligadas (actual) (mm)

NDL_a – número de peladas no início do ano t (número/km)

ΔNDL – incremento anual do número de peladas (número/km)

NPT_a – número de covas no início do ano t (número/km)

ΔNPT – incremento anual do número de covas (número/km)

T_{pat} – ciclo de manutenção (dias)

$$\Delta IRI_h = 0.0005 \Delta NPH \quad (3.32)$$

Onde:

ΔNPH – incremento anual no número de remendos (com 300 mm de diâmetro padrão) (número/km)

$$\Delta IRI_e = m IRI_a \Delta T \quad (3.33)$$

Onde:

IRI_a – irregularidade no início do ano t (m/km IRI)

m – coeficiente ambiental (Quadro 3.2)

ΔT – intervalo de tempo (anos)

O valor da irregularidade no final do ano analisado é dado por:

$$IRI_t = IRI_a + \Delta IRI_t \quad (3.34)$$

Onde:

IRI_t – irregularidade no final do ano t (m/km IRI)

IRI_a – irregularidade no início do ano t (m/km IRI)

ΔIRI_t – incremento anual da irregularidade (m/km IRI), dado pelas equações 3.16 e 3.17

Além do disposto anteriormente, o HDM-4 propõe ainda um modelo para o cálculo da irregularidade efectiva resultante do uso da berma em estradas estreitas (devido ao tráfego em sentido contrário e às ultrapassagens), nos casos em que a berma possui camadas mais pobres apresentando uma irregularidade maior do que na via de circulação [N.D. Lea International Ltd., 1995]:

$$IRIEFF = IRI + \frac{(IRISH - IRI) STIME}{2} \quad (3.35)$$

Em que:

IRIEFF – irregularidade efectiva resultante do uso da berma (m/km)

IRI – irregularidade no pavimento (m/km)

IRISH – irregularidade na berma (m/km)

STIME – proporção do tempo de utilização da berma devido à largura da estrada e ao volume de tráfego, dado pela equação 3.36

$$STIME = 58 \max (\min (2,65 - 0,425 CW; 1); 0) TMDA 10^{-6} \quad (3.36)$$

Em que:

CW – largura da faixa de rodagem (m)

TMDA – tráfego médio diário anual, por sentido e na via mais solicitada

O mesmo que foi dito anteriormente no HDM-III relativamente à aplicabilidade do modelo à rede rodoviária portuguesa, é válido também para o HDM-4.

As relações empírico-mecanicistas estabelecidas no HDM-4 baseiam-se em levantamentos de campo conduzidos na Malásia, mas tal como no HDM-III, é necessária a calibração e validação do modelo noutros países abrangendo climas e contextos diferentes [N.D. Lea International Ltd., 1995].

3.2.3. Modelo MEPDG

Este modelo integra o novo método de dimensionamento de pavimentos (novos e reabilitados) da AASHTO e foi conduzido pela *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) a partir de estudos anteriores desenvolvidos pela AASHTO [NCHRP, 2004].

O estudo anterior era limitado por conter modelos de desempenho de pavimentos determinados com base no ensaio AASHO do final dos anos 50, e carecia de uma actualização que fosse suportada por uma base de dados mais recente, sobretudo devido ao aumento da intensidade e diversidade do tráfego, e à expansão, conservação e reabilitação da rede nos últimos anos [NCHRP, 2004].

O modelo de previsão do IRI caracteriza-se por ser um modelo totalmente empírico, sendo obtido directamente a partir de análises de regressão de dados de observação do comportamento dos pavimentos a longo prazo na América do Norte [NCHRP, 2004].

Um dos grandes desafios deste projecto foi a criação de um programa informático (*software*) com uma interface de fácil utilização. Recorrendo a esse programa informático, aplicou-se o modelo de previsão do IRI que é dado pela expressão 3.37 (para pavimentos flexíveis com camada de base betuminosa) [NCHRP, 2004].

$$IRI_t = IRI_0 + 0,0099947 t + 0,0005183 FI + 0,00235 FC_t + 18,36 \times \frac{1}{(TCH_s)_t} + 0,9694 PH_t \quad (3.37)$$

Em que:

IRI_t – irregularidade no final do ano t (m/km IRI)

IRI_0 – irregularidade após a realização da última camada (m/km IRI)

t – idade do pavimento desde a realização da última camada (anos)

FI – índice congelamento médio anual (°F-dias)

FC_t – área de fendas de fadiga no percurso das rodas no final do ano t, em percentagem da área total (%)

$(TCH_s)_t$ – espaçamento médio entre as fendas transversais de elevada gravidade no final do ano t (m)

PH_t – área de zonas reparadas em degradações de elevada gravidade no final do ano t, especificada pelo utilizador, em percentagem da área total (%)

Algumas agências americanas locais promoveram a monitorização de secções durante 10 anos ou mais, e mesmo na rede rodoviária norte-americana o modelo necessita ainda hoje de mais calibração em regiões mais específicas do país [NCHRP, 2004].

Portanto, tal como nos modelos anteriores, é necessário efectuar a calibração/validação do modelo para as condições específicas da rede portuguesa, de modo a assegurar a aplicabilidade do modelo com um determinado nível de confiança.

3.2.4. Modelo Indiano

O modelo Indiano é um modelo empírico-mecanicista em que as componentes que contribuem para a evolução da irregularidade são: deformação estrutural, fendilhamento, formação de covas, remendos, e a componente ambiental [Jain *et al.*, 2005].

Em termos de materiais, o modelo de previsão do IRI aplica-se apenas a pavimentos flexíveis com superfície em betão betuminoso. No caso da previsão da área de covas e de desagregação superficial, o modelo Indiano aplica-se apenas a pavimentos constituídos por um revestimento superficial típico da Índia (*premix carpet*), não abrangendo superfícies de betão betuminoso, que é um material comum na rede rodoviária portuguesa e que será considerado no caso de estudo (Capítulo 4) [Jain *et al.*, 2005].

A ausência de um modelo de previsão de rodeiras é justificada pela pouca profundidade das mesmas nas estradas indianas devido há pouca disciplina na circulação de veículos e também à elevada qualidade do betão betuminoso na Índia [Jain *et al.*, 2005].

O modelo foi validado para a rede nacional de auto-estradas da Índia dividida em vários segmentos de pavimento homogéneos, abrangendo vários tipos de solo, relevos, condições climáticas (precipitação e temperatura) – para um clima tipicamente sub-húmido/subtropical quente - e volumes de tráfego [Jain *et al.*, 2005].

Neste modelo a irregularidade expressa-se no índice BI, e dessa forma a expressão 3.38 foi obtida fazendo a conversão para IRI através da expressão 2.5 [Jain *et al.*, 2005].

$$\Delta IRI_t = \frac{1}{630} \left[34856 \frac{n \Delta N80}{(SNCK_t + 1)^5} e^{m t} + 7,43 \Delta ACA + 190,57 \Delta APT + 22,34 \Delta PH + m IRI_a \Delta T \right]^{1/1.12} \quad (3.38)$$

Em que:

ΔIRI_t – incremento anual da irregularidade (m/km IRI)

IRI_a – irregularidade no início do ano t (m/km IRI)

n – número de vias na faixa de rodagem

$\Delta N80$ – incremento anual no número acumulado de passagens de eixo-padrão por via (milhões)

$SNCK_t$ – número estrutural modificado no final do ano t, reduzido pelo efeito do fendilhamento, dado pela equação 3.2

m – coeficiente ambiental (0.04 para betão betuminoso)

t – idade do pavimento desde a realização da última camada (anos)

ΔACA – incremento anual da área de fendilhamento total, em percentagem da área total (%)

ΔAPT – incremento anual da área de covas, em percentagem da área total (%)

ΔAPH – incremento anual da área de zonas remendadas, em percentagem da área total (%)

ΔT – intervalo de tempo (anos)

O valor da irregularidade no final do ano analisado é dado por:

$$IRI_t = IRI_a + \Delta IRI_t \quad (3.39)$$

Onde:

IRI_t – irregularidade no final do ano t (m/km IRI)

IRI_a – irregularidade no início do ano t (m/km IRI)

ΔIRI_t – incremento anual da irregularidade (m/km IRI), dado pela equação 3.38

Segundo Watanatada *et al.* (1987), a rede rodoviária indiana têm características muito específicas: as estradas são maioritariamente constituídas por apenas uma via em cada sentido, o tráfego é extremamente heterogéneo no que diz respeito à variedade de veículos (verificando-se um tráfego excessivamente lento), e a superfície dos pavimentos é habitualmente muito irregular (mesmo nos pavimentos mais recentes). Além disso, o modelo Indiano não permite a calibração para outros locais, e assim, considera-se que o modelo tem limitações importantes de aplicabilidade à realidade da rede portuguesa.

3.2.5. Modelo Dubai

O Modelo Dubai é um modelo empírico de regressão não-linear que estabelece a relação entre a irregularidade e a idade do pavimento dada por uma função na forma exponencial (3.41) [Al-Suleiman e Shyab, 2003].

No que diz respeito à base de dados, foi obtida dividindo a rede de estradas do Dubai num conjunto de secções de pavimento homogéneas abrangendo vários níveis de irregularidade, idades, níveis de tráfego e estruturas de pavimento [Al-Suleiman e Shyab, 2003].

$$IRI_t = a e^{b t} \quad (3.40)$$

Onde:

IRI_t – irregularidade no final do ano t (m/km)

a, b – constantes

t – idade do pavimento desde a realização da última camada (anos)

Neste modelo é adoptada uma expressão para vias de tráfego lento (3.41) e outra para vias de tráfego rápido (3.42).

A decisão de desenvolver duas expressões diferentes é justificada pelo facto das vias de tráfego lento estarem sujeitas a tráfego mais pesado, e consequentemente sofrerem uma degradação maior do que as vias de tráfego rápido [Al-Suleiman e Shyab, 2003].

Uma vez que o método de dimensionamento de pavimentos aplicado ao caso de estudo apenas considera o tráfego de veículos pesados, recorreu-se apenas ao modelo de previsão do IRI para tráfego lento.

$$IRI_t = 0,796 e^{0,0539 t} \quad (3.41)$$

$$IRI_t = 0,824 e^{0,0359 t} \quad (3.42)$$

Onde:

IRI_t – irregularidade no final do ano t (m/km)

t – idade do pavimento desde a realização da última camada (anos)

Este modelo não permite a calibração para outros locais, o que põe em causa a aplicabilidade do modelo nas condições da rede nacional.

Outro aspecto importante é que o modelo impõe um valor inicial de IRI (quando o pavimento é novo ou reabilitado). Este aspecto também limita a aplicabilidade do modelo.

3.2.6. Modelo Costa Rica

O Modelo Costa Rica é um modelo empírico-mecanicista absoluto de regressão Bayesiana, com uma forma exponencial [Amador-Jiménez e Mrawira, 2011]:

$$IRI_t = 1,8 e^{(134 e^{0,023 t} (SNC+1)^{-5} N80_0) t} \quad (3.43)$$

Em que:

IRI_t – irregularidade no final do ano t (m/km)

t – idade do pavimento desde a realização da última camada (anos)

$N80_0$ – número de passagens de eixo-padrão por via, no ano de abertura ao tráfego (milhões)

SNC – número estrutural modificado pela contribuição da resistência da fundação

A base de dados que está na origem do modelo é limitada – abrange apenas o tráfego, a espessura dos pavimentos, o parâmetro IRI e a capacidade de suporte da fundação (ensaios FWD) – e a informação nela contida corresponde apenas a dois tempos de observação diferentes [Amador-Jiménez e Mrawira, 2011].

Este modelo não permite a calibração para outros locais, o que põe em causa a aplicabilidade do modelo nas condições da rede portuguesa.

Tal como no Modelo Dubai, a imposição de um valor inicial (quando o pavimento é novo ou reabilitado) limita a aplicabilidade do modelo.

4. Caso de Estudo e Resultados

4.1. Introdução

Com o objectivo de analisar os vários modelos de previsão do IRI, definiu-se um caso de estudo baseado num pavimento típico da rede nacional e admitindo determinadas condições.

A estrutura do pavimento, os materiais de pavimentação, a fundação, o tráfego e as condições climáticas, foram definidos de acordo com o método de dimensionamento apresentado no Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional (MACOPAV), da Junta Autónoma de Estradas [JAE, 1995].

4.2. Descrição do Caso de Estudo

4.2.1. Pressupostos

Neste estudo admitiu-se um pavimento flexível novo, correspondendo a uma estrada Nacional localizada em Coimbra, com uma faixa de rodagem com 7 metros de largura e uma via de trânsito em cada sentido, e com bermas pavimentadas.

Admitiu-se ainda um valor inicial de IRI de 1 m/km no ano de abertura ao tráfego, a que corresponde uma classificação de irregularidade “muito boa” de acordo com o Quadro 2.5.

4.2.2. Materiais, Fundação e Estrutura do Pavimento

Os pavimentos flexíveis representam o tipo de pavimento mais comum na rede rodoviária nacional, e como já foi dito, são pavimentos cujas camadas superiores são compostas por misturas betuminosas, isto é, misturas de agregados com ligantes hidrocarbonados.

Neste trabalho considerou-se um pavimento flexível constituído por 3 camadas acima da fundação: uma camada de desgaste em betão betuminoso, BD; uma camada de base em macadame betuminoso, MB (podendo ser repartida em várias camadas para grandes espessuras); e uma camada de sub-base granular em material britado sem recomposição (*tout-venant*), SbG. O respectivo coeficiente de resistência considerado no cálculo do número estrutural da AASHTO (SN) é indicado no Quadro 3.3.

No caso da fundação admitiu-se uma camada granular com 1 metro espessura e um módulo de deformabilidade que varia com a classe de fundação, sobrejacente a uma camada semi-infinita com módulo de deformabilidade de 1000 MPa e um coeficiente de Poisson de 0,35. Para uma fundação de classe F2 admitiu-se um solo de classe S₃ com CBR de 10%, e para a classe F3, um solo de classe S4 com CBR de 20%, pelo que nessas condições não é necessária a colocação de leito de pavimento, tal como é indicado no Quadro 4.1.

Para a constituição adoptada é possível definir um conjunto de estruturas de pavimento (Quadro 4.2) em função da classe de tráfego e da classe de fundação, seguindo a metodologia de

dimensionamento proposta no MACOPAV. De modo a reduzir a quantidade de cálculos e simplificar a análise dos resultados, foram analisadas apenas 6 combinações representativas do caso de estudo, indicadas no Quadro 4.3.

As misturas betuminosas a quente para as camadas de desgaste e de base devem respeitar as percentagens volumétricas referidas no Quadro 4.4.

Quadro 4.1 – Camada de leito do pavimento em materiais não ligados (MACOPAV) [JAE, 1995]

Classe de Solo		F ₁	F ₂	F ₃	F ₄
	E _f (MPa) CBR (%)	> 30 a ≤ 50	> 50 a ≤ 80	> 80 a ≤ 150	> 150
S ₀	< 3	Estudo especial			Em pedraplenos ou em aterros com materiais do tipo solo-enrocamento, com uma camada de leito do pavimento em material pétreo de espessura não inferior a 15 cm
S ₁	≥ 3 a < 5	30 S ₂ ou 20 S ₃	60 S ₃ ou 40 S ₄		
S ₂	≥ 5 a < 10	(1)	30 S ₃ ou 15 S ₄	60 S ₃ ou 30 S ₄	
S ₃	≥ 10 a < 20	-	(1)	20 S ₄	
S ₄ ; S ₅	≥ 20	-	-	(1)	

as espessuras são definidas em cm

CBR: índice CBR do terreno situado sob o leito do pavimento, até à profundidade de 1 metro

E_f: módulo de deformabilidade da fundação do pavimento (incluindo a camada de leito na espessura indicada no Quadro)

(1) Em escavação deve ser escarificado e recompactado na profundidade necessária à garantia de uma espessura final de 30 cm bem compactada; em aterro as condições de fundação estão garantidas.

Nota: em escavação em rocha, e tendo em vista uma fundação do tipo F4, é necessário realizar uma regularização em material pétreo devidamente compactado com cilindros de pneus, e colocar uma camada do mesmo tipo de material com a espessura mínima de 15 cm.

Quadro 4.2 – Estruturas de pavimento determinadas pelo MACOPAV [JAE, 1995]

Estrutura de pavimento	Camada de Desgaste (BD)			Camada de Base (MB)			Camada de Sub-base (SbG)			Fundação do Pavimento				
	h (cm)	E (Mpa)	v	h (cm)	E (Mpa)	v	h (cm)	E (Mpa)	v	h (cm)	F2 E _f (MPa)	F3 E _f (MPa)	F4 E _f (MPa)	v
	P1	4	4000	0,35	6	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150
P2	4	4000	0,35	8	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40
P3	4	4000	0,35	12	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40
P4	4	4000	0,35	14	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40
P5	5	4000	0,35	14	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40
P6	5	4000	0,35	16	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40
P7	4	4000	0,35	18	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40
P8	5	4000	0,35	17	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40
P9	5	4000	0,35	19	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40
P10	6	4000	0,35	18	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40
P11	5	4000	0,35	20	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40
P12	6	4000	0,35	20	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40
P13	5	4000	0,35	23	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40
P14	6	4000	0,35	22	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40
P15	6	4000	0,35	24	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40
P16	6	4000	0,35	26	4000	0,35	20	2 x E _f	0,35	100	60	100	150	0,40

Quadro 4.3 – Combinações analisadas

Combinações	Classe de Tráfego	Classe de Fundação	Estrutura de pavimento
T5-F3-P4	T5	F3	P4
T5-F2-P7		F2	P7
T3-F3-P9	T3	F3	P9
T3-F2-P13		F2	P13
T1-F3-P14	T1	F3	P16
T1-F2-P16		F2	P14

Quadro 4.4 – Características volumétricas das misturas betuminosas a quente (MACOPAV) [JAE, 1995]

Código	Composição volumétrica (%)		
	Agregado (v _a)	Betume (v _b)	Vazios (v _v)
BD	84	12	4
MB	84	9	7

4.2.3. Tráfego

No dimensionamento de um pavimento rodoviário apenas é considerado relevante o tráfego de veículos pesados. De acordo com o manual, um pavimento flexível deve assegurar a circulação do tráfego em condições de segurança, economia e conforto para um período de 20 anos.

Recorrendo à expressão 4.1 obtém-se o número acumulado de passagens de eixo-padrão para um determinado período, equivalente ao número acumulado de veículos pesados. É importante referir que para pavimentos flexíveis a carga é convertida em eixos-padrão de 80 kN. No Quadro 4.5 apresentam-se os elementos relativos ao tráfego de veículos pesados cujos valores dependem da classe de tráfego considerada.

$$N_{80} = 365 \times \text{TMDA}_p \times c \times \alpha \times p \quad (4.1)$$

Onde:

N_{80}_t – número acumulado de passagens de eixo-padrão de 80 kN por via, no ano t

TMDA_p – tráfego médio diário anual de veículos pesados no ano de abertura, por sentido e na via mais solicitada

c – factor de crescimento do tráfego, dado pela equação 4.2

α – factor de agressividade

p – período de dimensionamento (anos)

$$c = \frac{(1 + t)^p - 1}{p \times t_p} \quad (4.2)$$

Onde:

p – período de dimensionamento (anos)

t_p – taxa média de crescimento anual do tráfego de veículos pesados

Quadro 4.5 – Elementos relativos ao tráfego de veículos pesados (MACOPAV) [JAE, 1995]

Classe de tráfego	TMDA _p	Taxa de crescimento anual (%)	Factor de agressividade
			eixo-padrão de 80 kN
T6	150	3	2
T5	300	3	3
T4	500	4	4
T3	800	4	4,5
T2	1200	5	5
T1	2000	5	5,5

4.2.4. Condições Climáticas

No MACOPAV [JAE, 1995] admite-se a influência da temperatura nas propriedades mecânicas das misturas betuminosas em pavimentos flexíveis, nomeadamente o efeito de temperaturas elevadas na evolução das deformações permanentes resultantes da acção do tráfego.

A classe de betume que deve ser utilizada para as misturas betuminosas a quente depende da zona climática a considerar, da camada de pavimento e da classe de tráfego (Quadro 4.6). No MACOPAV [JAE, 1995], Coimbra é classificada como zona média.

Quadro 4.6 – Classe de betume em misturas betuminosas a quente para zona média (MACOPAV) [JAE, 1995]

Camada	Classe de tráfego	Classe de betume
Desgaste	T1	50/70
	T3	50/70
	T5	50/70
Regularização e base	T1	35/50
	T3	50/70
	T5	50/70

No Quadro 4.7 é indicada a penetração a 25 °C no betume original (pen25), a penetração a 25 °C no betume das misturas em serviço (pen25_r) (extrapolada pela expressão 4.4), a temperatura de amolecimento do betume das misturas em serviço, pelo ensaio de anel e bola (TAB_r) (obtida pela expressão 4.3), uma temperatura do ar equivalente anual (T_{ar}) e uma temperatura de serviço equivalente anual nas camadas betuminosas (T_b). A temperatura de serviço equivalente anual nas camadas betuminosas é calculada a partir da profundidade do ponto médio das respectivas espessuras e da temperatura do ar equivalente anual, aplicando a expressão 4.5 a cada estrutura de pavimento [Branco *et al.*, 2011]. A temperatura do ar equivalente anual foi obtida pelo método da Shell, partindo da temperatura média mensal do ar (T_{mma}) em cada um dos meses do ano, que é apresentada no Quadro 4.8.

$$TAB_r = 99,13 - 26,35 \log_{10}(Pen25_r) \quad (4.3)$$

Onde:

TAB_r – temperatura de amolecimento do betume recuperado de misturas betuminosas em serviço, pelo ensaio de anel e bola (°C)

Pen25_r – penetração a 25 °C no betume recuperado de misturas betuminosas em serviço (0,1 mm), dada pela expressão 4.4

$$Pen25_r = 0,65 Pen25 \quad (4.4)$$

Onde:

Pen25 – penetração a 25 °C no betume (0,1 mm)

$$T_b = (T_{ar} + 17,778) \left(1 + \frac{1}{39,37z + 4} \right) - \frac{18,889}{39,37z + 4} - 14,444 \quad (4.5)$$

Onde:

T_b – temperatura de serviço equivalente anual nas camadas betuminosas (°C), à profundidade z

z – profundidade medida a partir da superfície do pavimento (m)

T_{ar} – temperatura do ar equivalente anual (°C)

Quadro 4.7 – Propriedades das camadas betuminosas

Estrutura de pavimento	pen25 (0,1 mm)		pen25 _r (0,1 mm)		TAB _r (°C)		T _{ar} (°C)	T _{bd} (°C)	T _{mb} (°C)
	35/50	50/70	35/50	50/70	35/50	50/70			
P4	42,5	60	28	39	61	57	16,9	23,5	22,6
P7								23,5	22,3
P13								23,4	22,3
P9								23,4	22,1
P16								23,3	22,1
P14								23,3	22,0

T_{bd} é a temperatura de serviço equivalente anual na camada de betão betuminoso; T_{mb} é a temperatura de serviço equivalente anual na camada de macadame betuminoso.

Quadro 4.8 – Temperatura média mensal do ar [Melo *et al.*, 1993]

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
T _{mma} (°C)	10	10,7	12,4	14,2	16,7	19,4	21,7	21,6	20,4	17,3	12,8	10,2

A classificação da humidade e da temperatura, a ser considerada na determinação do coeficiente ambiental aplicável aos modelos HDM-III e HDM-4 (Quadro 3.2), pode ser atribuída consultando os Quadros 4.9 e 4.10, respectivamente. Considerando que em Coimbra a precipitação média anual situa-se entre 800 mm/ano e 1600 mm/ano, e que a temperatura varia, em média, entre 4,6 °C e 28,5 °C [AEMet e IM, 2011], tem-se uma classificação da humidade “sub-húmido” e uma classificação da temperatura situada algures entre “subtropical quente” e “subtropical frio”, pelo qual se definiu um coeficiente ambiental de 0,030.

Para efeitos de cálculo admitiu-se uma precipitação média anual em Coimbra de 905,1 mm/ano, correspondente ao valor da precipitação anual média registada entre 1971 e 2000 [AEMet e IM, 2011].

Quadro 4.9 – Classificação da humidade [The World Bank, 2008]

Classificação	Precipitação anual (mm)
Árido	< 300
Semi-árido	300 a 800
Sub-húmido	800 a 1600
Húmido	1500 a 3000
Molhado	>2400

Quadro 4.10 – Classificação da temperatura [The World Bank, 2008]

Classificação	Intervalo de temperaturas (°C)
Tropical	20 a 35
Sub-tropical quente	-5 a 45
Sub-tropical frio	-10 a 30
Temperado frio	-20 a 25
Temperado gelo	-40 a 20

4.2.5. Conservação/Reabilitação

Neste trabalho admitiu-se que apenas são realizadas acções de conservação em termos de reparação de covas - visto ser das patologias que provoca efeitos mais severos sobre os veículos, perturbando o conforto e a segurança dos condutores, e introduzindo uma acção acrescida do tráfego – e de fendas – uma vez que estas permitem a passagem de água para as camadas granulares e para o solo de fundação, reduzindo a capacidade de suporte. No caso da reparação de fendas, os seus efeitos não foram contabilizados na previsão da evolução da irregularidade, pelo que se considera que a sua função não é anular as fendas mas apenas impermeabilizar o pavimento.

Não se consideraram intervenções de reabilitação, como por exemplo, a realização de reforço (*overlay*) de misturas betuminosas sobre a camada de desgaste, ou seja, manteve-se sempre a estrutura original de 3 camadas e a mesma espessura.

Admitiu-se também que todas as covas existentes são reparadas em intervalos de 30 dias durante o período de vida do pavimento e que não existe um limite definido para a quantidade de área a reparar.

4.3. Resultados

Neste trabalho os modelos foram analisados do ponto de vista da evolução da irregularidade (parâmetro IRI) num período de 20 anos. Numa primeira fase o objectivo é determinar o momento em que a irregularidade atinge o valor terminal de IRI (3,5 m/km), isto é, o momento em que é necessária uma intervenção de conservação ou reabilitação, e também o valor da irregularidade ao fim do período de dimensionamento de 20 anos. Posteriormente pretende-se avaliar as componentes que mais contribuem para o crescimento da irregularidade, e estudar a importância do valor inicial do IRI (quando a idade do pavimento é zero) no crescimento do mesmo.

De seguida faz-se um resumo dos resultados obtidos na aplicação dos modelos ao caso de estudo para cada uma das combinações indicadas.

Em anexo são apresentados os resultados detalhados em intervalos anuais. Os valores relativos a outros parâmetros de estado necessários ao cálculo da irregularidade, foram obtidos usando os respectivos modelos de previsão.

4.3.1. Resultados da combinação T5-F3-P4

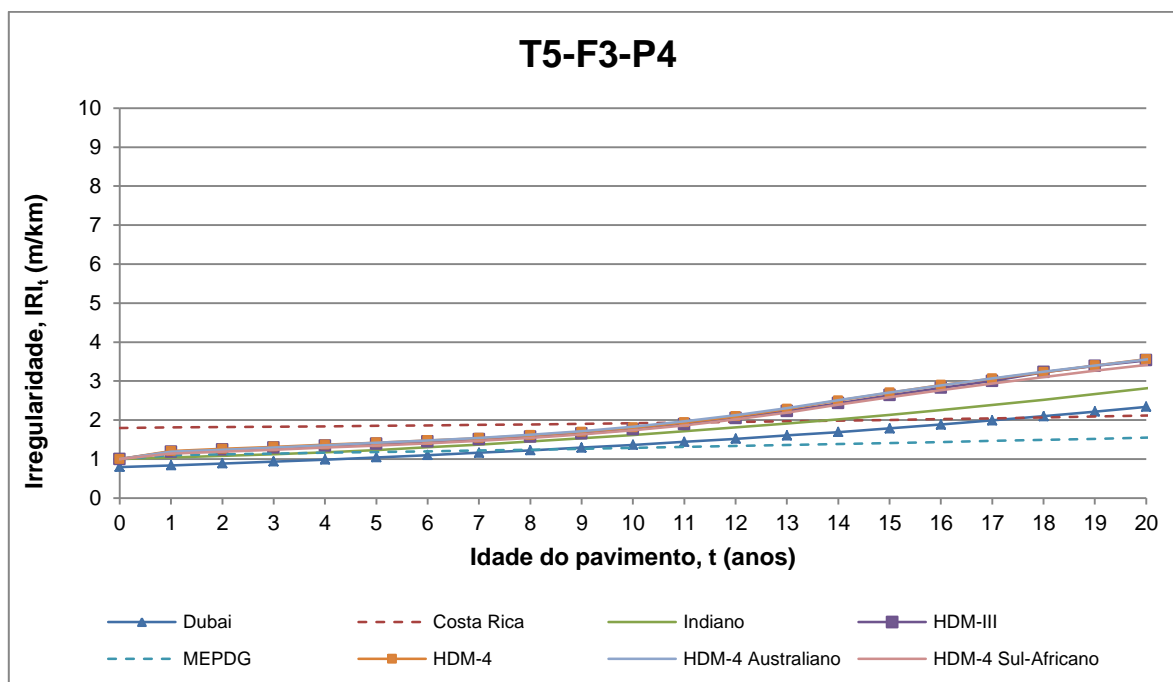


Figura 4.1 – Evolução da irregularidade (T5-F3-P4)

Quadro 4.11 – Idade do pavimento quando a irregularidade atinge o valor terminal de 3,5 m/km (T5-F3-P4)

IRI _t (m/km)	Idade do pavimento, t (anos)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
3,5	27,5	45,7	24,0	19,8	Não atinge	19,6	19,6	20,6

Quadro 4.12 – Irregularidade do pavimento aos 20 anos de idade (T5-F3-P4)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI _t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
20	2,3	2,1	2,8	3,5	1,6	3,6	3,6	3,4

4.3.2. Resultados da combinação T5-F2-P7

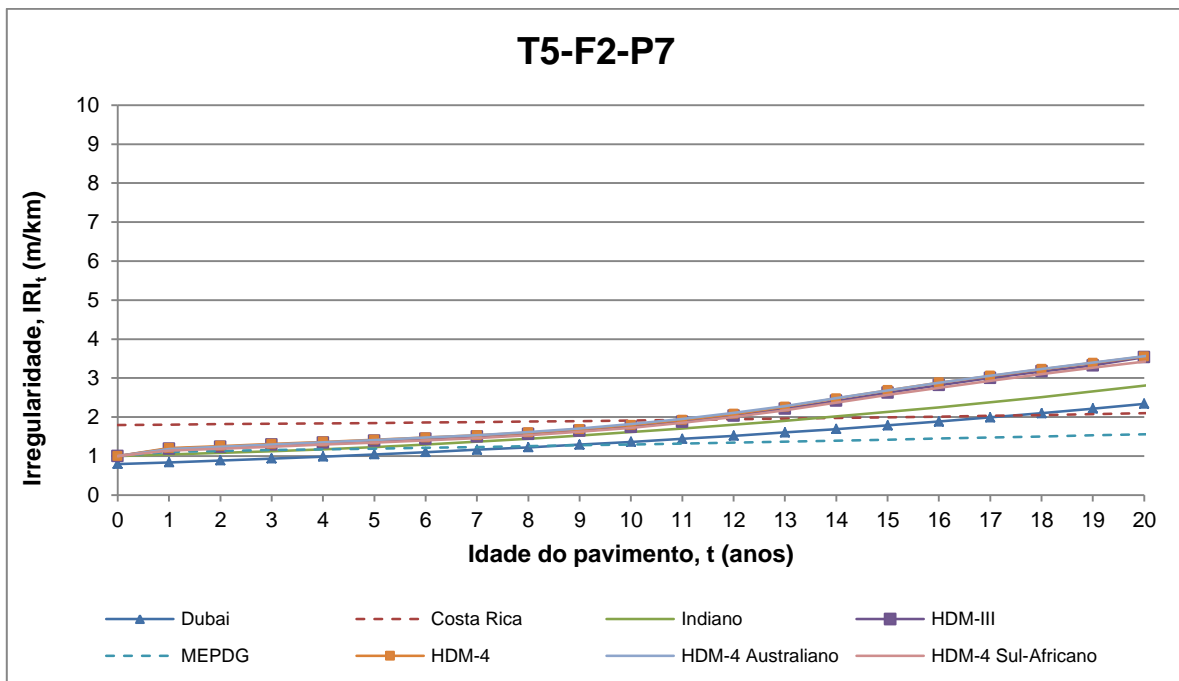


Figura 4.2 – Evolução da irregularidade (T5-F2-P7)

Quadro 4.13 – Idade do pavimento quando a irregularidade atinge o valor terminal de 3,5 m/km (T5-F2-P7)

IRI _t (m/km)	Idade do pavimento, t (anos)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
3,5	27,5	46,9	24,0	19,8	Não atinge	19,7	19,6	20,5

Quadro 4.14 – Irregularidade do pavimento aos 20 anos de idade (T5-F2-P7)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI _t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
20	2,3	2,1	2,8	3,5	1,6	3,6	3,6	3,4

4.3.3. Resultados da combinação T3-F3-P9

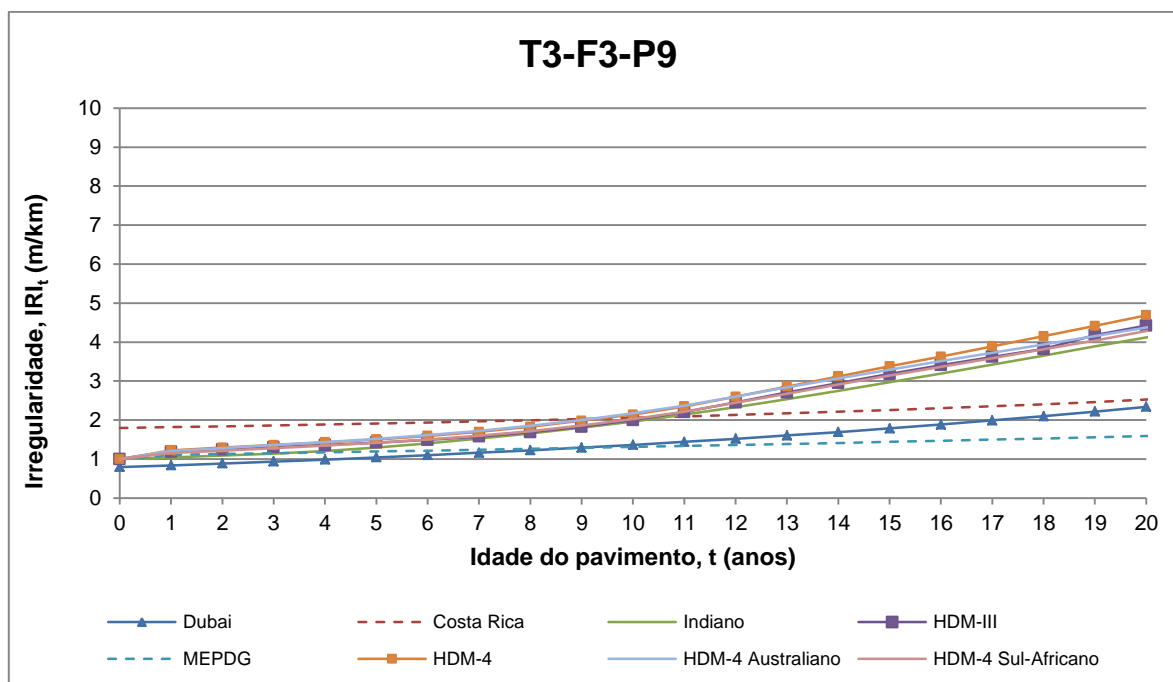


Figura 4.3 – Evolução da irregularidade (T3-F3-P9)

Quadro 4.15 – Idade do pavimento quando a irregularidade atinge o valor terminal de 3,5 m/km (T3-F3-P9)

IRI _t (m/km)	Idade do pavimento, t (anos)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
3,5	27,5	30,7	17,3	16,4	Não atinge	15,5	15,9	16,6

Quadro 4.16 – Irregularidade do pavimento aos 20 anos de idade (T3-F3-P9)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI _t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
20	2,3	2,5	4,1	4,4	1,6	4,7	4,4	4,3

4.3.4. Resultados da combinação T3-F2-P13

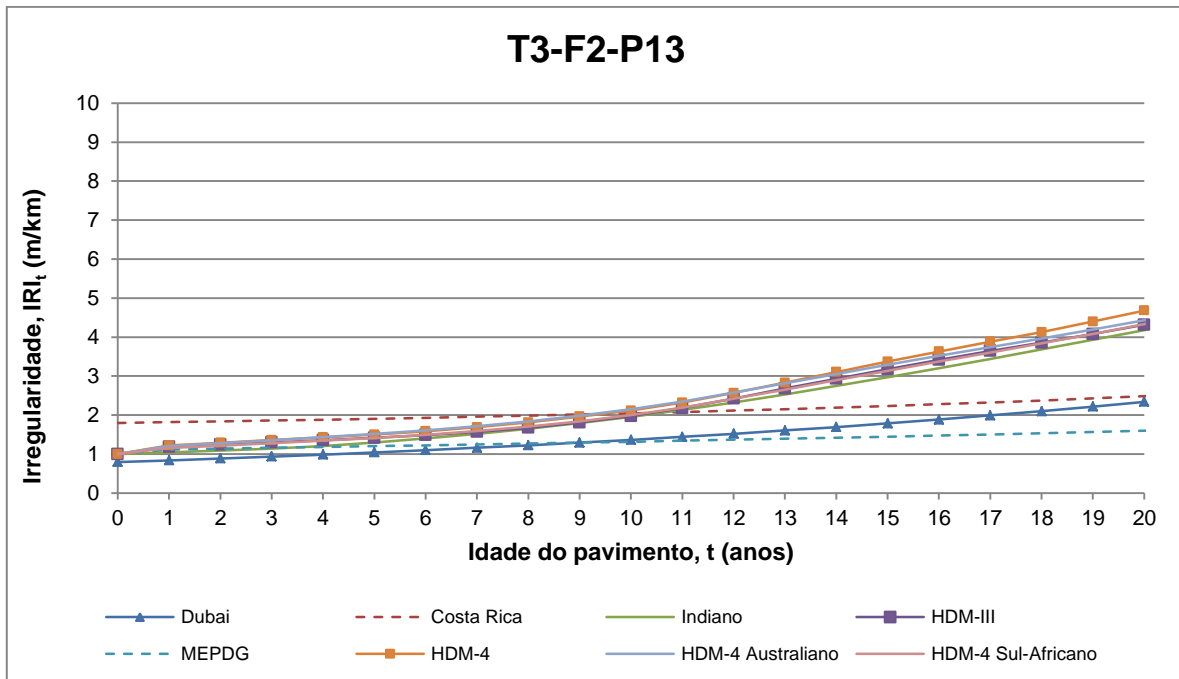


Figura 4.4 – Evolução da irregularidade (T3-F2-P13)

Quadro 4.17 – Idade do pavimento quando a irregularidade atinge o valor terminal de 3,5 m/km (T3-F2-P13)

IRI _t (m/km)	Idade do pavimento, t (anos)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
3,5	27,5	31,6	17,2	16,4	Não atinge	15,5	15,9	16,6

Quadro 4.18 – Irregularidade do pavimento aos 20 anos de idade (T3-F2-P13)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI _t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
20	2,3	2,5	4,2	4,3	1,6	4,7	4,4	4,3

4.3.5. Resultados da combinação T1-F3-P14

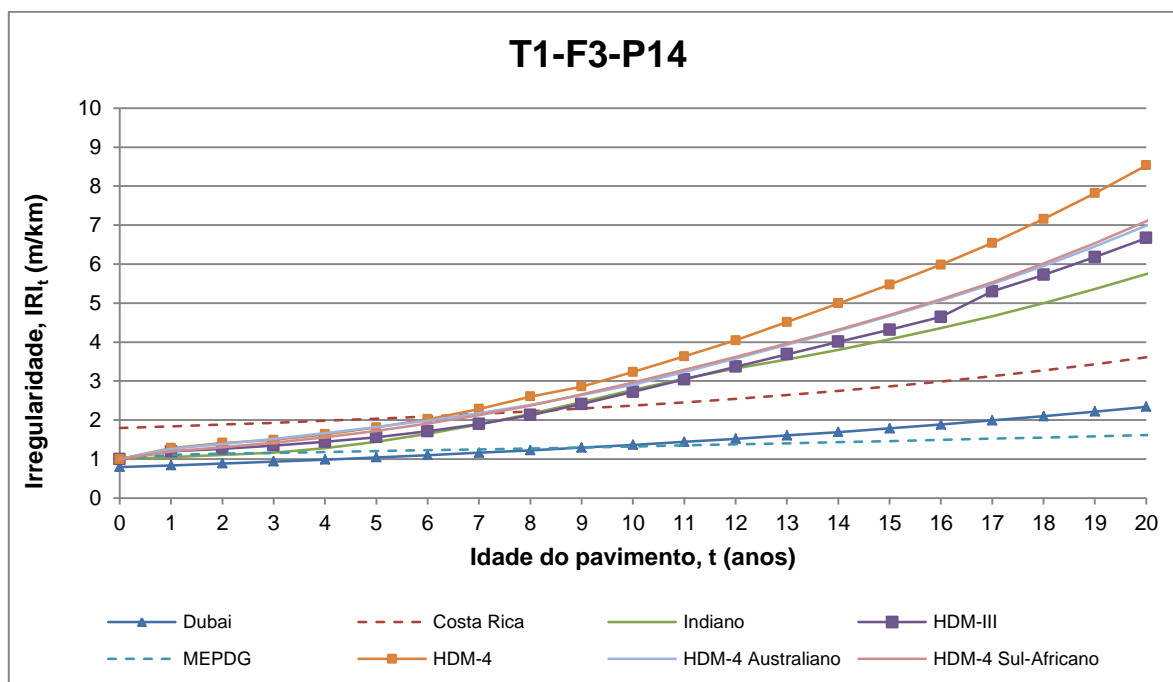


Figura 4.5 – Evolução da irregularidade (T1-F3-P14)

Quadro 4.19 – Idade do pavimento quando a irregularidade atinge o valor terminal de 3,5 m/km (T1-F3-P14)

IRI _t (m/km)	Idade do pavimento, t (anos)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
3,5	27,5	19,4	12,8	12,4	Não atinge	10,7	11,9	11,6

Quadro 4.20 – Irregularidade do pavimento aos 20 anos de idade (T1-F3-P14)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI _t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
20	2,3	3,6	5,7	6,7	1,6	8,5	6,9	7,1

4.3.6. Resultados da combinação T1-F2-P16

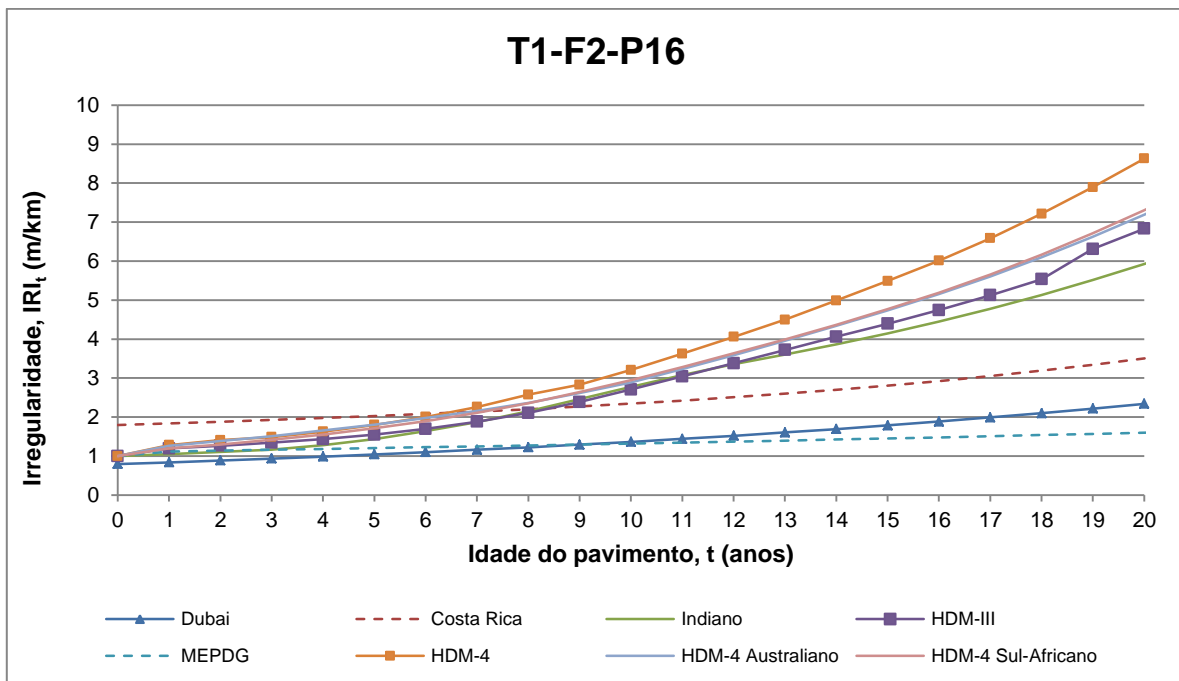


Figura 4.6 – Evolução da irregularidade (T1-F2-P16)

Quadro 4.21 – Idade do pavimento quando a irregularidade atinge o valor terminal de 3,5 m/km (T1-F2-P16)

IRI _t (m/km)	Idade do pavimento, t (anos)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
3,5	27,5	20,0	12,6	12,3	Não atinge	10,7	11,9	11,6

Quadro 4.22 – Irregularidade do pavimento aos 20 anos de idade (T1-F2-P16)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI _t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
20	2,3	3,5	5,9	6,8	1,6	8,6	7,1	7,3

4.4. Análise e Discussão de Resultados

Em seguida faz-se uma análise dos resultados obtidos para as várias combinações, separadamente para cada modelo, tendo em conta os seguintes aspectos:

- A componente que mais contribui para o crescimento total da irregularidade num período de 20 anos;
- A sensibilidade à classe de tráfego e à classe de fundação;
- A importância do valor do IRI inicial na evolução da irregularidade;

- O nível de aplicação.

4.4.1. Modelo HDM-III

Para as combinações T5-F3-P4, T5-F2-P7, T3-F3-P9 e T3-F2-P13, o termo que mais contribui para o aumento total da irregularidade num período de 20 anos, é a componente ambiental, que depende da irregularidade existente.

Uma vez que a irregularidade vai aumentando com o tempo, também o seu crescimento vai aumentando devido à contribuição da componente ambiental, gerando-se um ciclo que acelera a evolução da irregularidade. Desta forma, a irregularidade inicial que é verificada após a realização da última camada (IRI_0), também tem influência na evolução da irregularidade. Contudo, este fenómeno está sempre dependente das condições climáticas verificadas, que podem atenuar ou acentuar esse efeito.

Para as combinações T1-F3-P14 e T1-F2-P16 a componente com maior peso no crescimento total da irregularidade num período de 20 anos, é a deformação estrutural.

Nas Figuras 4.7 a 4.13 é representada graficamente a contribuição de cada componente na evolução da irregularidade num período de 20 anos e para as diferentes combinações.

Em qualquer combinação, partindo de diferentes valores de IRI inicial (IRI_0), constata-se que o crescimento do IRI é pouco alterado.

Nos Quadros 4.23 a 4.28 é indicado o valor do crescimento total da irregularidade num período de 20 anos, para cada combinação e para diferentes valores admissíveis de IRI_0 .

Em termos gerais, o modelo HDM-III apresenta pouca sensibilidade à classe de fundação e muita sensibilidade à classe de tráfego.

Dadas as suas características, o HDM-III pode ser aplicado a nível rede e a nível de projecto.

Quadro 4.23 – Incremento da irregularidade num período de 20 anos, para diferentes valores de IRI_0 (T5-F3-P4)

IRI_0 (m/km)	Incremento total da irregularidade, ΔIRI (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-africano
0,5	n/a	n/a	2,0	2,2	0,6	2,0	2,2	2,0
1			2,8	2,7	0,6	2,4	2,6	2,4
1,5			3,5	3,1	0,6	2,8	3,0	2,8

Quadro 4.24 – Incremento da irregularidade num período de 20 anos, para diferentes valores de IRI_0 (T5-F2-P7)

IRI_0 (m/km)	Incremento total da irregularidade, ΔIRI (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-africano
0,5	n/a	n/a	2,0	2,1	0,6	2,0	2,2	2,0
1,0			2,7	2,5	0,6	2,4	2,6	2,4
1,5			3,5	2,9	0,6	2,8	3,0	2,8

Quadro 4.25 – Incremento da irregularidade num período de 20 anos, para diferentes valores de IRI₀ (T3-F3-P9)

IRI ₀ (m/km)	Incremento total da irregularidade, ΔIRI (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-africano
0,5	n/a	n/a	3,9	3,2	0,6	3,2	3,0	2,9
1			4,6	3,6	0,6	3,6	3,4	3,3
1,5			5,3	4,0	0,6	4,0	3,8	3,7

Quadro 4.26 – Incremento da irregularidade num período de 20 anos, para diferentes valores de IRI₀ (T3-F2-P13)

IRI ₀ (m/km)	Incremento total da irregularidade, ΔIRI (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-africano
0,5	n/a	n/a	4,0	2,9	0,6	3,1	3,0	2,9
1			4,6	3,3	0,6	3,5	3,4	3,3
1,5			5,4	3,7	0,6	4,0	3,8	3,7

Quadro 4.27 – Incremento da irregularidade num período de 20 anos, para diferentes valores de IRI₀ (T1-F3-P14)

IRI ₀ (m/km)	Incremento total da irregularidade, ΔIRI (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-africano
0,5	n/a	n/a	6,2	6,2	0,6	6,9	5,5	5,7
1			6,8	6,6	0,6	7,3	5,9	6,1
1,5			7,5	7,0	0,6	7,7	6,3	6,6

Quadro 4.28 – Incremento da irregularidade num período de 20 anos, para diferentes valores de IRI₀ (T1-F2-P16)

IRI ₀ (m/km)	Incremento total da irregularidade, ΔIRI (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-africano
0,5	n/a	n/a	6,4	5,7	0,6	7,0	5,7	6,0
1			7,1	6,1	0,6	7,4	6,1	6,4
1,5			7,8	6,5	0,6	7,8	6,5	6,8

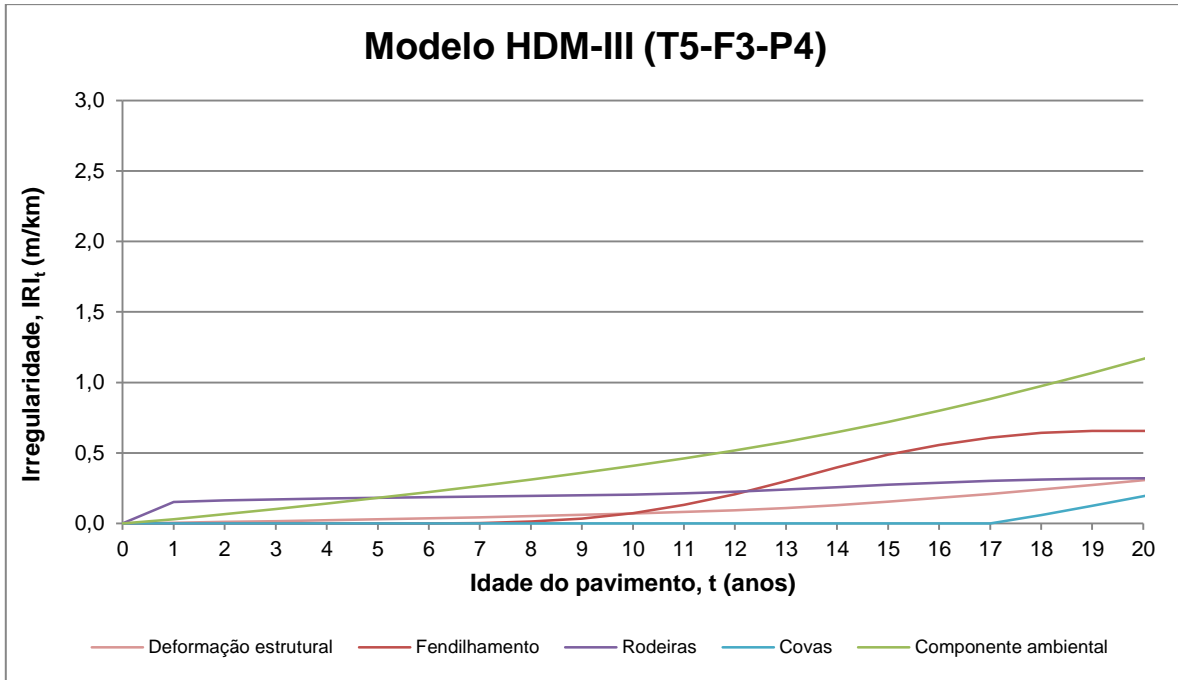


Figura 4.7 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-III (T5-F3-P4)

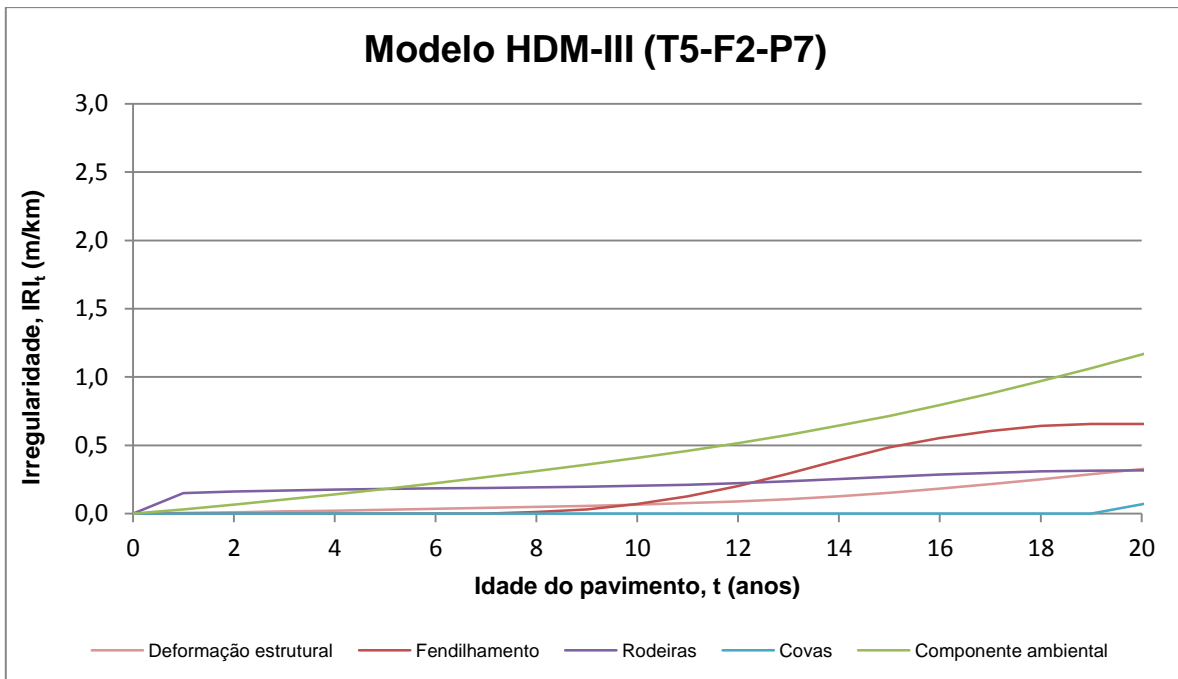


Figura 4.8 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-III (T5-F2-P7)

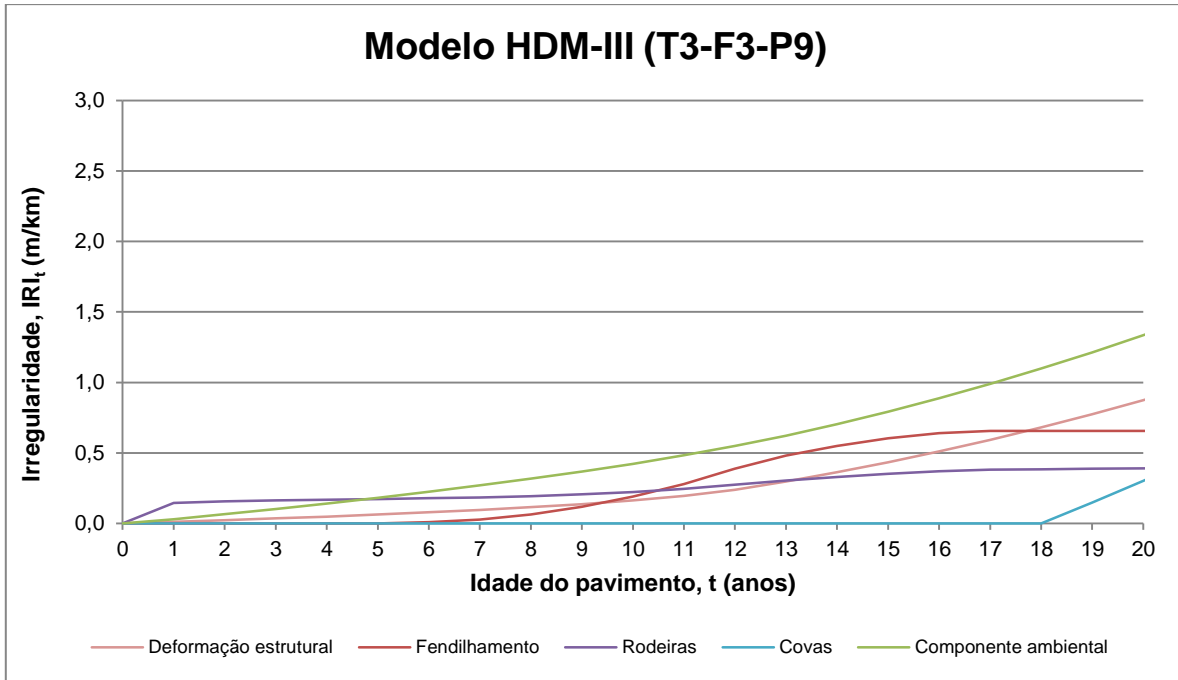


Figura 4.9 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-III (T3-F3-P9)

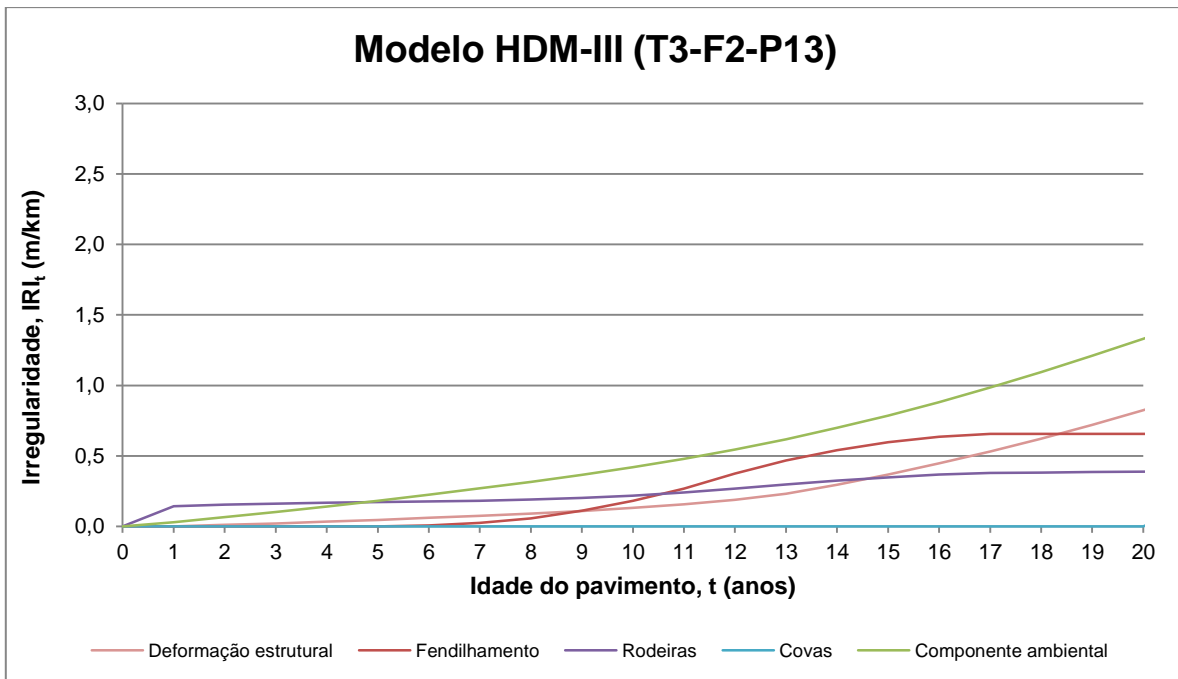


Figura 4.10 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-III (T3-F2-P13)

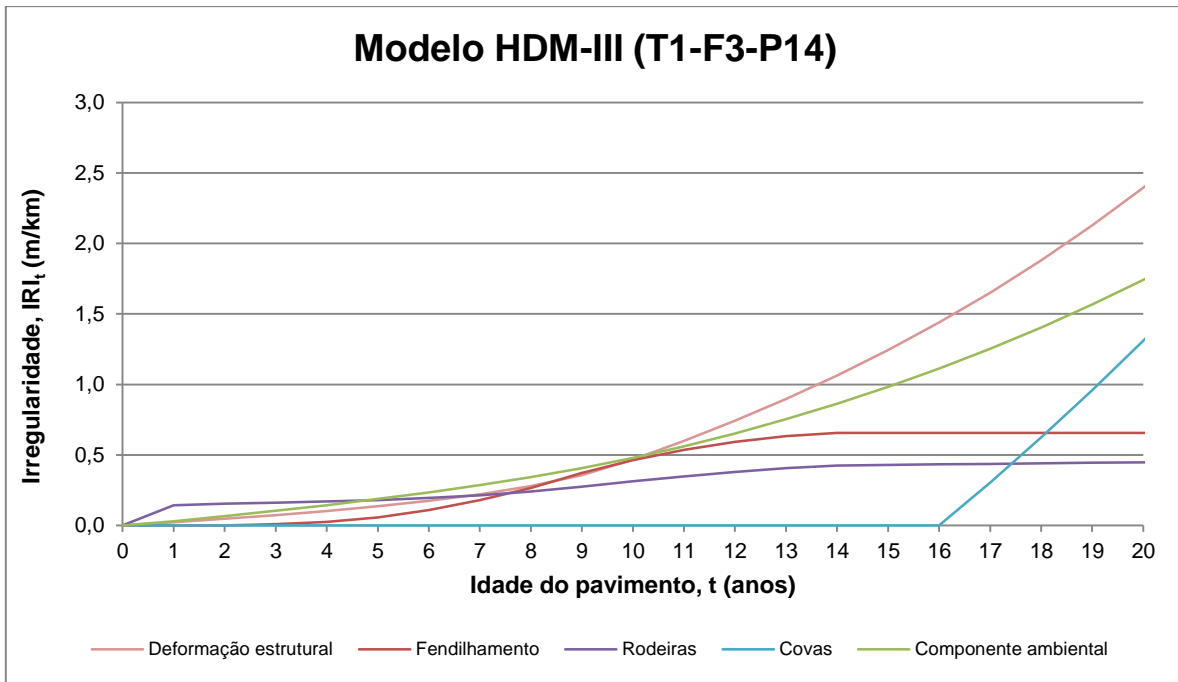


Figura 4.11 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-III (T1-F3-P14)

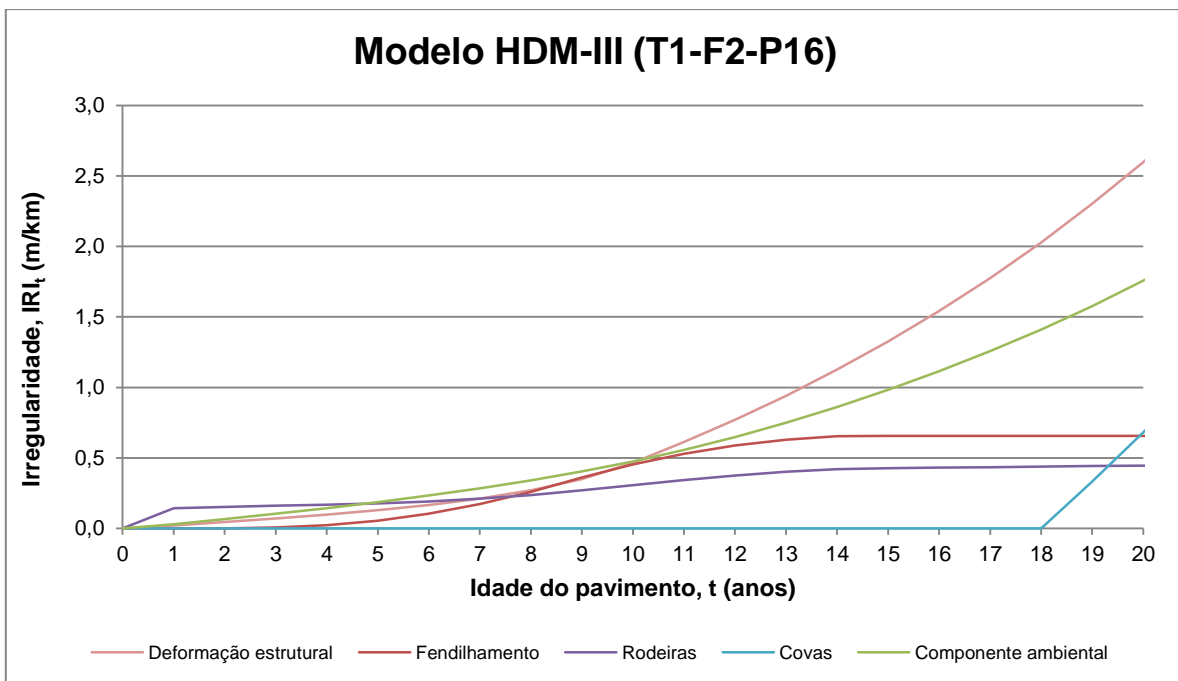


Figura 4.12 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-III (T1-F2-P16)

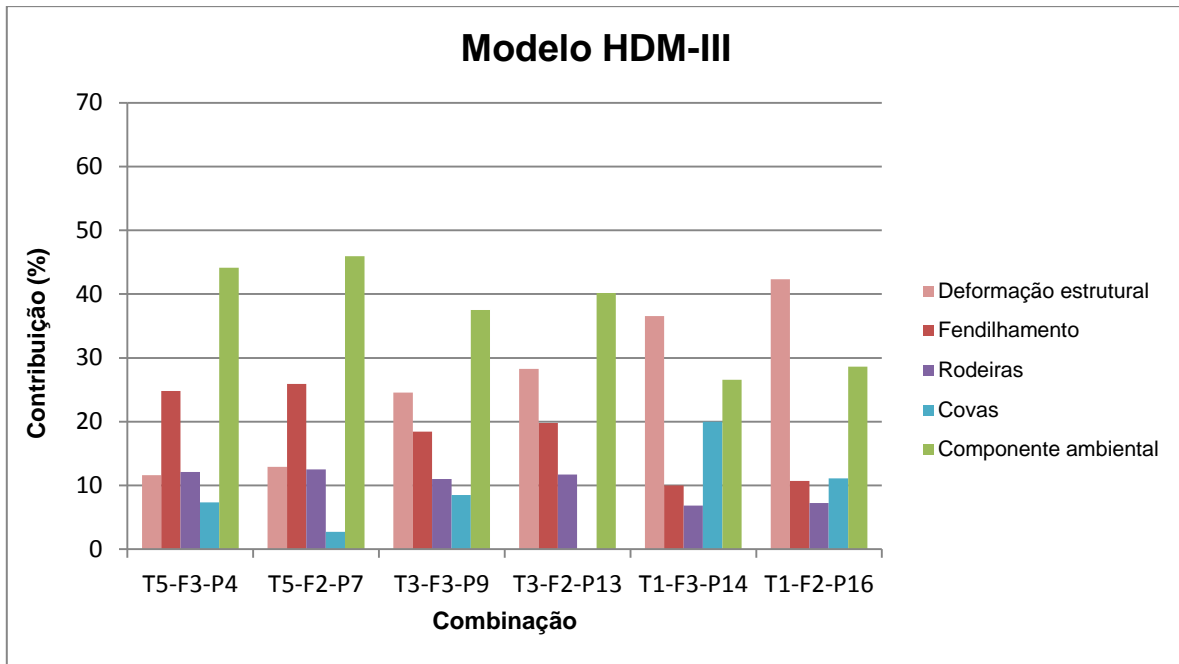


Figura 4.13 – Contribuição de cada componente no crescimento da irregularidade – modelo HDM-III

4.4.2. Modelos HDM-4, HDM-4 Australiano e HDM-4 Sul-Africano

Nas três versões, para as combinações T5-F3-P4, T5-F2-P7, T3-F3-P9 e T3-F2-P13, o termo que mais contribui para o crescimento total da irregularidade num período de 20 anos, é a componente ambiental.

Nas três versões, para as combinações T1-F3-P14 e T1-F2-P16, a componente com maior Contribuição no crescimento total da irregularidade num período de 20 anos, é a deformação estrutural.

Nas Figuras 4.14 a 4.34 é representada graficamente a contribuição de cada componente na evolução da irregularidade num período de 20 anos e para as diferentes combinações.

Em qualquer combinação, partindo de diferentes valores de IRI inicial (IRI_0), constata-se que o crescimento do IRI é pouco alterado.

Nos Quadros 4.23 a 4.28 é indicado o valor do crescimento total da irregularidade num período de 20 anos, para cada combinação e para diferentes valores admissíveis de IRI_0 .

Verifica-se também uma diferença considerável entre HDM-4 original e as outras versões, para a classe de tráfego mais intenso, que se deve às rodeiras e ao efeito da área de reparação de covas na irregularidade do pavimento.

No geral, conclui-se que qualquer uma das versões do HDM-4 é pouco sensível à classe de fundação e muito sensível à classe de tráfego.

Tal como o HDM-III, os modelos HDM-4 podem ser aplicados a nível de rede e a nível de projecto.

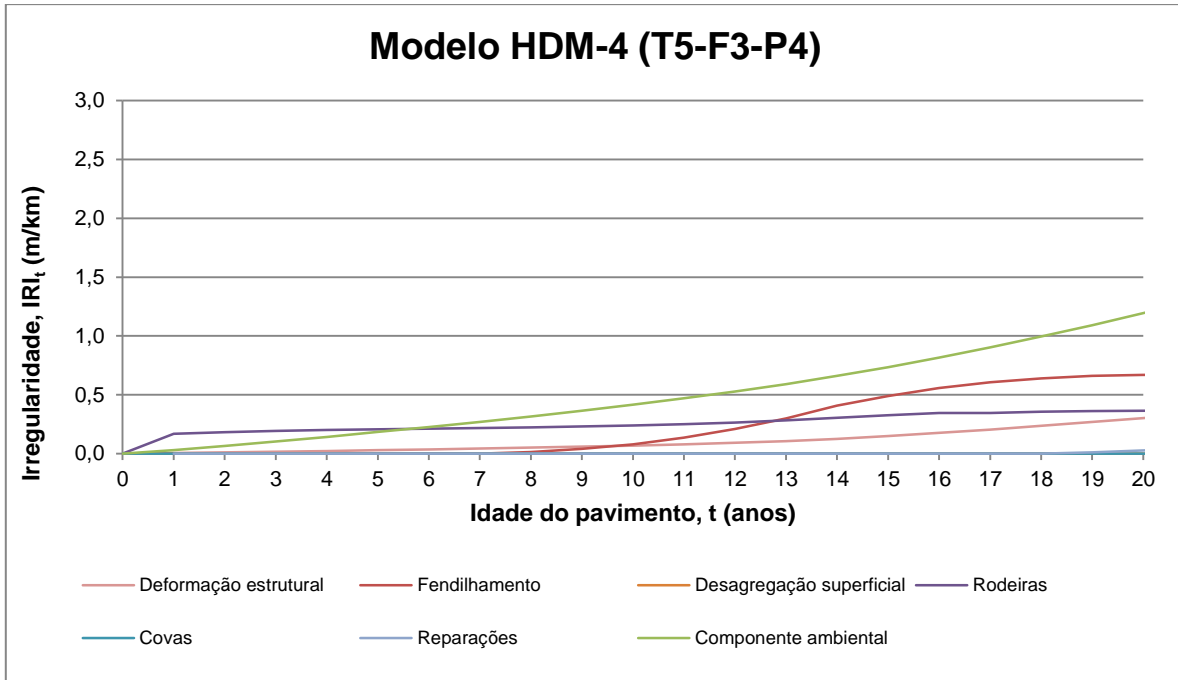


Figura 4.14 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 (T5-F3-P4)

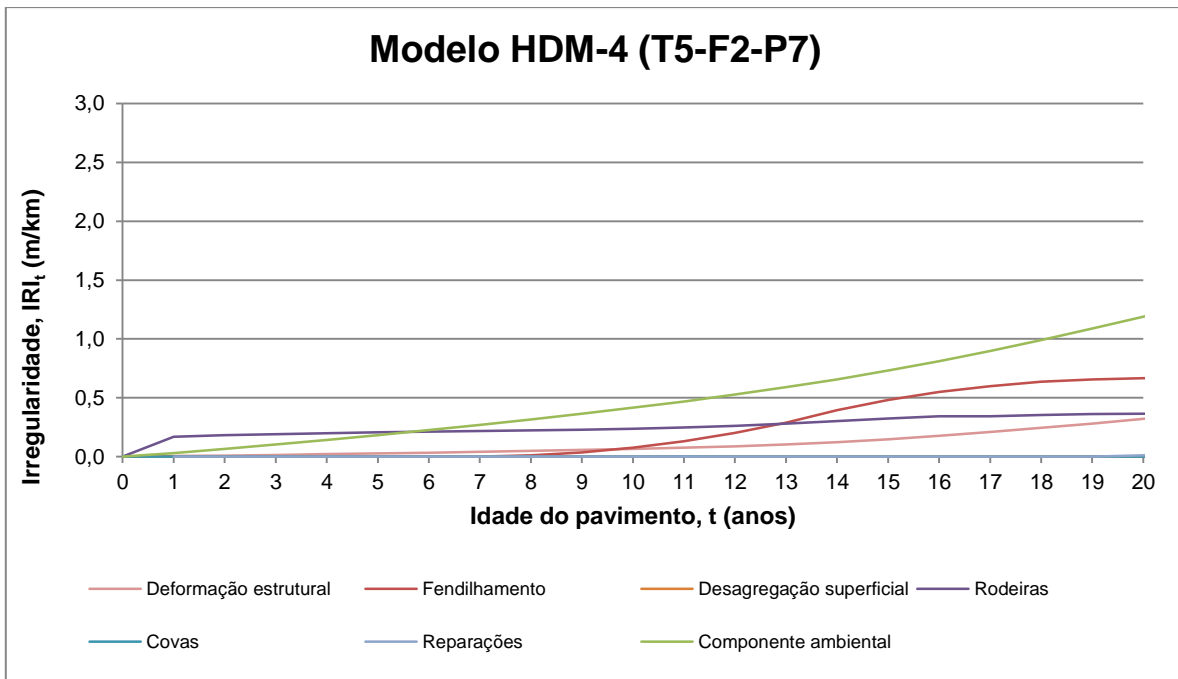


Figura 4.15 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 (T5-F2-P7)

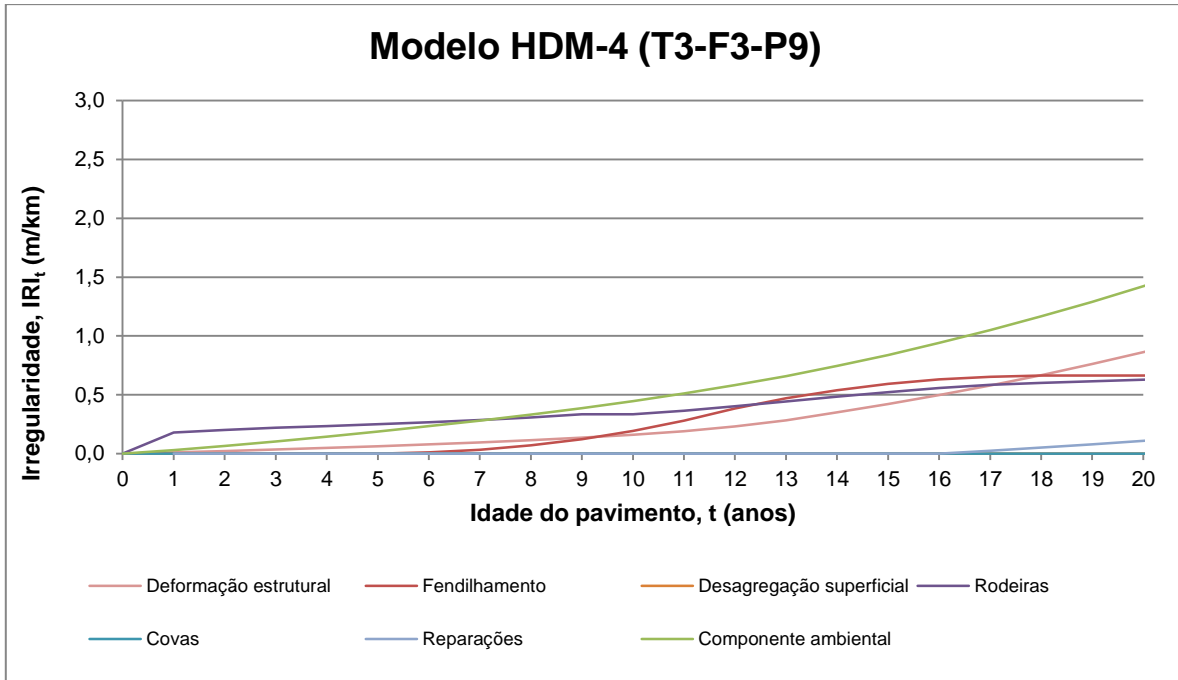


Figura 4.16 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 (T3-F3-P9)

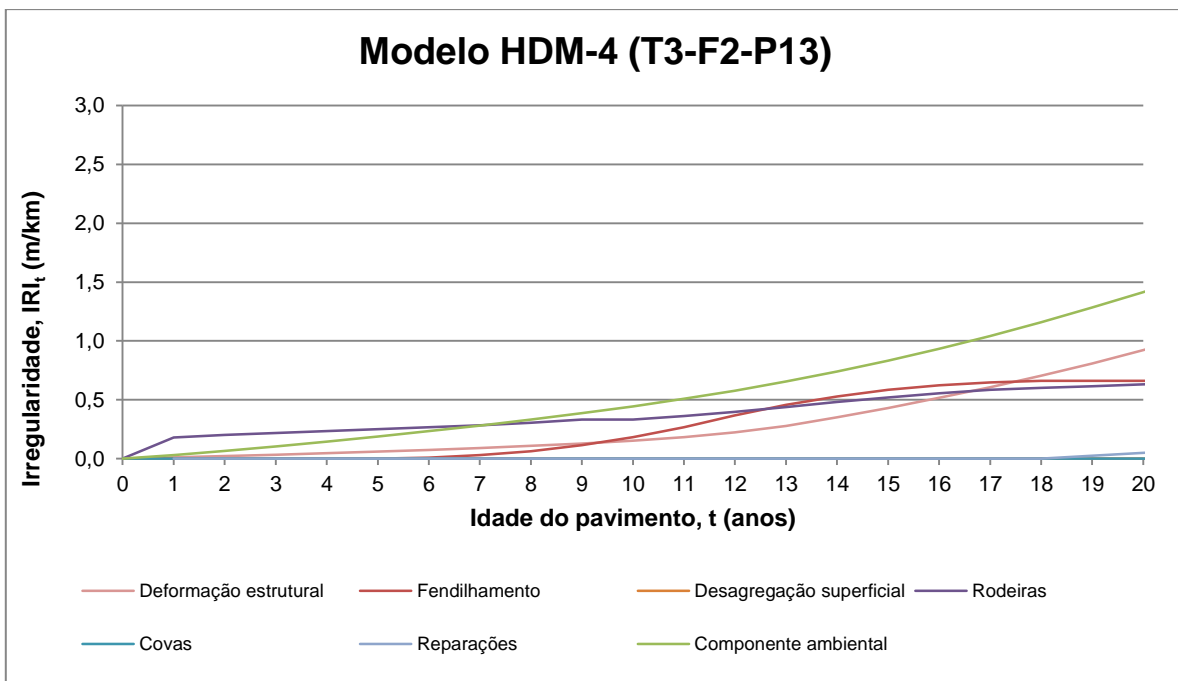


Figura 4.17 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 (T3-F2-P13)

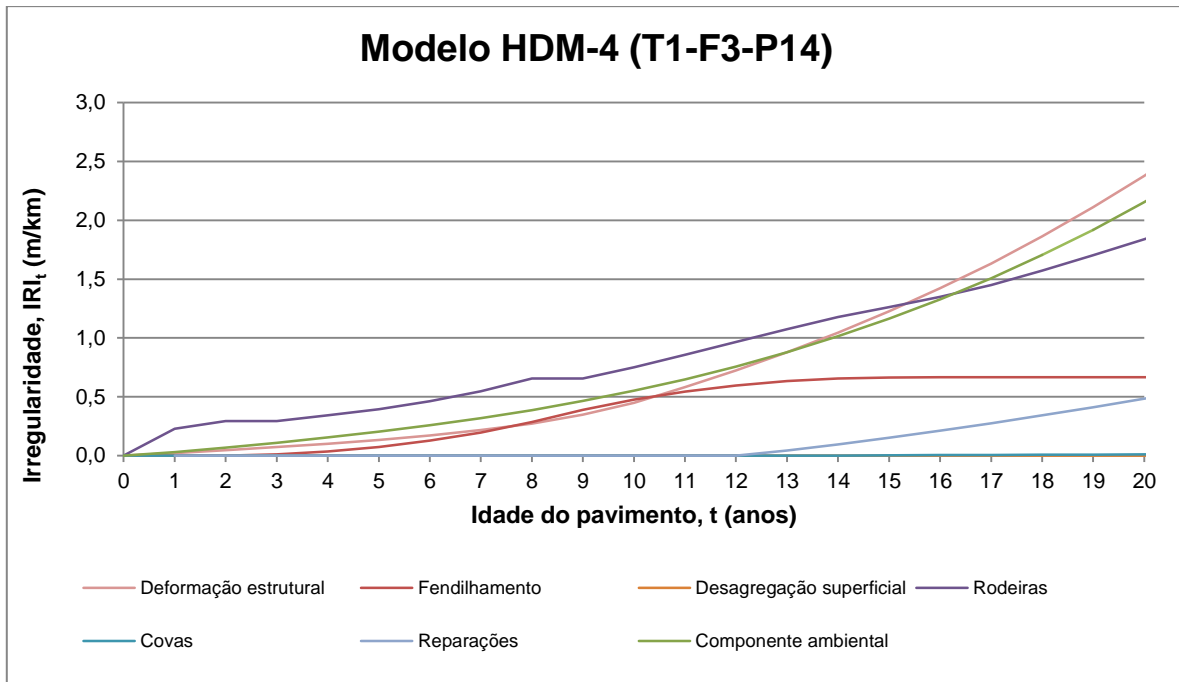


Figura 4.18 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 (T1-F3-P14)

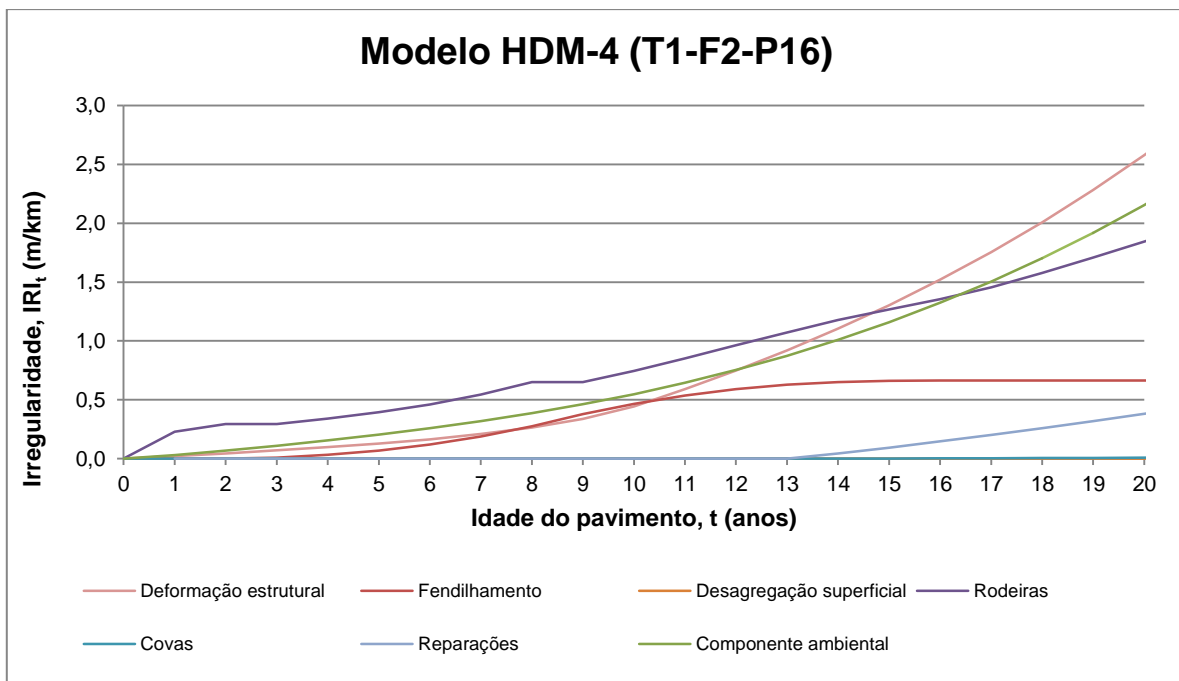


Figura 4.19 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 (T1-F2-P16)

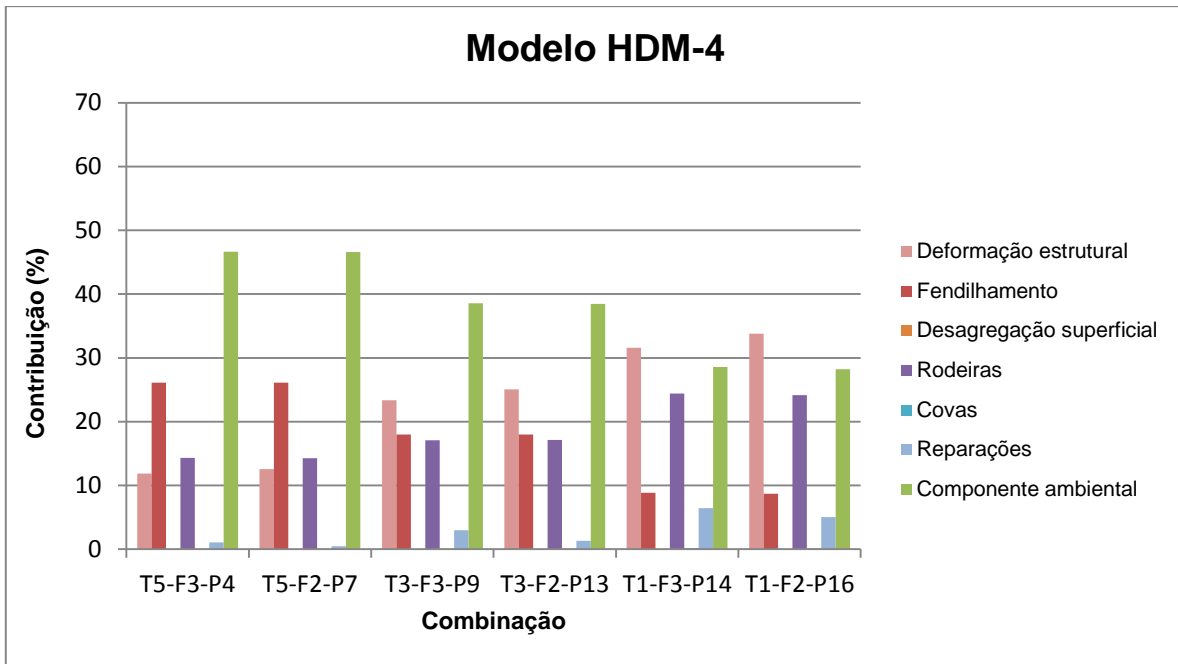


Figura 4.20 – Contribuição de cada componente no crescimento da irregularidade – modelo HDM-4

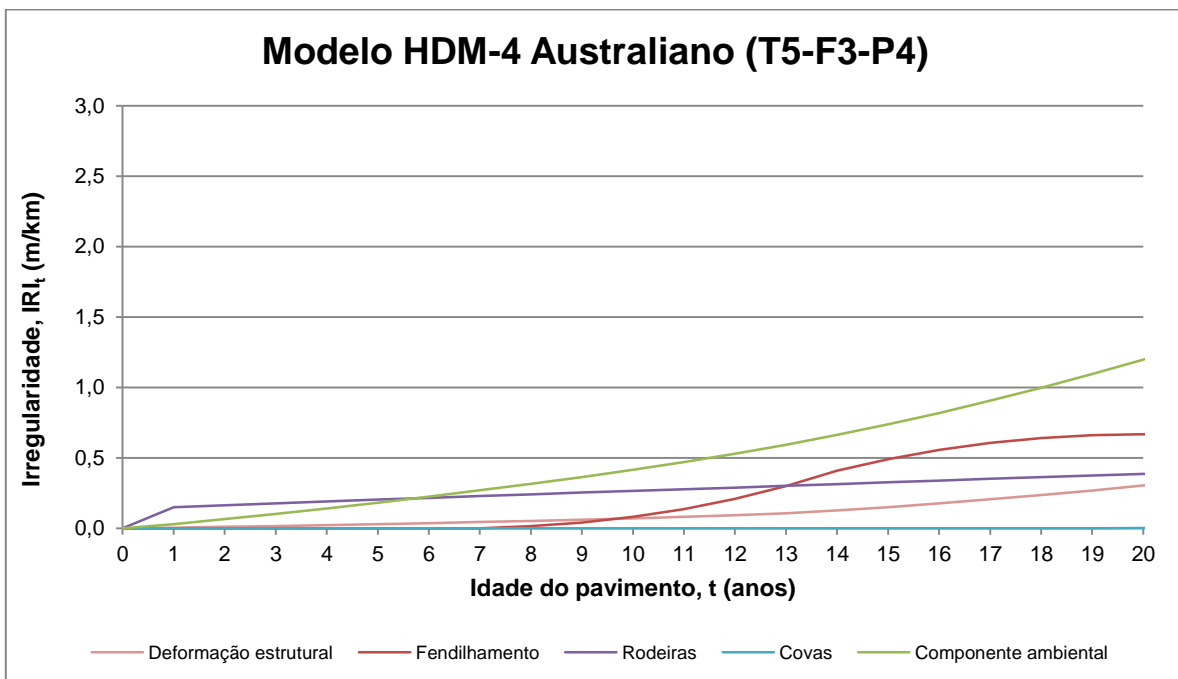


Figura 4.21 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Australiano (T5-F3-P4)

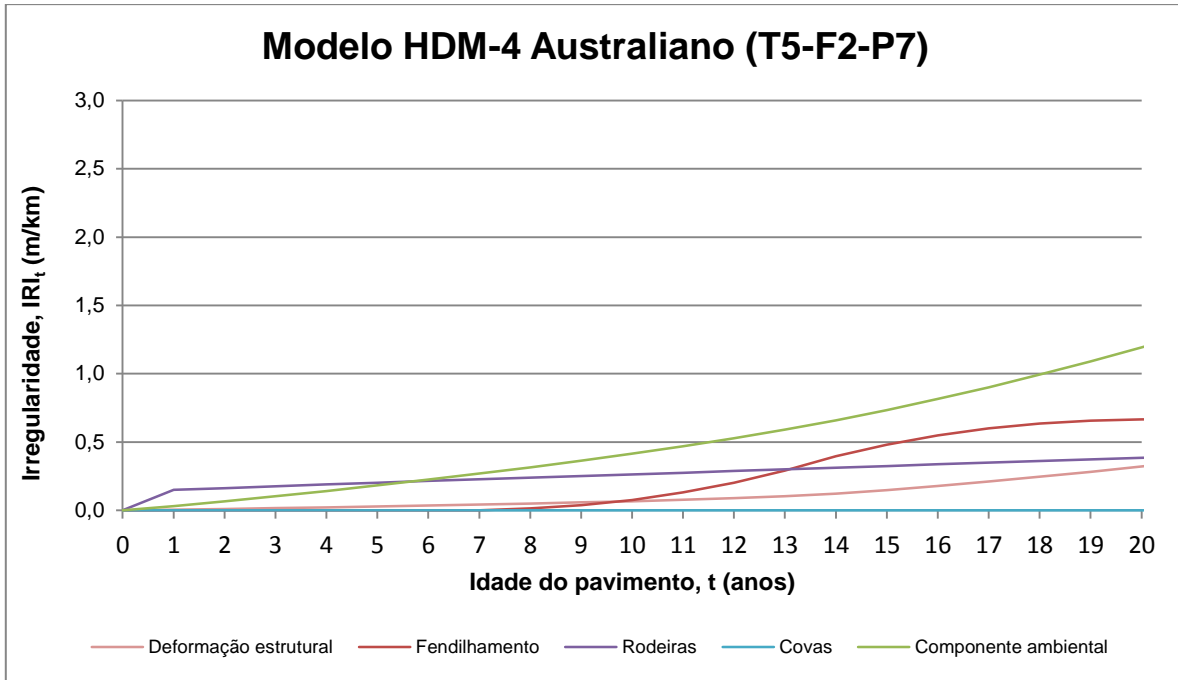


Figura 4.22 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Australiano (T5-F2-P7)

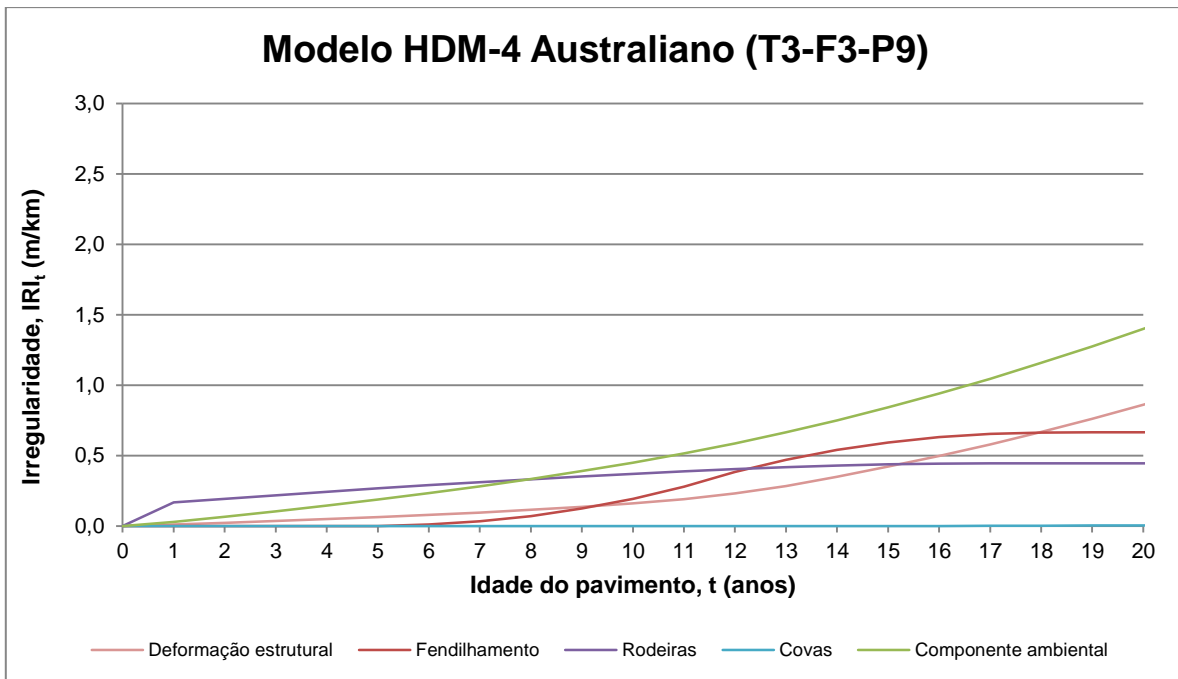


Figura 4.23 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Australiano (T3-F3-P9)

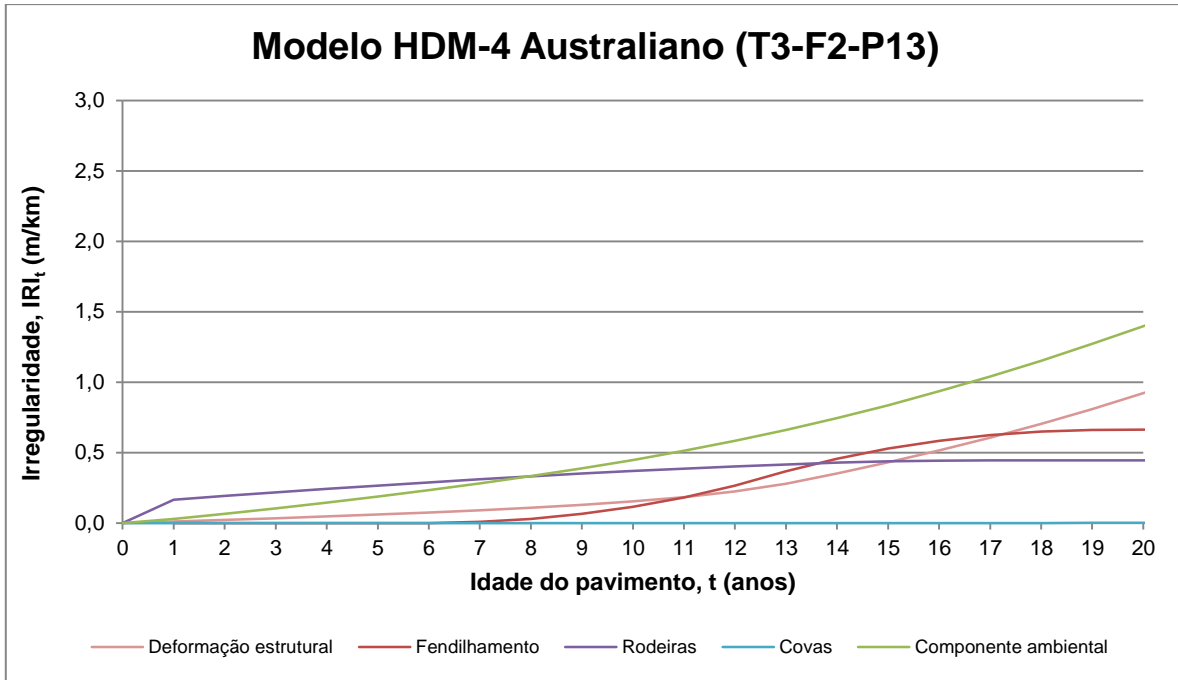


Figura 4.24 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Australiano (T3-F2-P13)

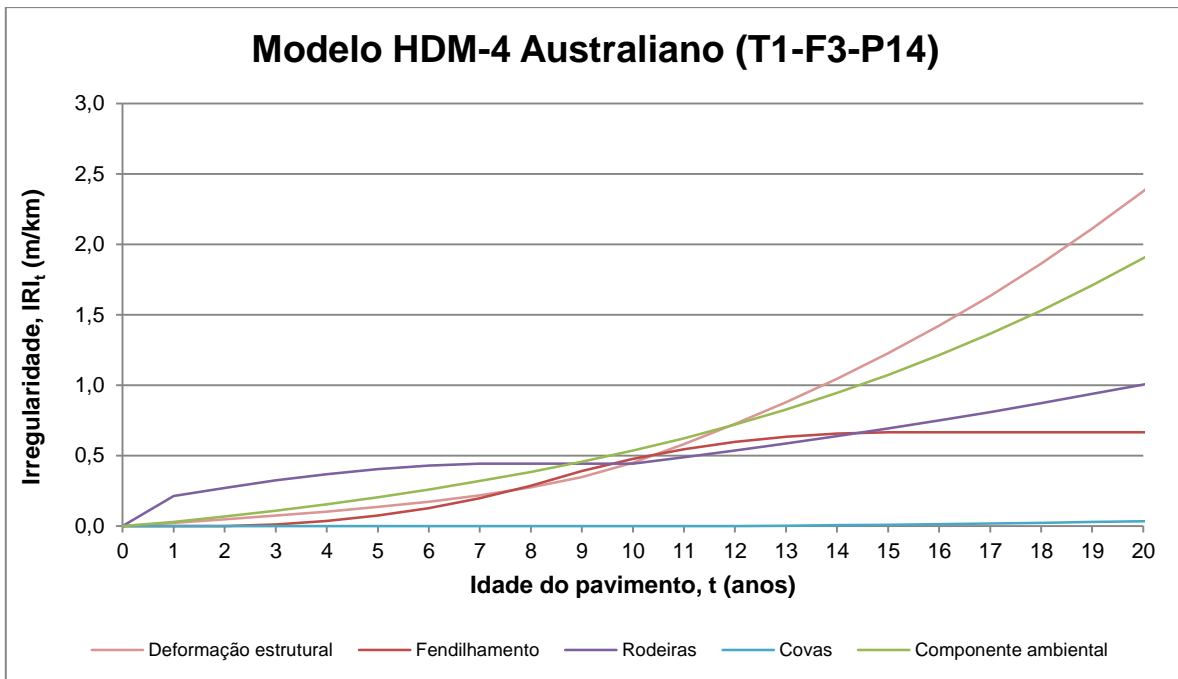


Figura 4.25 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Australiano (T1-F3-P14)

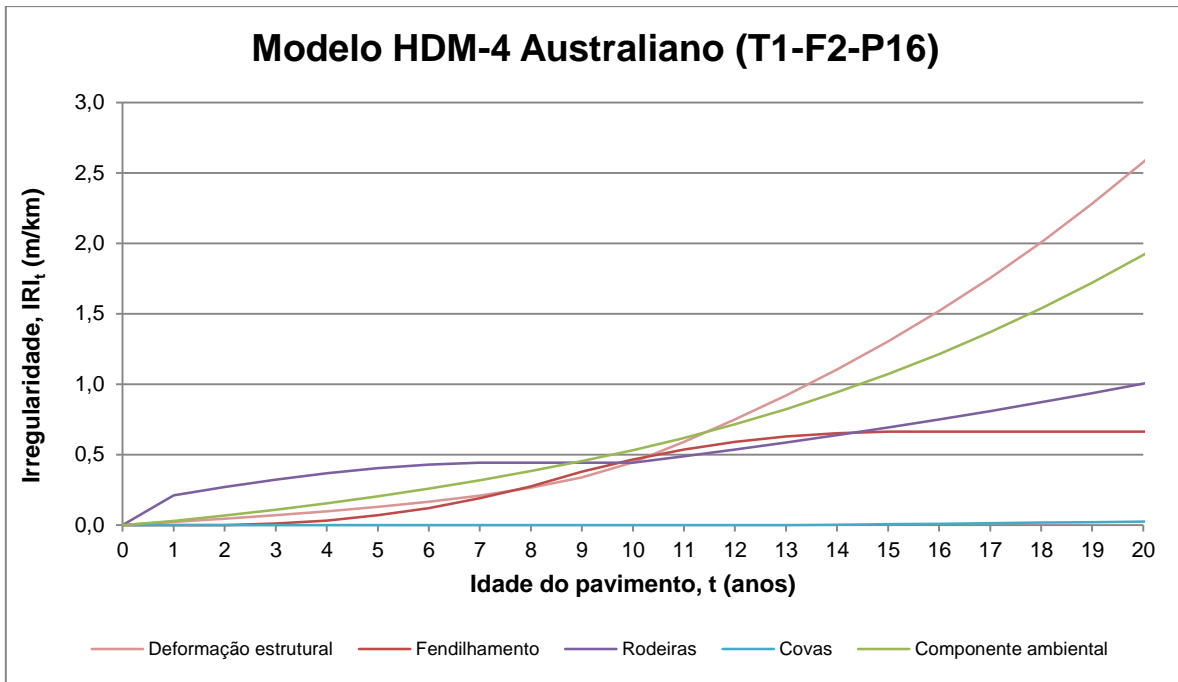


Figura 4.26 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Australiano (T1-F2-P16)

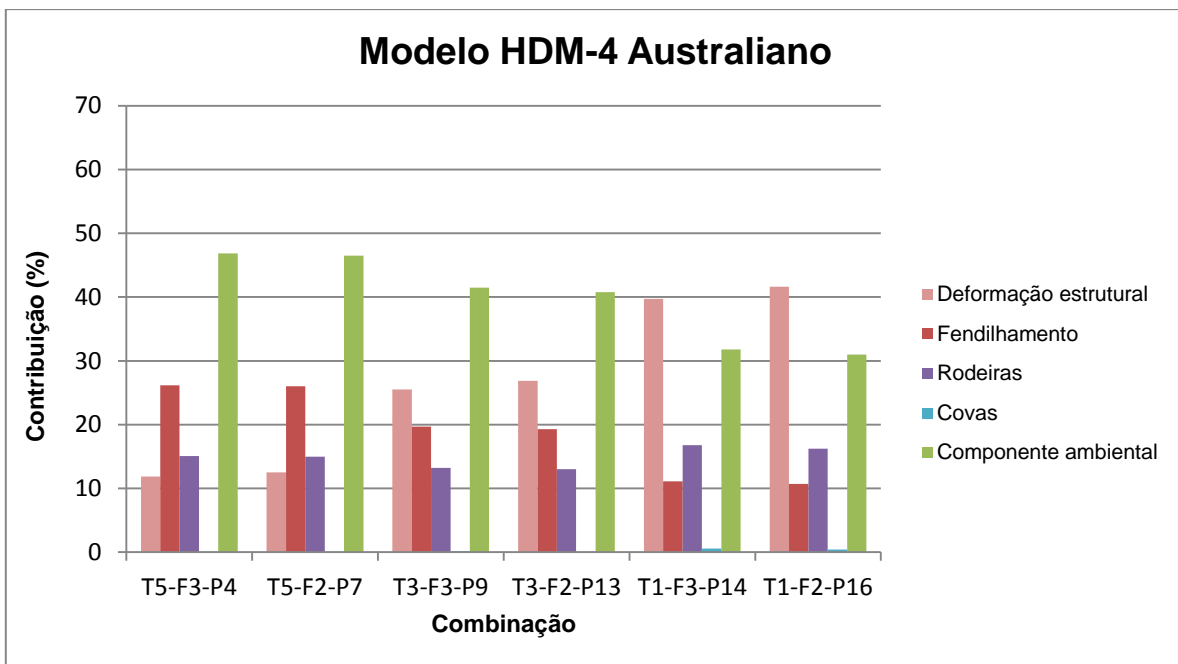


Figura 4.27 – Contribuição de cada componente no crescimento da irregularidade – modelo HDM-4 Australiano

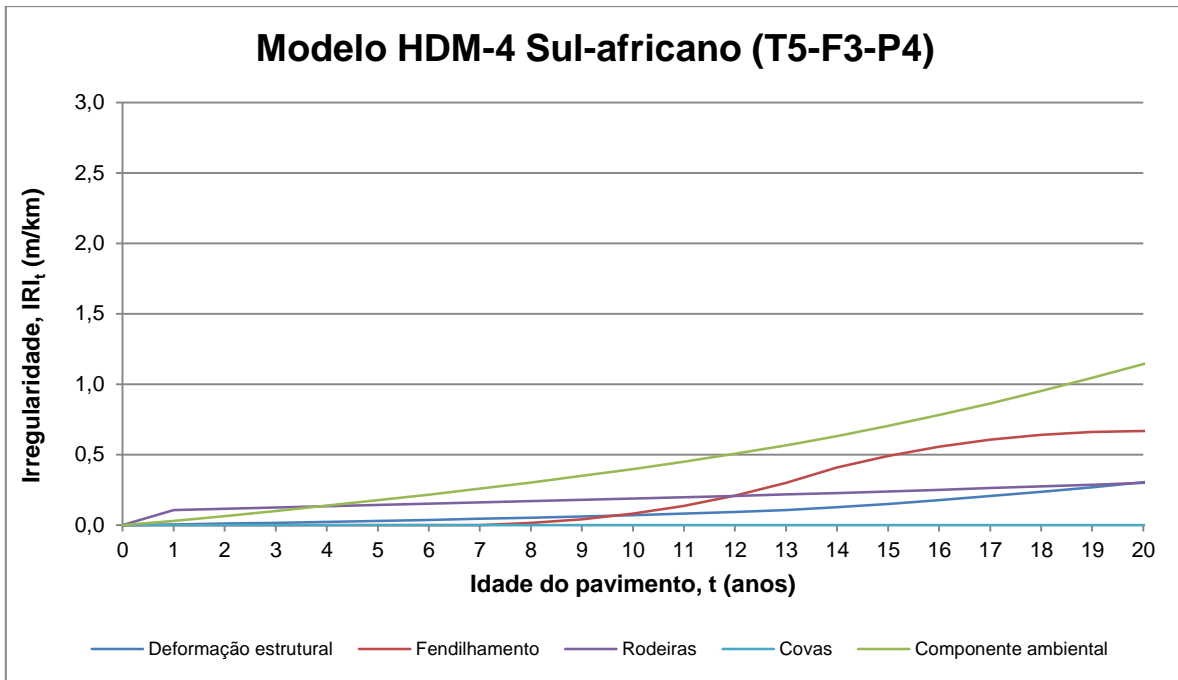


Figura 4.28 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Sul-africano (T5-F3-P4)

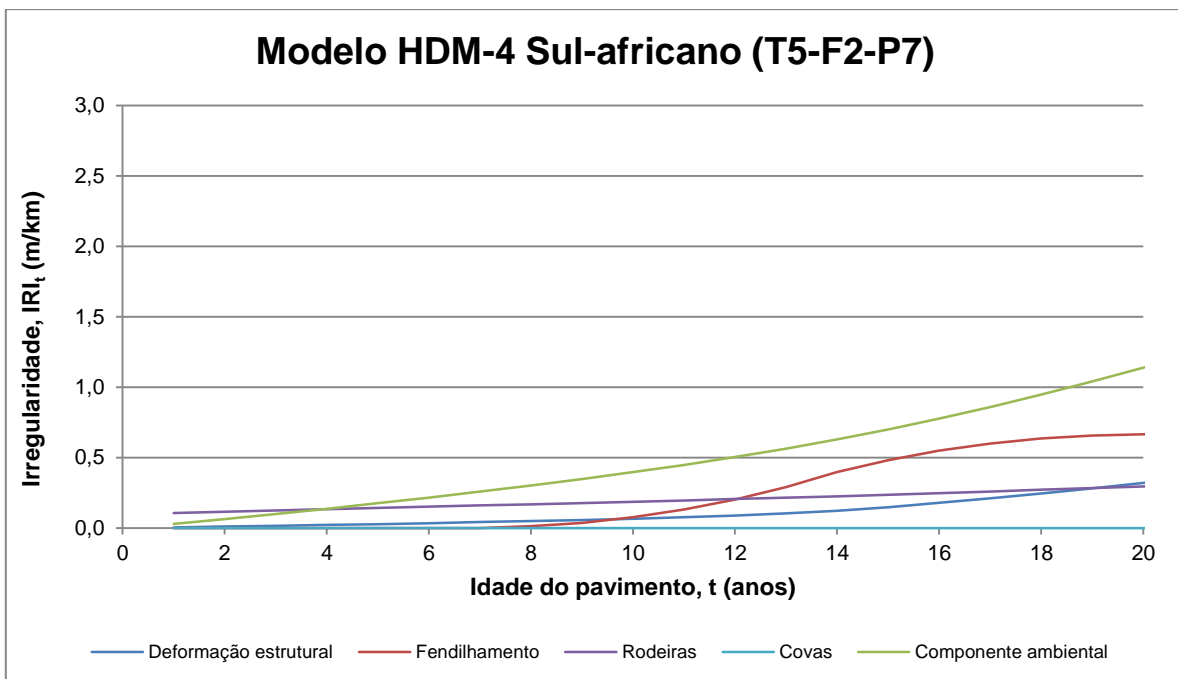


Figura 4.29 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Sul-africano (T5-F2-P7)

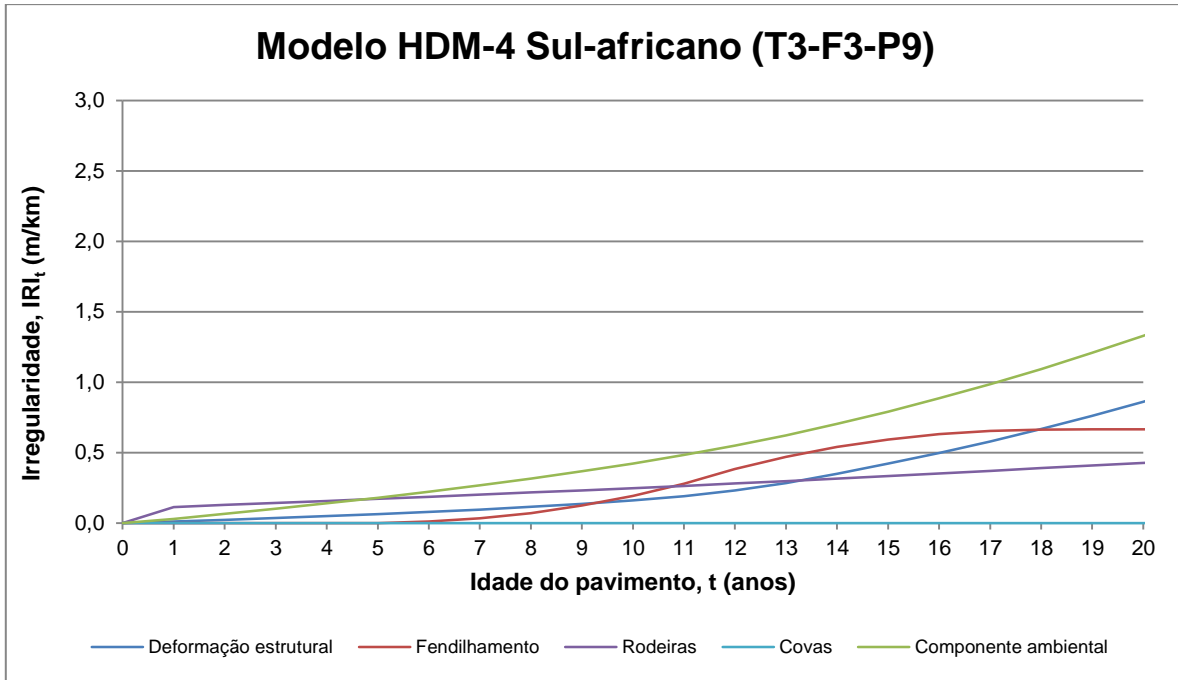


Figura 4.30 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Sul-africano (T3-F3-P9)

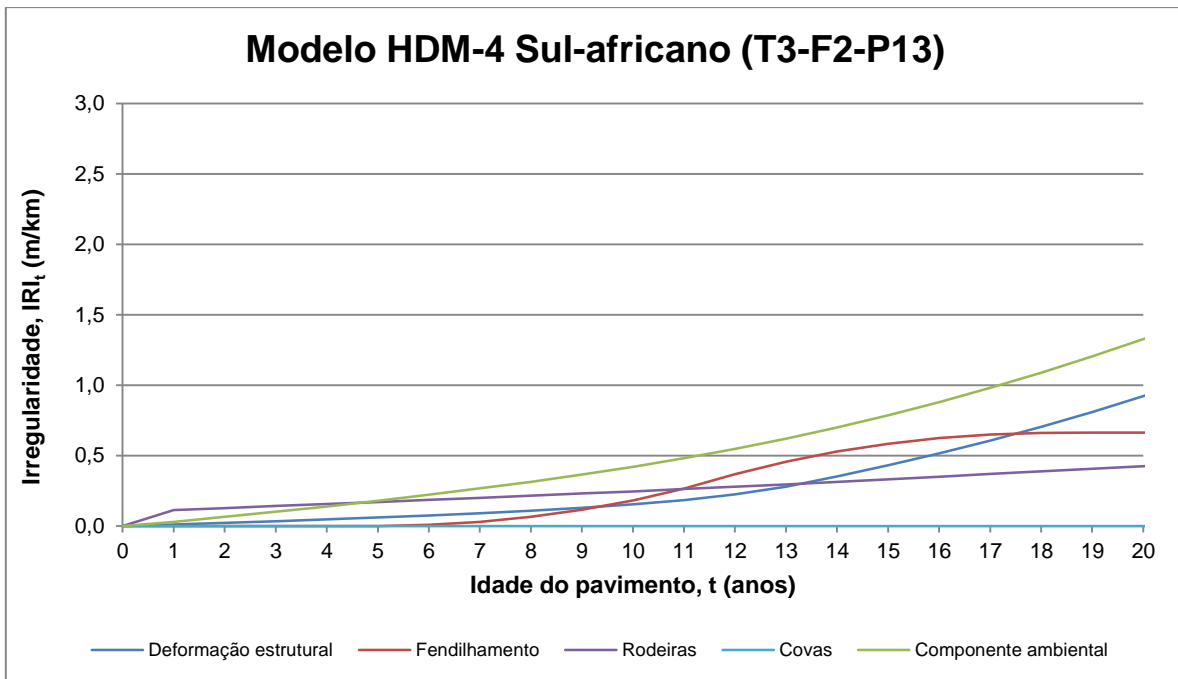


Figura 4.31 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Sul-africano (T3-F2-P13)

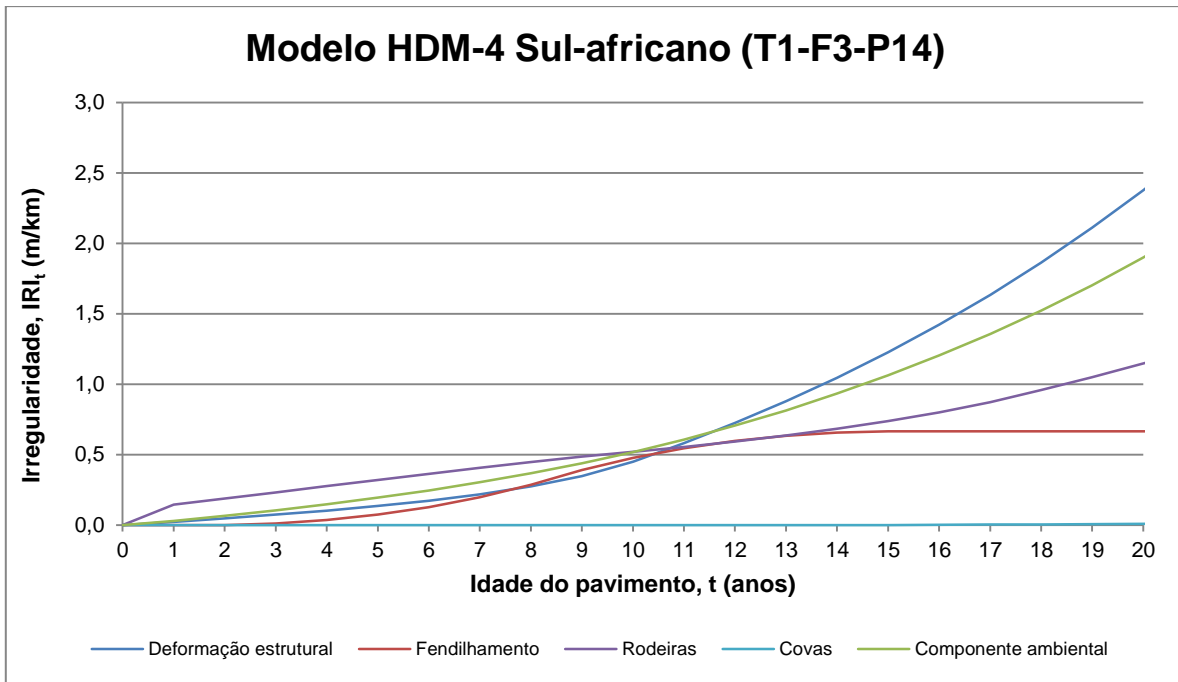


Figura 4.32 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Sul-africano (T1-F3-P14)

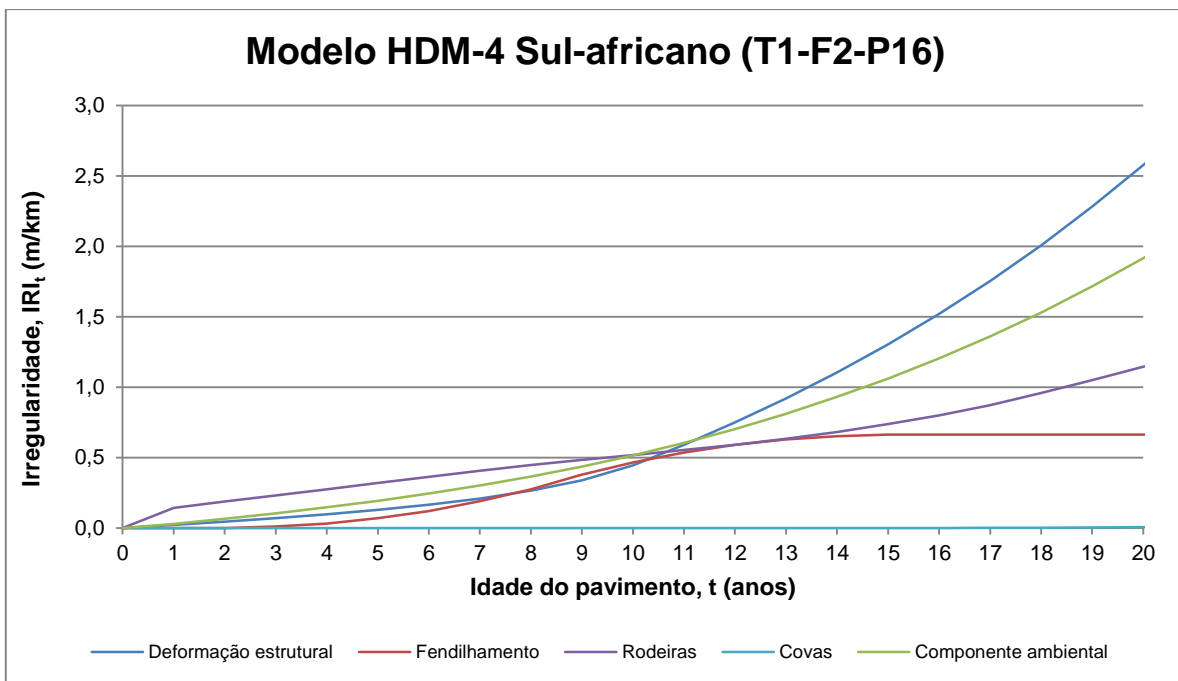


Figura 4.33 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo HDM-4 Sul-africano (T1-F2-P16)

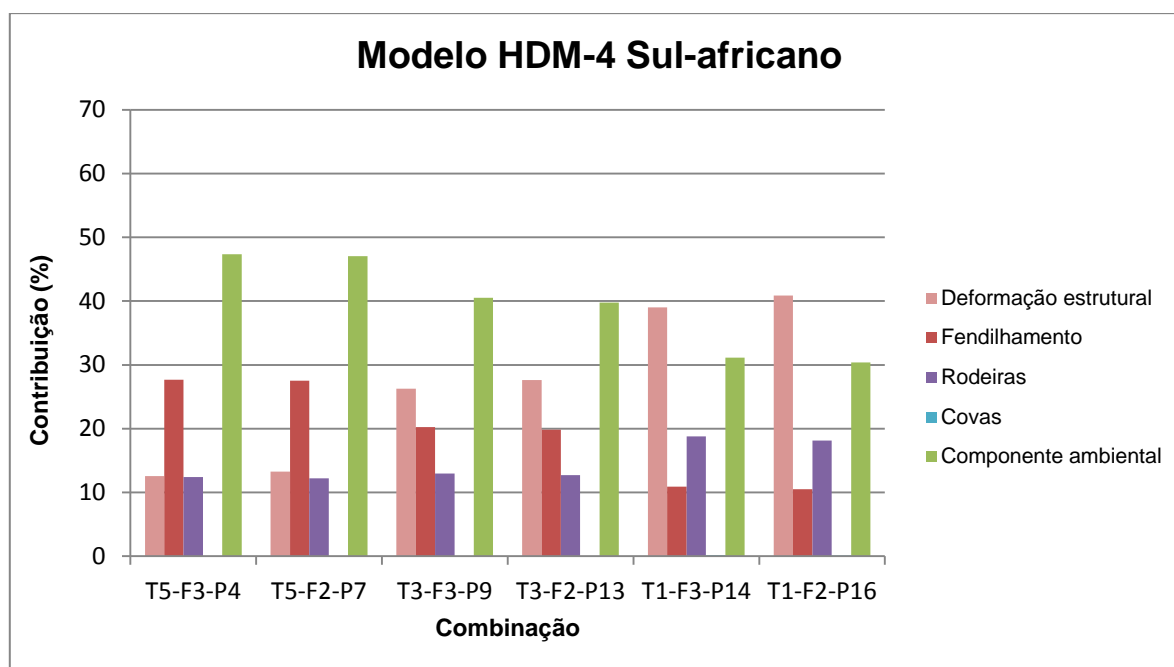


Figura 4.34 – Contribuição de cada componente no crescimento da irregularidade – modelo HDM-4 Sul-africano

4.4.3. Modelo MEPDG

O *software* utilizado na aplicação deste modelo não apresenta os resultados na forma de componentes, e como tal, não foi possível fazer essa análise.

Para diferentes valores de IRI inicial (IRI_0), constata-se que o crescimento do IRI é sempre igual. Isto acontece porque neste modelo o crescimento do IRI não depende do seu valor inicial.

Nos Quadros 4.23 a 4.28 é indicado o valor do crescimento total da irregularidade num período de 20 anos, para cada combinação e para diferentes valores admissíveis de IRI_0 .

Neste modelo os resultados variam muito pouco para as diferentes combinações. O que significa que apresenta muito pouca sensibilidade ao tráfego e à fundação.

Este modelo pode ser aplicado a nível de rede e a nível de projecto.

4.4.4. Modelo Indiano

Em todas as combinações, a componente com maior contribuição no aumento total da irregularidade num período de 20 anos, é a componente ambiental.

Nas Figuras 4.35 a 4.41 é representada graficamente a contribuição de cada componente na evolução da irregularidade num período de 20 anos e para as diferentes combinações.

Em qualquer combinação, partindo de diferentes valores de IRI inicial (IRI_0), constata-se que o crescimento do IRI é pouco alterado.

Nos Quadros 4.23 a 4.28 é indicado o valor do crescimento total da irregularidade num período de 20 anos, para cada combinação e para diferentes valores admissíveis de IRI_0 .

Este modelo é pouco sensível à classe de fundação e muito sensível à classe de tráfego.

Devido às suas características, este modelo pode ser aplicado a nível de rede e a nível de projecto.

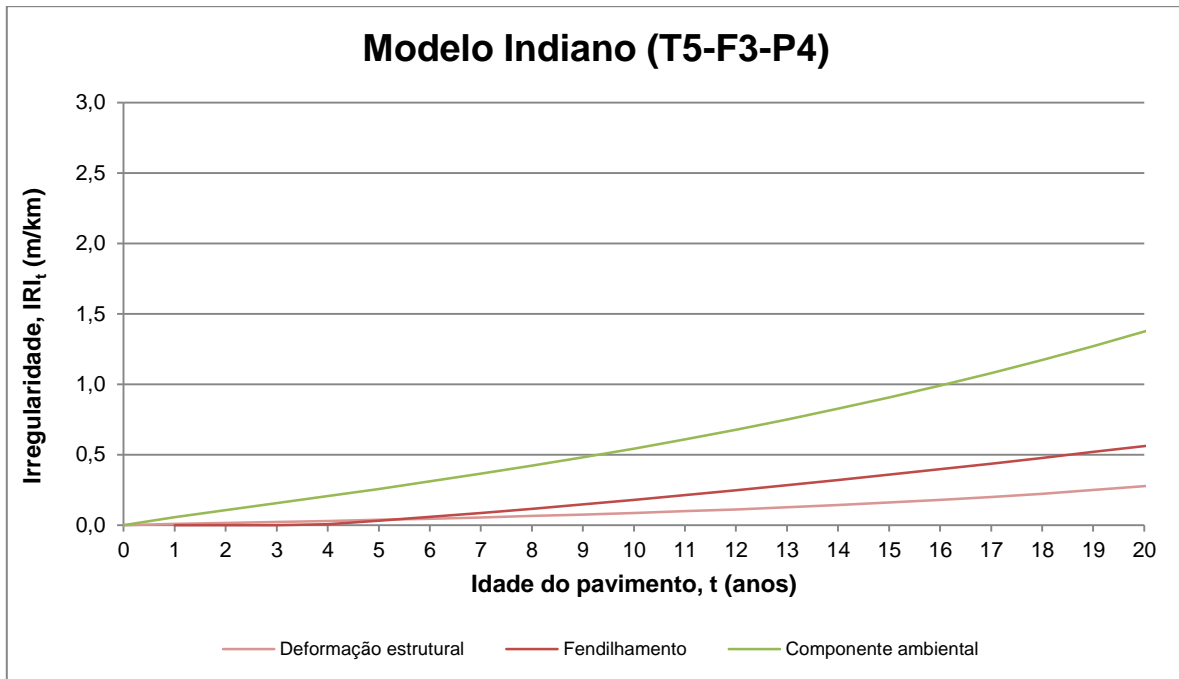


Figura 4.35 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo Indiano (T5-F3-P4)

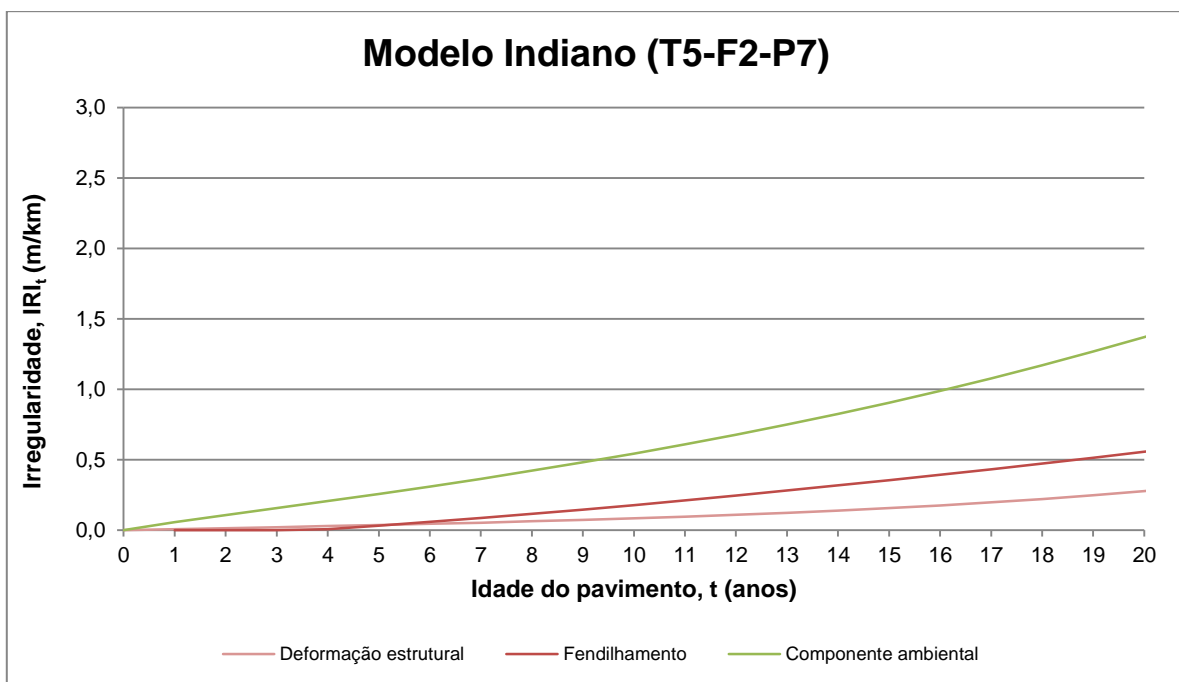


Figura 4.36 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo Indiano (T5-F2-P7)

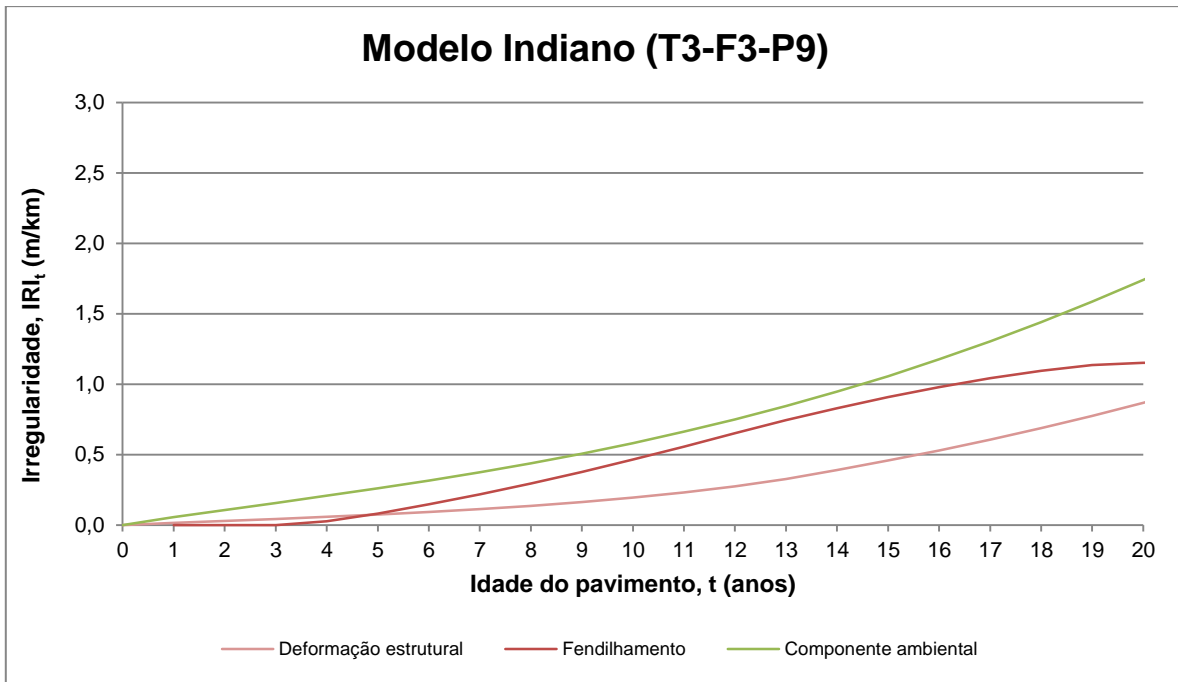


Figura 4.37 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo Indiano (T3-F3-P9)

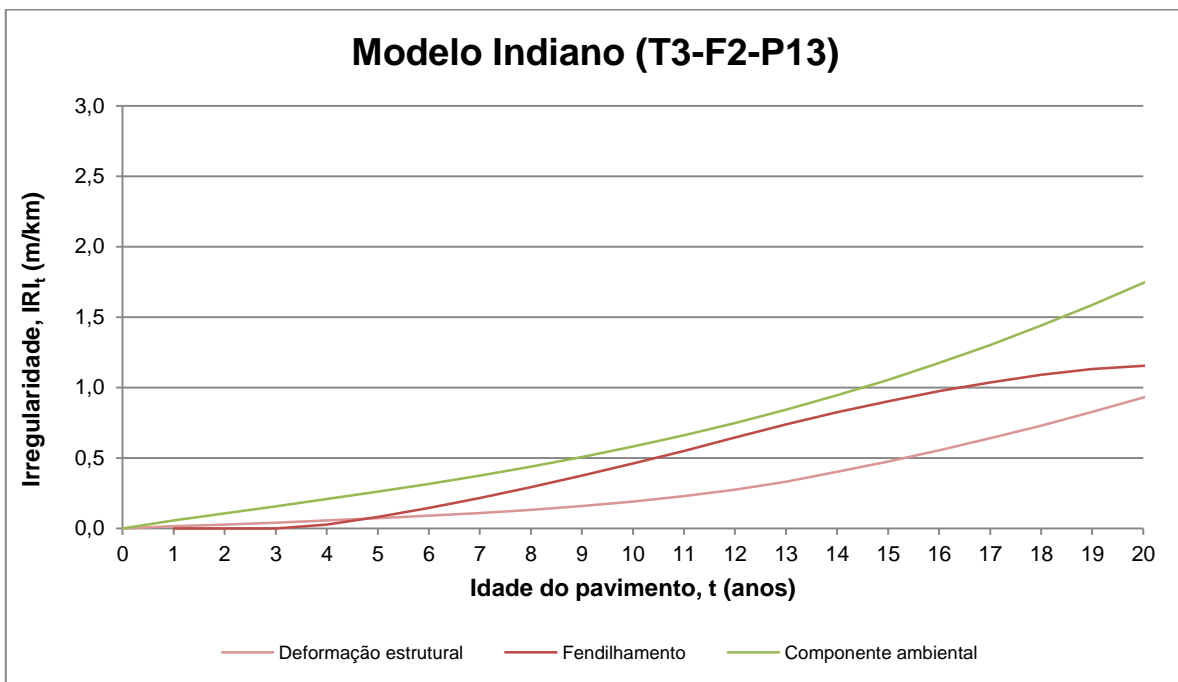


Figura 4.38 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo Indiano (T3-F2-P13)

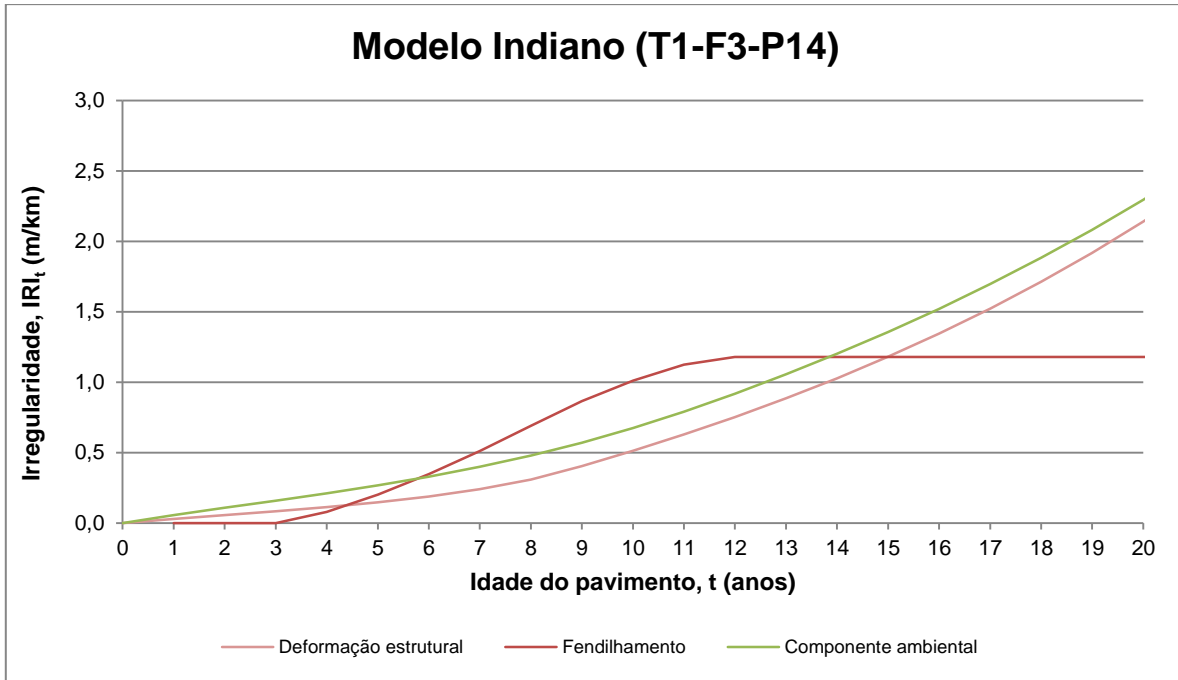


Figura 4.39 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo Indiano (T1-F3-P14)

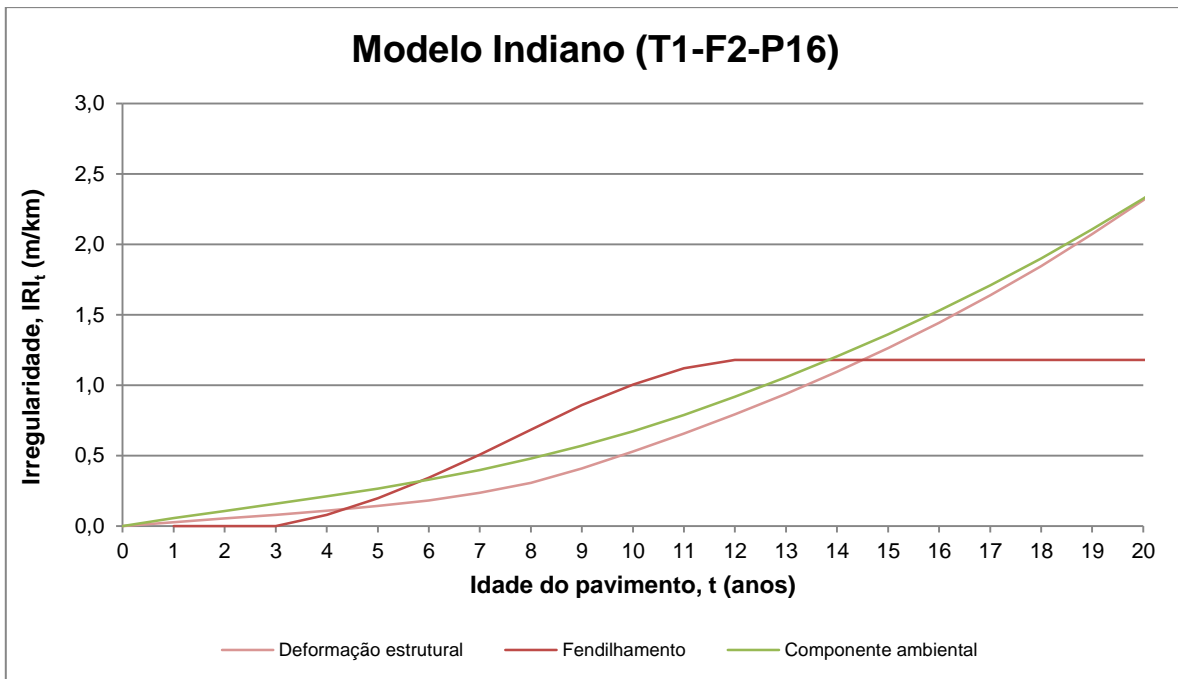


Figura 4.40 – Contribuição de cada componente na evolução da irregularidade – modelo Indiano (T1-F2-P16)

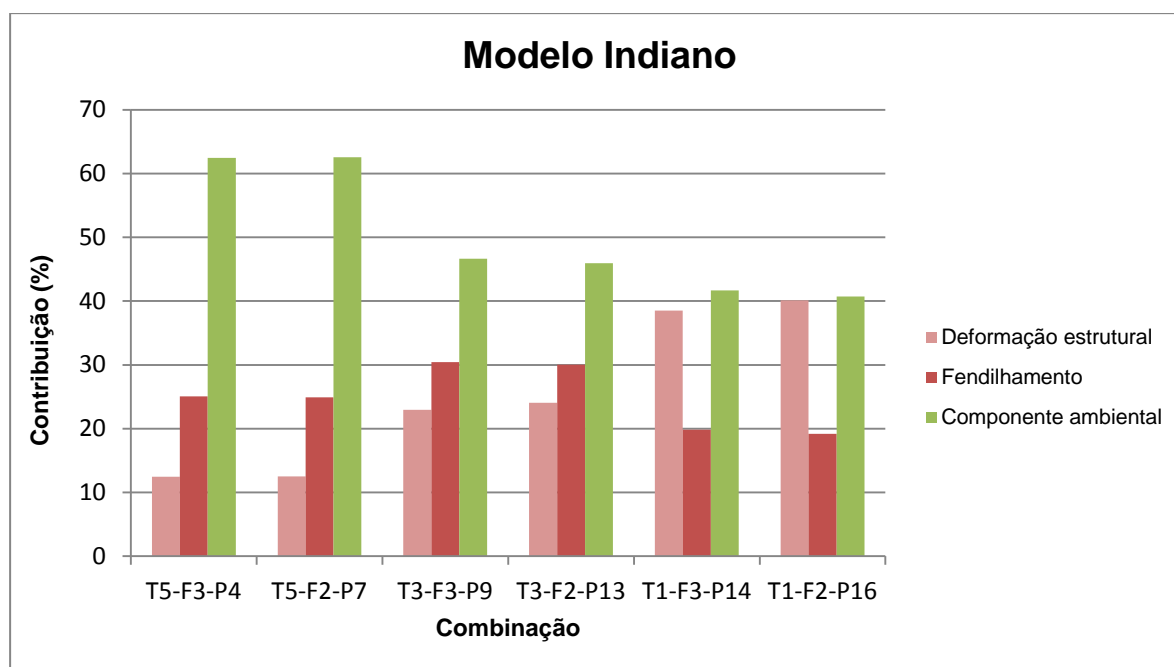


Figura 4.41 – Contribuição de cada componente no crescimento da irregularidade – modelo Indiano

4.4.5. Modelo Dubai

Como neste modelo se dispõe apenas de um termo, não é possível fazer uma análise por componentes.

Neste modelo a irregularidade depende apenas da idade do pavimento, logo, não tem qualquer sensibilidade à classe de tráfego nem à classe de fundação.

Este modelo é indicado apenas a nível de rede, já que a nível de projecto não permite avaliar diferentes alternativas.

4.4.6. Modelo Costa Rica

Como neste modelo se dispõe apenas de um termo, não é possível fazer uma análise por componentes.

Este modelo apresenta pouca sensibilidade à classe de fundação e muita sensibilidade à classe de tráfego.

Este modelo pode ser aplicado a nível de rede e a nível de projecto.

4.5. Comparação de resultados

Para efeitos de comparação considerou-se o modelo mais conservador aquele que:

- Atinge mais rapidamente o valor terminal de funcionalidade definido;
- Atinge maiores valores ao fim de um período de dimensionamento de 20 anos.

Em ambas as hipóteses, o modelo HDM-4 Australiano é o mais conservador para as combinações T5-F3-P4 e T5-F2-P7; para as combinações T3-F3-P9, T3-F2-P13, T1-F3-P14 e T1-F2-P16, o modelo HDM-4 apresenta resultados mais conservadores.

Em qualquer uma das hipóteses e para todas as combinações, verificou-se também que o modelo que apresenta resultados menos conservadores é o MEPDG.

5. Considerações Finais

5.1. Conclusões

No que diz respeito ao nível de aplicação, todos os modelos estudados se adequam a nível de rede, sendo que os modelos HMD-III, HDM-4, Indiano, MEPDG, Costa Rica se adaptam também a nível de projecto.

Relativamente ao formato conceptual, o MEPDG e o Dubai representam modelos empíricos, e os restantes representam modelos empírico-mecanicistas.

Em relação ao tipo de variáveis dependentes, todos os modelos mencionados são paramétricos.

Relativamente ao tipo de variáveis independentes, apenas o modelo Dubai representa um modelo relativo.

Em relação ao tipo de formulação, todos os modelos mencionados são determinísticos.

Da análise dos resultados constatou-se que os modelos mais conservadores são os modelos HDM-4, e que o modelo menos conservador é o MEPDG.

Verificou-se também que as componentes com maior influência na evolução da irregularidade são a componentes ambiental e a de deformação estrutural.

Concluiu-se ainda que, o crescimento do IRI depende pouco do valor inicial (considerando valores de IRI admissíveis).

Relativamente aos modelos HDM-III, HDM-4 e Indiano, observa-se que o fendilhamento atinge os 100% (ou um valor muito próximo) antes dos 20 anos, o que implica a reabilitação do pavimento durante esse período. Contudo, o fendilhamento nunca atinge os 100% antes de se observar o valor terminal de IRI de 3,5 m/km, a partir do qual já é necessário intervir para se cumprirem os critérios de aceitação e se garantir a qualidade funcional do pavimento.

As diferenças entre os modelos estudados, confirmadas pelos resultados obtidos, mostram que não existe um consenso no que diz respeito à modelação do comportamento dos pavimentos, pelo menos à escala mundial.

A dependência dos estudos empíricos, relativamente à base de dados de uma rede específica, implica que haverá modelos que se adaptam melhor às condições dos pavimentos em Portugal do que outros. Assim, os modelos de previsão do desempenho de pavimentos podem ser uma ferramenta fundamental ao serviço dos sistemas de gestão de redes rodoviárias, desde que devidamente conhecidas e ponderadas as suas limitações.

Por outro lado, considerando o potencial dos métodos mecanicistas, a modelação do comportamento dos pavimentos ainda pode conhecer uma evolução significativa no futuro, seja através da melhoria dos modelos empírico-mecanicistas, seja na concepção de um modelo totalmente mecanicista.

A ausência de dados de observação a longo prazo, ou de um modelo desenvolvido especificamente para a rede rodoviária portuguesa, não permite concluir qual dos modelos estudados melhor se adapta melhor à realidade da mesma. Contudo, considerando as especificidades de cada um dos modelos pode-se afirmar que o HDM-4 é um modelo a ter em conta na rede nacional,

suportado também pelo facto de se tratar dum modelo que foi implementado com sucesso por várias administrações rodoviárias.

5.2. Desenvolvimentos futuros

Sugere-se a comparação dos valores obtidos pelos modelos de previsão com dados de observação do comportamento de pavimentos a longo-prazo para uma avaliação concreta da aplicabilidade dos modelos na rede rodoviária nacional.

Considera-se também importante um estudo de calibração e validação do modelo HDM-4 para a rede rodoviária em Portugal, pelas razões mencionadas anteriormente.

Sugere-se ainda a definição de ensaios (destrutivos e não destrutivos) e metodologias a implementar na ausência de informação relacionada com a estrutura dos pavimentos requerida em vários modelos, nomeadamente o número estrutural da AASHTO e a espessura das camadas constituintes, e o CBR.

Referências Bibliográficas

AASHTO (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington.

AEMet e IM (2011). *Atlas climático ibérico. Temperatura do Ar e Precipitação (1971-2000)*. Closas-Orcoyen S. L., Madrid. Acedido em http://www.ipma.pt/resources.www/docs_pontuais/ocorrencias/2011/atlas_clima_iberico.pdf

AIMIL LTD. (2013). *Bump Integrator, Conventional, Microprocessor Based, Axle Mounted*. Acedido em <http://www.aimil.com/Resources/Products/Original/647.jpg>

AL-SULEIMAN, Turki I.; SHIYAB, Adnan M. S. (2011). *Prediction of Pavement Remaining Service Life Using Roughness Data—Case Study in Dubai*. International Journal of Pavement Engineering, Volume 4, nº 2, págs. 121-129. Taylor & Francis, Londres.

AMADOR-JIMÉNEZ, Luis Esteban; MRAWIRA, Donath (2011). *Reliability-based initial pavement performance deterioration modeling*. International Journal of Pavement Engineering, Volume 12, nº 2, págs. 177-186. Taylor & Francis, Londres.

ASTM (2001). E 1170-97. *Standard Practices for Simulating Vehicular Response to Longitudinal Profiles of Traveled Surfaces*. American Society for Testing and Materials, Pennsylvania.

BRANCO, Fernando; PEREIRA, Paulo, SANTOS, Luís Picado (2011). *Pavimentos Rodoviários*. Edições Almedina, Coimbra.

BROSSEAUD, Y. (1994). *Évolution et perspectives d'avenir des enrobés à chaud pour l'entretien des chaussées*. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées – Spécial XVII, Gestion de l'entretien de la route, págs. 193-206. Ministère de l'Équipement, des Transports et du Tourisme, Paris.

COTO (2007). *Guidelines for Network Level Measurement of Road Roughness. Version 1.0*. Modelling and Analysis Systems CC., Pretoria.

EP (2008). *Sistema de Gestão de Pavimentos: Manual de Utilização*. Estradas de Portugal, Almada.

EP (2009). *Caderno de Encargos Tipo Obra. Pavimentação. Métodos construtivos*. Estradas de Portugal, Almada.

FERREIRA, Adelino (2007). *Gestão da Conservação de Redes Rodoviárias*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.

FERREIRA, Adelino; QUEIROZ, César; SOUZA, Ricardo (2013). *Gestão da Conservação de Redes Rodoviárias: Utilização dos Modelos de Previsão do Comportamento dos Pavimentos do HDM-4*. Centro Rodoviário Português, Lisboa. Acedido em http://www.crp.pt/docs/A45S129-98_Art_T5_7CRP_2013.pdf

HOQUE, Zahidul; MARTIN, Tim; CHOUMMANIVONG, Lith (2008). *Development of HDM-4 Road Deterioration (RD) Model Calibrations for Sealed Granular and Asphalt Roads*. Austroads technical report. Austroads Incorporated, Sydney.

HORTA, Carlos Santinho; PEREIRA, Francisco Costa; LOPES, Sandra; MORGADO, João (2013). *O Sistema de Gestão de Conservação de Pavimentos das Estradas de Portugal, S.A. – Balanço de uma Implementação Consolidada*. Estradas de Portugal, Almada.

JAE (1995). *Manual de Concepção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional*. Junta Autónoma de Estradas, Almada.

JAIN, S. S.; AGGARWAL, Sanjiv; PARIDA, M. (2005). *HDM-4 Pavement Deterioration Models for Indian National Highway Network*. Journal of Transportation Engineering, Volume 131, nº 8, págs. 623-631. American Society of Civil Engineers, Virginia.

MELO, Arnaldo; MIRANDA, Carlos; RIBEIRO, Jaime (1993). *Concepção/ Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários*. Instituto da Construção, Porto.

NCHRP (2004). *Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*. Applied Research Associates Inc., Illinois.

N.D. LEA INTERNATIONAL LTD. (1995). *Modelling Road Deterioration and Maintenance Effects in HDM-4*. RETA 5549-REG Highway Development and Management Research. Final Report. N.D. Lea International Ltd., Vancouver.

PATERSON, William D.O. (1987). *The Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-III). Volume III. Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management*. Transportation Department, World Bank, Washington.

PEREIRA, Paulo; MIRANDA, Valverde (1999). *Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários*. Universidade do Minho, Braga.

ROBERT, Bernard (2007). *Uni longitudinal des chaussées*. LCPC, Nantes. Acedido em http://media.lcpc.fr/ext/pdf/sem/2007_jtuni-5-03.pdf

SAYERS, Michael W.; GILLESPIE, Thomas D.; PATERSON, William D. O. (1986). *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*. World Bank technical paper number 46. The World Bank, Washington.

SILVA, Rita Justo Pereira (2012). *Contribuição para o desenvolvimento de modelos de previsão de fendilhamento de pavimentos rodoviários*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Caparica.

THE WORLD BANK (2008). *Deterioration of Bituminous Roads. HDM-4 Highway Development and Management*. Acedido em <http://siteresources.worldbank.org/INTROADSHIGHWAYS/Resources/338993-1115667319236/1095944-1229373148786/05HDM-4DeteriorationBituminousRoads2008-10-22.pdf>

THEYSE, Hechter L. (2008). *Revision of the South African Flexible Pavement Design Method. Project SAPDM-ILP. System Design: HDM4 Deterioration Models – Part 1. Pavement Models*. Pavement Modelling Corporation, Pretoria.

VEIGA, João Miguel Rodrigues da Costa (2012). *Modelos de previsão de deformação permanente de pavimentos rodoviários*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Caparica.

WATANATADA, Thawat; HARRAL, Clell G.; PATERSON, William D. O.; DHARESHWAR, Ashok M.; BHANDARI, Anil; TSOKAWA, Koji (1987). *The Highway Design and Maintenance Standards Model. Volume 1. Description of the HDM-III Model*. The Johns Hopkins University Press, Maryland.

Anexo A – Evolução da Irregularidade

Quadro A.1 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 0,5 \text{ m/km}$ (T5-F3-P4)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,81	0,52	0,67	0,60	0,69	0,67	0,63
2	0,89	1,82	0,55	0,71	0,62	0,73	0,71	0,66
3	0,94	1,83	0,57	0,74	0,64	0,77	0,75	0,70
4	0,99	1,84	0,60	0,78	0,66	0,80	0,79	0,73
5	1,04	1,85	0,64	0,81	0,68	0,84	0,84	0,77
6	1,10	1,86	0,69	0,85	0,70	0,88	0,88	0,81
7	1,16	1,88	0,74	0,89	0,72	0,92	0,93	0,85
8	1,23	1,89	0,80	0,94	0,74	0,98	0,99	0,91
9	1,29	1,90	0,86	1,00	0,76	1,05	1,07	0,98
10	1,36	1,92	0,92	1,09	0,79	1,13	1,16	1,07
11	1,44	1,93	0,99	1,20	0,81	1,25	1,27	1,17
12	1,52	1,95	1,07	1,33	0,83	1,38	1,41	1,30
13	1,60	1,97	1,15	1,50	0,86	1,55	1,57	1,46
14	1,69	1,99	1,23	1,67	0,88	1,74	1,75	1,64
15	1,79	2,00	1,32	1,86	0,91	1,92	1,93	1,80
16	1,89	2,02	1,42	2,02	0,94	2,10	2,09	1,96
17	1,99	2,05	1,52	2,18	0,96	2,24	2,24	2,11
18	2,10	2,07	1,63	2,38	0,99	2,38	2,39	2,25
19	2,22	2,09	1,74	2,51	1,02	2,52	2,52	2,39
20	2,34	2,11	1,86	2,63	1,05	2,66	2,65	2,51
21	2,47	2,14	1,99	2,75	1,08	2,79	2,78	2,64
22	2,61	2,17	2,13	2,88	1,11	2,93	2,91	2,77
23	2,75	2,19	2,27	3,02	1,14	3,08	3,05	2,90
24	2,90	2,22	2,42	3,16	1,17	3,23	3,19	3,05
25	3,06	2,26	2,58	3,31	1,21	3,39	3,34	3,20
26	3,23	2,29	2,75	3,47	1,24	3,56	3,50	3,35
27	3,41	2,32	2,92	3,63	1,27	3,74	3,66	3,52
28	3,60	2,36	3,10	3,81	1,31	3,93	3,83	3,69
29	3,80	2,40	3,29	3,99	1,34	4,13	4,01	3,87
30	4,01	2,44	3,49	4,18	1,38	4,34	4,19	4,06

Quadro A.2 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,0$ m/km (T5-F3-P4)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,81	1,04	1,19	1,10	1,20	1,19	1,14
2	0,89	1,82	1,08	1,24	1,12	1,26	1,24	1,19
3	0,94	1,83	1,12	1,29	1,14	1,31	1,30	1,24
4	0,99	1,84	1,17	1,34	1,16	1,37	1,36	1,29
5	1,04	1,85	1,23	1,39	1,18	1,42	1,42	1,35
6	1,10	1,86	1,30	1,45	1,20	1,48	1,48	1,41
7	1,16	1,88	1,37	1,50	1,22	1,53	1,54	1,46
8	1,23	1,89	1,45	1,57	1,24	1,61	1,62	1,54
9	1,29	1,90	1,53	1,65	1,26	1,70	1,72	1,63
10	1,36	1,92	1,62	1,76	1,29	1,81	1,83	1,74
11	1,44	1,93	1,71	1,89	1,31	1,94	1,97	1,87
12	1,52	1,95	1,81	2,04	1,33	2,10	2,12	2,02
13	1,60	1,97	1,91	2,23	1,36	2,28	2,30	2,19
14	1,69	1,99	2,02	2,43	1,38	2,50	2,51	2,39
15	1,79	2,00	2,14	2,64	1,41	2,70	2,70	2,58
16	1,89	2,02	2,26	2,83	1,44	2,90	2,89	2,77
17	1,99	2,05	2,39	3,00	1,46	3,06	3,07	2,94
18	2,10	2,07	2,52	3,23	1,49	3,23	3,24	3,10
19	2,22	2,09	2,66	3,39	1,52	3,40	3,40	3,26
20	2,34	2,11	2,82	3,53	1,55	3,56	3,56	3,41
21	2,47	2,14	2,98	3,68	1,58	3,72	3,71	3,57
22	2,61	2,17	3,14	3,84	1,61	3,89	3,87	3,72
23	2,75	2,19	3,32	4,01	1,64	4,06	4,04	3,89
24	2,90	2,22	3,51	4,18	1,67	4,25	4,21	4,06
25	3,06	2,26	3,70	4,36	1,71	4,44	4,39	4,24
26	3,23	2,29	3,90	4,55	1,74	4,64	4,58	4,43
27	3,41	2,32	4,11	4,74	1,77	4,85	4,77	4,63
28	3,60	2,36	4,34	4,95	1,81	5,07	4,97	4,83
29	3,80	2,40	4,57	5,17	1,84	5,31	5,19	5,05
30	4,01	2,44	4,81	5,39	1,88	5,55	5,41	5,27

Quadro A.3 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,5 \text{ m/km}$ (T5-F3-P4)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,81	1,56	1,70	1,60	1,72	1,70	1,66
2	0,89	1,82	1,62	1,77	1,62	1,79	1,77	1,72
3	0,94	1,83	1,68	1,84	1,64	1,86	1,84	1,79
4	0,99	1,84	1,75	1,90	1,66	1,93	1,92	1,86
5	1,04	1,85	1,83	1,97	1,68	2,00	1,99	1,93
6	1,10	1,86	1,91	2,04	1,70	2,07	2,07	2,00
7	1,16	1,88	2,01	2,12	1,72	2,15	2,16	2,08
8	1,23	1,89	2,11	2,21	1,74	2,24	2,26	2,17
9	1,29	1,90	2,21	2,30	1,76	2,35	2,37	2,28
10	1,36	1,92	2,32	2,43	1,79	2,48	2,50	2,41
11	1,44	1,93	2,44	2,58	1,81	2,63	2,66	2,56
12	1,52	1,95	2,56	2,76	1,83	2,81	2,83	2,73
13	1,60	1,97	2,69	2,96	1,86	3,02	3,04	2,93
14	1,69	1,99	2,82	3,19	1,88	3,25	3,27	3,15
15	1,79	2,00	2,96	3,42	1,91	3,48	3,48	3,36
16	1,89	2,02	3,11	3,63	1,94	3,70	3,69	3,57
17	1,99	2,05	3,27	3,83	1,96	3,89	3,90	3,77
18	2,10	2,07	3,43	4,08	1,99	4,08	4,09	3,96
19	2,22	2,09	3,61	4,26	2,02	4,28	4,28	4,14
20	2,34	2,11	3,79	4,44	2,05	4,46	4,46	4,32
21	2,47	2,14	3,98	4,61	2,08	4,65	4,64	4,50
22	2,61	2,17	4,18	4,80	2,11	4,85	4,83	4,68
23	2,75	2,19	4,40	4,99	2,14	5,05	5,02	4,88
24	2,90	2,22	4,62	5,19	2,17	5,26	5,23	5,08
25	3,06	2,26	4,85	5,40	2,21	5,49	5,44	5,29
26	3,23	2,29	5,09	5,62	2,24	5,72	5,65	5,51
27	3,41	2,32	5,34	5,85	2,27	5,96	5,88	5,74
28	3,60	2,36	5,61	6,09	2,31	6,22	6,12	5,98
29	3,80	2,40	5,88	6,34	2,34	6,48	6,36	6,23
30	4,01	2,44	6,16	6,61	2,38	6,76	6,62	6,49

Quadro A.4 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 0,5 \text{ m/km}$ (T5-F2-P7)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,81	0,52	0,67	0,61	0,69	0,67	0,63
2	0,89	1,82	0,54	0,71	0,63	0,73	0,71	0,66
3	0,94	1,83	0,57	0,74	0,66	0,77	0,75	0,69
4	0,99	1,84	0,60	0,78	0,67	0,80	0,79	0,73
5	1,04	1,85	0,64	0,81	0,69	0,84	0,83	0,77
6	1,10	1,86	0,69	0,85	0,71	0,88	0,88	0,80
7	1,16	1,87	0,74	0,88	0,73	0,92	0,92	0,85
8	1,23	1,89	0,80	0,93	0,75	0,97	0,98	0,90
9	1,29	1,90	0,86	0,99	0,78	1,04	1,06	0,97
10	1,36	1,91	0,92	1,08	0,80	1,12	1,15	1,05
11	1,44	1,93	0,99	1,18	0,82	1,23	1,26	1,16
12	1,52	1,94	1,06	1,32	0,85	1,37	1,39	1,29
13	1,60	1,96	1,14	1,48	0,87	1,53	1,55	1,44
14	1,69	1,98	1,23	1,66	0,90	1,72	1,73	1,62
15	1,79	1,99	1,32	1,85	0,92	1,91	1,91	1,79
16	1,89	2,01	1,41	2,02	0,95	2,08	2,08	1,95
17	1,99	2,03	1,51	2,17	0,98	2,23	2,23	2,10
18	2,10	2,05	1,62	2,32	1,00	2,37	2,38	2,25
19	2,22	2,07	1,73	2,45	1,03	2,51	2,52	2,39
20	2,34	2,10	1,85	2,63	1,06	2,65	2,66	2,52
21	2,47	2,12	1,98	2,76	1,09	2,78	2,79	2,65
22	2,61	2,15	2,12	2,89	1,12	2,93	2,93	2,78
23	2,75	2,17	2,27	3,03	1,15	3,08	3,07	2,93
24	2,90	2,20	2,42	3,18	1,18	3,23	3,22	3,07
25	3,06	2,23	2,58	3,34	1,22	3,40	3,38	3,23
26	3,23	2,26	2,75	3,50	1,25	3,57	3,54	3,39
27	3,41	2,29	2,93	3,68	1,28	3,75	3,71	3,57
28	3,60	2,33	3,12	3,86	1,32	3,95	3,89	3,75
29	3,80	2,36	3,32	4,05	1,35	4,15	4,08	3,94
30	4,01	2,40	3,52	4,25	1,39	4,36	4,27	4,14

Quadro A.5 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,0$ m/km (T5-F2-P7)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,81	1,04	1,19	1,11	1,20	1,18	1,14
2	0,89	1,82	1,08	1,24	1,13	1,26	1,24	1,19
3	0,94	1,83	1,12	1,29	1,16	1,31	1,29	1,24
4	0,99	1,84	1,17	1,34	1,17	1,36	1,35	1,29
5	1,04	1,85	1,23	1,39	1,19	1,42	1,41	1,35
6	1,10	1,86	1,30	1,44	1,21	1,47	1,47	1,40
7	1,16	1,87	1,37	1,50	1,23	1,53	1,54	1,46
8	1,23	1,89	1,45	1,56	1,25	1,60	1,62	1,53
9	1,29	1,90	1,53	1,64	1,28	1,69	1,71	1,62
10	1,36	1,91	1,61	1,75	1,30	1,80	1,82	1,73
11	1,44	1,93	1,71	1,88	1,32	1,92	1,95	1,85
12	1,52	1,94	1,80	2,03	1,35	2,08	2,10	2,00
13	1,60	1,96	1,91	2,21	1,37	2,26	2,28	2,17
14	1,69	1,98	2,01	2,41	1,40	2,48	2,49	2,37
15	1,79	1,99	2,13	2,62	1,42	2,68	2,69	2,57
16	1,89	2,01	2,25	2,82	1,45	2,88	2,88	2,75
17	1,99	2,03	2,38	3,00	1,48	3,05	3,06	2,93
18	2,10	2,05	2,51	3,17	1,50	3,23	3,23	3,10
19	2,22	2,07	2,66	3,32	1,53	3,39	3,40	3,26
20	2,34	2,10	2,81	3,53	1,56	3,55	3,56	3,42
21	2,47	2,12	2,97	3,69	1,59	3,71	3,72	3,58
22	2,61	2,15	3,14	3,85	1,62	3,88	3,89	3,74
23	2,75	2,17	3,32	4,02	1,65	4,06	4,06	3,91
24	2,90	2,20	3,51	4,20	1,68	4,25	4,24	4,09
25	3,06	2,23	3,70	4,39	1,72	4,44	4,42	4,28
26	3,23	2,26	3,91	4,58	1,75	4,65	4,62	4,47
27	3,41	2,29	4,13	4,79	1,78	4,86	4,82	4,68
28	3,60	2,33	4,36	5,00	1,82	5,09	5,03	4,89
29	3,80	2,36	4,59	5,23	1,85	5,33	5,25	5,12
30	4,01	2,40	4,84	5,46	1,89	5,57	5,49	5,35

Quadro A.6 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,5 \text{ m/km}$ (T5-F2-P7)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,81	1,56	1,70	1,61	1,72	1,70	1,66
2	0,89	1,82	1,62	1,77	1,63	1,79	1,77	1,72
3	0,94	1,83	1,68	1,83	1,66	1,86	1,84	1,79
4	0,99	1,84	1,75	1,90	1,67	1,93	1,91	1,85
5	1,04	1,85	1,83	1,97	1,69	2,00	1,99	1,93
6	1,10	1,86	1,91	2,04	1,71	2,07	2,07	2,00
7	1,16	1,87	2,01	2,11	1,73	2,15	2,15	2,07
8	1,23	1,89	2,10	2,20	1,75	2,24	2,25	2,17
9	1,29	1,90	2,21	2,30	1,78	2,34	2,36	2,27
10	1,36	1,91	2,32	2,42	1,80	2,47	2,49	2,40
11	1,44	1,93	2,43	2,57	1,82	2,62	2,64	2,54
12	1,52	1,94	2,55	2,74	1,85	2,79	2,82	2,71
13	1,60	1,96	2,68	2,95	1,87	3,00	3,02	2,91
14	1,69	1,98	2,81	3,17	1,90	3,23	3,25	3,13
15	1,79	1,99	2,96	3,40	1,92	3,46	3,47	3,34
16	1,89	2,01	3,11	3,62	1,95	3,69	3,68	3,55
17	1,99	2,03	3,26	3,83	1,98	3,88	3,89	3,76
18	2,10	2,05	3,43	4,02	2,00	4,08	4,09	3,95
19	2,22	2,07	3,60	4,20	2,03	4,26	4,28	4,14
20	2,34	2,10	3,78	4,44	2,06	4,45	4,47	4,32
21	2,47	2,12	3,98	4,62	2,09	4,64	4,65	4,51
22	2,61	2,15	4,18	4,81	2,12	4,84	4,84	4,70
23	2,75	2,17	4,39	5,01	2,15	5,05	5,05	4,90
24	2,90	2,20	4,62	5,22	2,18	5,26	5,25	5,11
25	3,06	2,23	4,85	5,43	2,22	5,49	5,47	5,32
26	3,23	2,26	5,10	5,66	2,25	5,73	5,70	5,55
27	3,41	2,29	5,36	5,90	2,28	5,97	5,93	5,79
28	3,60	2,33	5,63	6,15	2,32	6,23	6,18	6,04
29	3,80	2,36	5,91	6,41	2,35	6,50	6,43	6,29
30	4,01	2,40	6,20	6,68	2,39	6,79	6,70	6,56

Quadro A.7 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 0,5 \text{ m/km}$ (T3-F3-P9)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,82	0,53	0,67	0,60	0,71	0,69	0,64
2	0,89	1,84	0,55	0,71	0,63	0,76	0,75	0,69
3	0,94	1,86	0,59	0,76	0,65	0,81	0,81	0,73
4	0,99	1,89	0,63	0,80	0,67	0,87	0,87	0,78
5	1,04	1,91	0,71	0,84	0,69	0,92	0,94	0,84
6	1,10	1,94	0,80	0,90	0,72	0,99	1,02	0,90
7	1,16	1,97	0,90	0,96	0,74	1,08	1,11	0,98
8	1,23	1,99	1,02	1,06	0,76	1,19	1,22	1,08
9	1,29	2,03	1,15	1,18	0,78	1,33	1,35	1,21
10	1,36	2,06	1,29	1,33	0,81	1,47	1,50	1,35
11	1,44	2,09	1,45	1,51	0,83	1,66	1,68	1,53
12	1,52	2,13	1,62	1,74	0,86	1,89	1,89	1,73
13	1,60	2,17	1,80	1,97	0,89	2,12	2,10	1,94
14	1,69	2,21	1,99	2,19	0,91	2,36	2,31	2,15
15	1,79	2,26	2,19	2,40	0,94	2,60	2,52	2,36
16	1,89	2,30	2,39	2,61	0,97	2,82	2,71	2,56
17	1,99	2,35	2,60	2,79	1,00	3,07	2,90	2,76
18	2,10	2,41	2,81	2,97	1,03	3,30	3,08	2,96
19	2,22	2,46	3,02	3,30	1,06	3,54	3,26	3,16
20	2,34	2,52	3,22	3,52	1,09	3,79	3,45	3,38
21	2,47	2,59	3,42	3,75	1,12	4,05	3,65	3,61
22	2,61	2,66	3,63	4,00	1,16	4,34	3,87	3,85
23	2,75	2,73	3,86	4,26	1,19	4,64	4,14	4,10
24	2,90	2,81	4,10	4,53	1,22	4,97	4,42	4,38
25	3,06	2,89	4,36	4,83	1,26	5,31	4,72	4,67
26	3,23	2,98	4,63	5,15	1,29	5,68	5,04	4,97
27	3,41	3,08	4,93	5,49	1,33	6,07	5,39	5,30
28	3,60	3,18	5,24	5,85	1,36	6,47	5,75	5,65
29	3,80	3,29	5,58	6,23	1,40	6,91	6,14	6,02
30	4,01	3,41	5,94	6,64	1,44	7,37	6,56	6,42

Quadro A.8 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,0$ m/km (T3-F3-P9)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,82	1,04	1,19	1,10	1,22	1,21	1,16
2	0,89	1,84	1,09	1,24	1,13	1,29	1,28	1,22
3	0,94	1,86	1,14	1,30	1,15	1,36	1,36	1,28
4	0,99	1,89	1,20	1,36	1,17	1,43	1,44	1,35
5	1,04	1,91	1,30	1,42	1,19	1,50	1,52	1,42
6	1,10	1,94	1,40	1,49	1,22	1,59	1,61	1,50
7	1,16	1,97	1,52	1,58	1,24	1,70	1,72	1,60
8	1,23	1,99	1,66	1,69	1,26	1,83	1,85	1,72
9	1,29	2,03	1,80	1,83	1,28	1,98	2,00	1,86
10	1,36	2,06	1,96	2,00	1,31	2,14	2,17	2,02
11	1,44	2,09	2,14	2,20	1,33	2,35	2,37	2,22
12	1,52	2,13	2,33	2,45	1,36	2,60	2,61	2,45
13	1,60	2,17	2,53	2,70	1,39	2,86	2,84	2,68
14	1,69	2,21	2,75	2,95	1,41	3,12	3,07	2,91
15	1,79	2,26	2,97	3,18	1,44	3,38	3,29	3,14
16	1,89	2,30	3,19	3,41	1,47	3,63	3,51	3,37
17	1,99	2,35	3,42	3,62	1,50	3,89	3,73	3,59
18	2,10	2,41	3,66	3,82	1,53	4,15	3,93	3,81
19	2,22	2,46	3,89	4,18	1,56	4,41	4,14	4,04
20	2,34	2,52	4,12	4,42	1,59	4,69	4,36	4,28
21	2,47	2,59	4,35	4,68	1,62	4,98	4,58	4,54
22	2,61	2,66	4,59	4,95	1,66	5,30	4,83	4,80
23	2,75	2,73	4,85	5,24	1,69	5,63	5,13	5,09
24	2,90	2,81	5,13	5,55	1,72	5,98	5,44	5,39
25	3,06	2,89	5,42	5,88	1,76	6,36	5,77	5,71
26	3,23	2,98	5,73	6,23	1,79	6,76	6,12	6,05
27	3,41	3,08	6,06	6,60	1,83	7,18	6,50	6,41
28	3,60	3,18	6,41	6,99	1,86	7,62	6,90	6,79
29	3,80	3,29	6,79	7,41	1,90	8,09	7,32	7,20
30	4,01	3,41	7,19	7,85	1,94	8,59	7,77	7,63

Quadro A.9 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,5 \text{ m/km}$ (T3-F3-P9)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,82	1,56	1,70	1,60	1,74	1,72	1,67
2	0,89	1,84	1,63	1,77	1,63	1,82	1,81	1,75
3	0,94	1,86	1,69	1,85	1,65	1,91	1,91	1,83
4	0,99	1,89	1,78	1,92	1,67	1,99	2,00	1,91
5	1,04	1,91	1,89	2,00	1,69	2,08	2,10	2,00
6	1,10	1,94	2,01	2,09	1,72	2,19	2,21	2,10
7	1,16	1,97	2,15	2,19	1,74	2,31	2,34	2,21
8	1,23	1,99	2,30	2,32	1,76	2,46	2,49	2,35
9	1,29	2,03	2,47	2,48	1,78	2,64	2,65	2,51
10	1,36	2,06	2,65	2,67	1,81	2,81	2,85	2,70
11	1,44	2,09	2,85	2,90	1,83	3,04	3,07	2,91
12	1,52	2,13	3,06	3,16	1,86	3,31	3,32	3,16
13	1,60	2,17	3,28	3,44	1,89	3,59	3,57	3,41
14	1,69	2,21	3,52	3,70	1,91	3,88	3,83	3,67
15	1,79	2,26	3,77	3,96	1,94	4,16	4,07	3,92
16	1,89	2,30	4,02	4,21	1,97	4,43	4,31	4,17
17	1,99	2,35	4,27	4,45	2,00	4,72	4,55	4,42
18	2,10	2,41	4,53	4,67	2,03	5,00	4,79	4,67
19	2,22	2,46	4,80	5,06	2,06	5,29	5,02	4,92
20	2,34	2,52	5,06	5,33	2,09	5,59	5,26	5,18
21	2,47	2,59	5,32	5,61	2,12	5,92	5,51	5,47
22	2,61	2,66	5,59	5,91	2,16	6,26	5,79	5,76
23	2,75	2,73	5,89	6,23	2,19	6,62	6,11	6,08
24	2,90	2,81	6,20	6,57	2,22	7,00	6,45	6,41
25	3,06	2,89	6,52	6,93	2,26	7,41	6,82	6,76
26	3,23	2,98	6,87	7,30	2,29	7,84	7,20	7,13
27	3,41	3,08	7,24	7,71	2,33	8,30	7,61	7,52
28	3,60	3,18	7,63	8,13	2,36	8,76	8,04	7,94
29	3,80	3,29	8,05	8,59	2,40	9,26	8,50	8,38
30	4,01	3,41	8,49	9,07	2,44	9,80	8,99	8,84

Quadro A.10 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 0,5 \text{ m/km}$ (T3-F2-P13)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,82	0,53	0,67	0,61	0,71	0,69	0,64
2	0,89	1,84	0,55	0,71	0,64	0,76	0,75	0,68
3	0,94	1,86	0,58	0,75	0,66	0,81	0,81	0,73
4	0,99	1,88	0,63	0,79	0,68	0,86	0,87	0,78
5	1,04	1,91	0,71	0,84	0,70	0,92	0,93	0,83
6	1,10	1,93	0,79	0,89	0,72	0,99	1,01	0,89
7	1,16	1,96	0,90	0,95	0,75	1,07	1,10	0,97
8	1,23	1,99	1,01	1,04	0,77	1,18	1,21	1,07
9	1,29	2,01	1,14	1,16	0,79	1,31	1,33	1,19
10	1,36	2,05	1,28	1,31	0,82	1,44	1,48	1,33
11	1,44	2,08	1,44	1,49	0,84	1,63	1,66	1,50
12	1,52	2,11	1,61	1,71	0,87	1,86	1,86	1,70
13	1,60	2,15	1,80	1,94	0,89	2,10	2,08	1,92
14	1,69	2,19	1,99	2,18	0,92	2,35	2,30	2,14
15	1,79	2,23	2,20	2,40	0,95	2,59	2,51	2,35
16	1,89	2,28	2,41	2,61	0,98	2,83	2,72	2,57
17	1,99	2,32	2,62	2,82	1,00	3,06	2,92	2,78
18	2,10	2,37	2,84	3,00	1,03	3,28	3,11	2,99
19	2,22	2,43	3,06	3,20	1,06	3,52	3,31	3,20
20	2,34	2,48	3,27	3,41	1,10	3,78	3,51	3,43
21	2,47	2,54	3,48	3,80	1,13	4,05	3,72	3,67
22	2,61	2,61	3,71	4,06	1,16	4,34	3,95	3,93
23	2,75	2,68	3,95	4,33	1,19	4,66	4,23	4,20
24	2,90	2,75	4,21	4,63	1,23	4,99	4,53	4,49
25	3,06	2,83	4,48	4,94	1,26	5,35	4,85	4,80
26	3,23	2,91	4,78	5,28	1,29	5,73	5,20	5,13
27	3,41	3,00	5,09	5,64	1,33	6,14	5,56	5,48
28	3,60	3,10	5,43	6,02	1,37	6,55	5,95	5,85
29	3,80	3,20	5,79	6,43	1,40	7,01	6,37	6,25
30	4,01	3,31	6,17	6,87	1,44	7,49	6,81	6,68

Quadro A.11 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,0$ m/km (T3-F2-P13)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,82	1,04	1,18	1,11	1,22	1,21	1,15
2	0,89	1,84	1,09	1,24	1,14	1,29	1,28	1,21
3	0,94	1,86	1,14	1,30	1,16	1,36	1,36	1,28
4	0,99	1,88	1,20	1,36	1,18	1,43	1,43	1,34
5	1,04	1,91	1,29	1,41	1,20	1,50	1,51	1,41
6	1,10	1,93	1,40	1,49	1,22	1,58	1,61	1,49
7	1,16	1,96	1,52	1,57	1,25	1,69	1,71	1,59
8	1,23	1,99	1,65	1,68	1,27	1,81	1,84	1,70
9	1,29	2,01	1,80	1,81	1,29	1,96	1,98	1,84
10	1,36	2,05	1,96	1,98	1,32	2,11	2,15	2,00
11	1,44	2,08	2,13	2,18	1,34	2,32	2,35	2,19
12	1,52	2,11	2,32	2,42	1,37	2,57	2,58	2,42
13	1,60	2,15	2,53	2,68	1,39	2,83	2,81	2,65
14	1,69	2,19	2,75	2,93	1,42	3,10	3,05	2,89
15	1,79	2,23	2,97	3,18	1,45	3,37	3,29	3,13
16	1,89	2,28	3,20	3,42	1,48	3,63	3,52	3,37
17	1,99	2,32	3,44	3,64	1,50	3,88	3,74	3,61
18	2,10	2,37	3,68	3,85	1,53	4,13	3,96	3,84
19	2,22	2,43	3,93	4,08	1,56	4,40	4,18	4,08
20	2,34	2,48	4,17	4,31	1,60	4,68	4,41	4,33
21	2,47	2,54	4,41	4,73	1,63	4,98	4,65	4,60
22	2,61	2,61	4,67	5,01	1,66	5,30	4,91	4,89
23	2,75	2,68	4,94	5,32	1,69	5,64	5,22	5,19
24	2,90	2,75	5,23	5,64	1,73	6,01	5,55	5,51
25	3,06	2,83	5,54	5,99	1,76	6,40	5,90	5,85
26	3,23	2,91	5,87	6,36	1,79	6,81	6,27	6,21
27	3,41	3,00	6,22	6,75	1,83	7,25	6,67	6,59
28	3,60	3,10	6,59	7,17	1,87	7,69	7,10	7,00
29	3,80	3,20	6,99	7,61	1,90	8,18	7,55	7,43
30	4,01	3,31	7,42	8,09	1,94	8,70	8,03	7,89

Quadro A.12 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,5 \text{ m/km}$ (T3-F2-P13)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,82	1,56	1,70	1,61	1,74	1,72	1,67
2	0,89	1,84	1,62	1,77	1,64	1,82	1,81	1,74
3	0,94	1,86	1,69	1,84	1,66	1,90	1,90	1,82
4	0,99	1,88	1,77	1,92	1,68	1,99	2,00	1,91
5	1,04	1,91	1,88	1,99	1,70	2,08	2,09	1,99
6	1,10	1,93	2,01	2,08	1,72	2,18	2,20	2,09
7	1,16	1,96	2,15	2,18	1,75	2,30	2,33	2,20
8	1,23	1,99	2,30	2,31	1,77	2,44	2,47	2,34
9	1,29	2,01	2,46	2,46	1,79	2,62	2,64	2,49
10	1,36	2,05	2,64	2,65	1,82	2,79	2,83	2,67
11	1,44	2,08	2,84	2,87	1,84	3,01	3,04	2,88
12	1,52	2,11	3,05	3,13	1,87	3,28	3,29	3,13
13	1,60	2,15	3,28	3,41	1,89	3,56	3,55	3,38
14	1,69	2,19	3,52	3,69	1,92	3,86	3,81	3,65
15	1,79	2,23	3,77	3,96	1,95	4,15	4,07	3,91
16	1,89	2,28	4,03	4,22	1,98	4,43	4,32	4,17
17	1,99	2,32	4,29	4,47	2,00	4,71	4,57	4,43
18	2,10	2,37	4,56	4,71	2,03	4,98	4,81	4,69
19	2,22	2,43	4,84	4,95	2,06	5,27	5,06	4,96
20	2,34	2,48	5,11	5,22	2,10	5,58	5,31	5,24
21	2,47	2,54	5,38	5,66	2,13	5,91	5,58	5,53
22	2,61	2,61	5,67	5,97	2,16	6,26	5,87	5,84
23	2,75	2,68	5,97	6,31	2,19	6,63	6,21	6,17
24	2,90	2,75	6,30	6,66	2,23	7,03	6,57	6,52
25	3,06	2,83	6,64	7,04	2,26	7,44	6,95	6,89
26	3,23	2,91	7,01	7,44	2,29	7,89	7,35	7,28
27	3,41	3,00	7,40	7,86	2,33	8,36	7,78	7,70
28	3,60	3,10	7,81	8,31	2,37	8,84	8,24	8,14
29	3,80	3,20	8,25	8,79	2,40	9,36	8,73	8,61
30	4,01	3,31	8,71	9,30	2,44	9,92	9,24	9,10

Quadro A.13 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 0,5 \text{ m/km}$ (T1-F3-P14)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,84	0,54	0,68	0,61	0,77	0,75	0,68
2	0,89	1,88	0,57	0,74	0,64	0,88	0,86	0,77
3	0,94	1,93	0,62	0,80	0,66	0,95	0,97	0,88
4	0,99	1,98	0,72	0,88	0,68	1,07	1,10	1,00
5	1,04	2,04	0,87	0,98	0,70	1,23	1,24	1,14
6	1,10	2,09	1,06	1,12	0,73	1,43	1,39	1,31
7	1,16	2,16	1,28	1,28	0,75	1,67	1,56	1,51
8	1,23	2,22	1,55	1,50	0,77	1,97	1,75	1,74
9	1,29	2,30	1,84	1,76	0,80	2,21	1,97	2,01
10	1,36	2,37	2,13	2,05	0,82	2,56	2,19	2,29
11	1,44	2,46	2,41	2,35	0,85	2,94	2,50	2,59
12	1,52	2,55	2,65	2,65	0,88	3,33	2,82	2,91
13	1,60	2,65	2,86	2,95	0,90	3,78	3,14	3,23
14	1,69	2,75	3,08	3,25	0,93	4,24	3,48	3,56
15	1,79	2,87	3,33	3,53	0,96	4,70	3,84	3,91
16	1,89	2,99	3,59	3,84	0,99	5,18	4,21	4,29
17	1,99	3,13	3,88	4,48	1,02	5,71	4,61	4,71
18	2,10	3,27	4,18	4,87	1,05	6,30	5,05	5,16
19	2,22	3,43	4,52	5,30	1,09	6,94	5,52	5,66
20	2,34	3,61	4,88	5,77	1,12	7,63	6,02	6,19
21	2,47	3,80	5,27	6,27	1,15	8,37	6,57	6,77
22	2,61	4,01	5,69	6,81	1,19	9,16	7,16	7,40
23	2,75	4,24	6,15	7,39	1,22	10,02	7,80	8,07
24	2,90	4,49	6,64	8,03	1,26	10,95	8,49	8,80
25	3,06	4,77	7,18	8,71	1,29	11,94	9,23	9,58
26	3,23	5,08	7,76	9,45	1,33	13,01	10,04	10,43
27	3,41	5,42	8,38	10,25	1,37	14,16	10,91	11,34
28	3,60	5,80	9,06	11,11	1,40	15,40	11,84	12,33
29	3,80	6,22	9,79	11,54	1,44	16,73	12,86	13,39
30	4,01	6,69	10,58	11,54	1,48	18,16	13,95	14,54

Quadro A.14 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,0$ m/km (T1-F3-P14)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,84	1,05	1,20	1,11	1,28	1,26	1,20
2	0,89	1,88	1,11	1,27	1,14	1,41	1,39	1,30
3	0,94	1,93	1,17	1,35	1,16	1,49	1,52	1,42
4	0,99	1,98	1,28	1,44	1,18	1,64	1,66	1,56
5	1,04	2,04	1,45	1,56	1,20	1,81	1,82	1,72
6	1,10	2,09	1,65	1,71	1,23	2,02	1,99	1,91
7	1,16	2,16	1,88	1,90	1,25	2,28	2,18	2,12
8	1,23	2,22	2,16	2,13	1,27	2,60	2,39	2,37
9	1,29	2,30	2,46	2,41	1,30	2,86	2,62	2,66
10	1,36	2,37	2,77	2,72	1,32	3,23	2,86	2,96
11	1,44	2,46	3,06	3,04	1,35	3,63	3,19	3,29
12	1,52	2,55	3,32	3,37	1,38	4,04	3,53	3,62
13	1,60	2,65	3,55	3,69	1,40	4,51	3,88	3,96
14	1,69	2,75	3,80	4,01	1,43	4,99	4,24	4,32
15	1,79	2,87	4,07	4,31	1,46	5,47	4,62	4,69
16	1,89	2,99	4,36	4,64	1,49	5,98	5,01	5,09
17	1,99	3,13	4,66	5,30	1,52	6,54	5,44	5,53
18	2,10	3,27	5,00	5,72	1,55	7,16	5,90	6,01
19	2,22	3,43	5,36	6,18	1,59	7,82	6,39	6,54
20	2,34	3,61	5,74	6,67	1,62	8,53	6,93	7,10
21	2,47	3,80	6,16	7,20	1,65	9,30	7,50	7,70
22	2,61	4,01	6,61	7,77	1,69	10,12	8,12	8,35
23	2,75	4,24	7,10	8,38	1,72	11,01	8,79	9,06
24	2,90	4,49	7,62	9,04	1,76	11,96	9,51	9,81
25	3,06	4,77	8,18	9,76	1,79	12,99	10,28	10,63
26	3,23	5,08	8,79	10,53	1,83	14,09	11,12	11,51
27	3,41	5,42	9,45	11,36	1,87	15,27	12,02	12,45
28	3,60	5,80	10,16	11,54	1,90	16,54	12,99	13,47
29	3,80	6,22	10,93	11,54	1,94	17,91	14,04	14,57
30	4,01	6,69	11,75	11,54	1,98	19,38	15,16	15,75

Quadro A.15 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,5 \text{ m/km}$ (T1-F3-P14)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,84	1,57	1,71	1,61	1,80	1,78	1,71
2	0,89	1,88	1,64	1,80	1,64	1,94	1,92	1,83
3	0,94	1,93	1,72	1,89	1,66	2,04	2,07	1,97
4	0,99	1,98	1,85	2,01	1,68	2,20	2,22	2,12
5	1,04	2,04	2,03	2,14	1,70	2,39	2,40	2,30
6	1,10	2,09	2,25	2,31	1,73	2,62	2,59	2,51
7	1,16	2,16	2,50	2,51	1,75	2,90	2,79	2,74
8	1,23	2,22	2,79	2,76	1,77	3,24	3,02	3,01
9	1,29	2,30	3,11	3,06	1,80	3,51	3,27	3,31
10	1,36	2,37	3,43	3,39	1,82	3,90	3,53	3,64
11	1,44	2,46	3,75	3,74	1,85	4,32	3,88	3,98
12	1,52	2,55	4,03	4,08	1,88	4,76	4,24	4,33
13	1,60	2,65	4,28	4,42	1,90	5,25	4,61	4,70
14	1,69	2,75	4,55	4,76	1,93	5,75	5,00	5,07
15	1,79	2,87	4,84	5,09	1,96	6,25	5,39	5,47
16	1,89	2,99	5,15	5,45	1,99	6,79	5,81	5,90
17	1,99	3,13	5,49	6,13	2,02	7,37	6,26	6,36
18	2,10	3,27	5,85	6,57	2,05	8,01	6,75	6,87
19	2,22	3,43	6,23	7,06	2,09	8,70	7,27	7,41
20	2,34	3,61	6,65	7,57	2,12	9,43	7,83	8,00
21	2,47	3,80	7,09	8,13	2,15	10,23	8,43	8,63
22	2,61	4,01	7,57	8,72	2,19	11,08	9,08	9,31
23	2,75	4,24	8,09	9,37	2,22	12,00	9,77	10,04
24	2,90	4,49	8,64	10,06	2,26	12,98	10,52	10,83
25	3,06	4,77	9,24	10,80	2,29	14,03	11,33	11,68
26	3,23	5,08	9,88	11,54	2,33	15,17	12,20	12,59
27	3,41	5,42	10,57	11,54	2,37	16,38	13,13	13,56
28	3,60	5,80	11,32	11,54	2,40	17,69	14,13	14,62
29	3,80	6,22	12,12	11,54	2,44	19,09	15,21	15,75
30	4,01	6,69	12,98	11,54	2,48	20,59	16,38	16,97

Quadro A.16 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 0,5 \text{ m/km}$ (T1-F2-P16)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,84	0,54	0,68	0,61	0,77	0,75	0,68
2	0,89	1,88	0,57	0,73	0,64	0,88	0,85	0,77
3	0,94	1,93	0,61	0,80	0,66	0,94	0,97	0,87
4	0,99	1,97	0,71	0,87	0,68	1,06	1,09	0,99
5	1,04	2,03	0,86	0,97	0,70	1,22	1,23	1,13
6	1,10	2,08	1,05	1,10	0,73	1,41	1,38	1,30
7	1,16	2,14	1,27	1,26	0,75	1,65	1,54	1,49
8	1,23	2,20	1,54	1,47	0,77	1,94	1,73	1,72
9	1,29	2,27	1,83	1,74	0,79	2,18	1,95	1,99
10	1,36	2,34	2,13	2,03	0,82	2,53	2,17	2,27
11	1,44	2,42	2,42	2,35	0,84	2,93	2,50	2,59
12	1,52	2,51	2,68	2,67	0,87	3,34	2,83	2,92
13	1,60	2,60	2,90	2,99	0,90	3,76	3,17	3,26
14	1,69	2,70	3,14	3,31	0,92	4,23	3,53	3,61
15	1,79	2,81	3,40	3,61	0,95	4,71	3,91	3,99
16	1,89	2,92	3,69	3,94	0,98	5,21	4,30	4,39
17	1,99	3,05	3,99	4,30	1,01	5,76	4,73	4,83
18	2,10	3,19	4,32	4,68	1,04	6,36	5,19	5,31
19	2,22	3,34	4,68	5,43	1,07	7,02	5,69	5,84
20	2,34	3,50	5,06	5,93	1,10	7,73	6,23	6,41
21	2,47	3,68	5,48	6,46	1,13	8,49	6,81	7,02
22	2,61	3,87	5,94	7,05	1,17	9,31	7,44	7,68
23	2,75	4,09	6,43	7,67	1,20	10,20	8,12	8,40
24	2,90	4,32	6,96	8,35	1,23	11,16	8,86	9,18
25	3,06	4,58	7,53	9,09	1,27	12,19	9,65	10,01
26	3,23	4,86	8,16	9,88	1,31	13,30	10,51	10,92
27	3,41	5,17	8,83	10,74	1,34	14,49	11,44	11,90
28	3,60	5,51	9,56	11,54	1,38	15,78	12,45	12,95
29	3,80	5,90	10,35	11,54	1,41	17,17	13,54	14,09
30	4,01	6,32	11,21	11,54	1,45	18,66	14,71	15,32

Quadro A.17 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,0$ m/km (T1-F2-P16)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,84	1,05	1,19	1,11	1,28	1,26	1,20
2	0,89	1,88	1,11	1,26	1,14	1,41	1,38	1,30
3	0,94	1,93	1,16	1,34	1,16	1,49	1,51	1,42
4	0,99	1,97	1,28	1,43	1,18	1,63	1,65	1,55
5	1,04	2,03	1,44	1,55	1,20	1,80	1,81	1,71
6	1,10	2,08	1,64	1,70	1,23	2,00	1,97	1,89
7	1,16	2,14	1,87	1,88	1,25	2,26	2,16	2,11
8	1,23	2,20	2,15	2,11	1,27	2,58	2,37	2,35
9	1,29	2,27	2,46	2,39	1,29	2,83	2,60	2,64
10	1,36	2,34	2,78	2,70	1,32	3,21	2,84	2,94
11	1,44	2,42	3,08	3,04	1,34	3,62	3,19	3,28
12	1,52	2,51	3,36	3,38	1,37	4,05	3,54	3,63
13	1,60	2,60	3,60	3,72	1,40	4,50	3,91	3,99
14	1,69	2,70	3,86	4,06	1,42	4,99	4,29	4,37
15	1,79	2,81	4,14	4,39	1,45	5,49	4,68	4,77
16	1,89	2,92	4,45	4,74	1,48	6,01	5,10	5,19
17	1,99	3,05	4,78	5,12	1,51	6,58	5,55	5,65
18	2,10	3,19	5,13	5,53	1,54	7,21	6,04	6,16
19	2,22	3,34	5,51	6,31	1,57	7,90	6,56	6,71
20	2,34	3,50	5,93	6,83	1,60	8,63	7,13	7,31
21	2,47	3,68	6,37	7,40	1,63	9,42	7,74	7,95
22	2,61	3,87	6,85	8,00	1,67	10,27	8,40	8,64
23	2,75	4,09	7,37	8,66	1,70	11,19	9,11	9,39
24	2,90	4,32	7,93	9,37	1,73	12,17	9,87	10,19
25	3,06	4,58	8,54	10,13	1,77	13,23	10,70	11,06
26	3,23	4,86	9,19	10,96	1,81	14,38	11,59	12,00
27	3,41	5,17	9,89	11,54	1,84	15,60	12,56	13,01
28	3,60	5,51	10,66	11,54	1,88	16,92	13,59	14,09
29	3,80	5,90	11,48	11,54	1,91	18,34	14,71	15,27
30	4,01	6,32	12,37	11,54	1,95	19,87	15,92	16,53

Quadro A.18 – Evolução da irregularidade, com $IRI_0 = 1,5 \text{ m/km}$ (T1-F2-P16)

t (anos)	Irregularidade no final do ano t, IRI_t (m/km)							
	Dubai	Costa Rica	Indiano	HDM-III	MEPDG	HDM-4	HDM-4 Australiano	HDM-4 Sul-Africano
1	0,84	1,84	1,57	1,71	1,61	1,80	1,78	1,71
2	0,89	1,88	1,64	1,79	1,64	1,94	1,91	1,83
3	0,94	1,93	1,72	1,89	1,66	2,03	2,06	1,96
4	0,99	1,97	1,85	2,00	1,68	2,19	2,22	2,12
5	1,04	2,03	2,02	2,13	1,70	2,38	2,39	2,29
6	1,10	2,08	2,24	2,29	1,73	2,60	2,57	2,49
7	1,16	2,14	2,49	2,49	1,75	2,88	2,77	2,72
8	1,23	2,20	2,78	2,74	1,77	3,21	3,00	2,98
9	1,29	2,27	3,11	3,04	1,79	3,48	3,25	3,29
10	1,36	2,34	3,44	3,38	1,82	3,88	3,51	3,62
11	1,44	2,42	3,76	3,73	1,84	4,32	3,88	3,98
12	1,52	2,51	4,06	4,09	1,87	4,77	4,26	4,34
13	1,60	2,60	4,32	4,46	1,90	5,23	4,64	4,73
14	1,69	2,70	4,61	4,82	1,92	5,75	5,04	5,13
15	1,79	2,81	4,92	5,17	1,95	6,27	5,46	5,54
16	1,89	2,92	5,24	5,55	1,98	6,81	5,90	5,99
17	1,99	3,05	5,60	5,95	2,01	7,41	6,38	6,48
18	2,10	3,19	5,98	6,39	2,04	8,07	6,89	7,01
19	2,22	3,34	6,39	7,19	2,07	8,77	7,44	7,59
20	2,34	3,50	6,83	7,73	2,10	9,53	8,03	8,21
21	2,47	3,68	7,30	8,33	2,13	10,35	8,67	8,88
22	2,61	3,87	7,81	8,96	2,17	11,23	9,36	9,60
23	2,75	4,09	8,36	9,65	2,20	12,18	10,09	10,38
24	2,90	4,32	8,95	10,38	2,23	13,19	10,89	11,21
25	3,06	4,58	9,59	11,18	2,27	14,28	11,75	12,11
26	3,23	4,86	10,27	11,54	2,31	15,45	12,67	13,08
27	3,41	5,17	11,01	11,54	2,34	16,71	13,67	14,12
28	3,60	5,51	11,81	11,54	2,38	18,07	14,74	15,24
29	3,80	5,90	12,67	11,54	2,41	19,52	15,89	16,45
30	4,01	6,32	13,59	11,54	2,45	21,09	17,14	17,75

Anexo B – Cálculos Auxiliares

Quadro B.1 – Número estrutural da AASHTO e número estrutural modificado

Estrutura de pavimento	a			h (mm)			CBR (%)		SN	SNC
	SbG	MB	BD	SbG	MB	BD	F2	F3		
P4	0,11	0,34	0,44	200	140	40	-	20	3,43	5,13
P7	0,11	0,34	0,44	200	180	40	10	-	3,97	5,67
P9	0,11	0,34	0,44	200	190	50	-	20	4,28	5,97
P13	0,11	0,34	0,44	200	230	50	10	-	4,81	6,51
P14	0,11	0,34	0,44	200	220	60	-	20	4,85	6,55
P16	0,11	0,34	0,44	200	260	60	10	-	5,39	7,08

Quadro B.2 – Cálculos auxiliares para o modelo Indiano (T5-F3-P4)

t (anos)	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔAPT (%)	ΔAPH (%)
1	0,328500	5,13	0,0	0,0	0,0	n/a	n/a
2	0,338355	5,13	0,0	0,0	0,0		
3	0,348506	5,13	0,0	0,0	0,0		
4	0,358961	5,10	2,0	2,0	0,3		
5	0,369730	5,10	2,3	2,3	1,5		
6	0,380822	5,08	3,8	3,8	1,7		
7	0,392246	5,06	5,5	5,5	1,9		
8	0,404014	5,03	7,4	7,4	2,1		
9	0,416134	5,00	9,6	9,6	2,3		
10	0,428618	4,97	11,9	11,9	2,5		
11	0,441477	4,94	14,4	14,4	2,6		
12	0,454721	4,90	17,0	17,0	2,8		
13	0,468362	4,86	19,8	19,8	2,9		
14	0,482413	4,82	22,7	22,7	3,0		
15	0,496886	4,78	25,7	25,7	3,2		
16	0,511792	4,74	28,9	28,9	3,3		
17	0,527146	4,69	32,2	32,2	3,4		
18	0,542960	4,65	35,6	35,6	3,5		
19	0,559249	4,60	39,1	39,1	3,6		
20	0,576027	4,55	42,7	42,7	3,7		
21	0,593308	4,50	46,4	46,4	3,8		
22	0,611107	4,45	50,2	50,2	3,9		
23	0,629440	4,39	54,1	54,1	3,8		
24	0,648323	4,34	58,0	58,0	3,7		
25	0,667773	4,29	61,7	61,7	3,6		
26	0,687806	4,27	65,3	65,3	3,5		
27	0,708440	4,27	68,7	68,7	3,4		
28	0,729693	4,27	72,1	72,1	3,2		
29	0,751584	4,27	75,4	75,4	3,1		
30	0,774132	4,27	78,5	78,5	3,0		

Quadro B.3 – Cálculos auxiliares para o modelo Indiano (T5-F2-P7)

t (anos)	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔAPT (%)	ΔAPH (%)
1	0,328500	5,20	0,0	0,0	0,0	n/a	n/a
2	0,338355	5,20	0,0	0,0	0,0		
3	0,348506	5,20	0,0	0,0	0,0		
4	0,358961	5,20	2,0	2,0	0,3		
5	0,369730	5,20	2,3	2,3	1,5		
6	0,380822	5,20	3,8	3,8	1,7		
7	0,392246	5,19	5,5	5,5	1,9		
8	0,404014	5,19	7,4	7,4	2,1		
9	0,416134	5,16	9,5	9,5	2,3		
10	0,428618	5,11	11,8	11,8	2,4		
11	0,441477	5,01	14,2	14,2	2,6		
12	0,454721	4,87	16,8	16,8	2,7		
13	0,468362	4,68	19,6	19,6	2,9		
14	0,482413	4,45	22,4	22,4	3,0		
15	0,496886	4,20	25,4	25,4	3,1		
16	0,511792	4,15	28,6	28,6	3,2		
17	0,527146	4,15	31,8	31,8	3,4		
18	0,542960	4,15	35,2	35,2	3,5		
19	0,559249	4,15	38,6	38,6	3,6		
20	0,576027	4,15	42,2	42,2	3,7		
21	0,593308	4,15	45,9	45,9	3,8		
22	0,611107	4,15	49,7	49,7	3,9		
23	0,629440	4,15	53,5	53,5	3,8		
24	0,648323	4,15	57,3	57,3	3,7		
25	0,667773	4,15	61,0	61,0	3,6		
26	0,687806	4,15	64,6	64,6	3,5		
27	0,708440	4,15	68,1	68,1	3,4		
28	0,729693	4,15	71,5	71,5	3,2		
29	0,751584	4,15	74,7	74,7	3,1		
30	0,774132	4,15	77,8	77,8	3,0		

Quadro B.4 – Cálculos auxiliares para o modelo Indiano (T3-F3-P9)

t (anos)	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔAPT (%)	ΔAPH (%)
1	1,314000	5,97	0,0	0,0	0,0	n/a	n/a
2	1,366560	5,97	0,0	0,0	0,0		
3	1,421222	5,97	0,0	0,0	0,0		
4	1,478071	5,94	2,0	2,0	1,5		
5	1,537194	5,91	3,5	3,5	3,7		
6	1,598682	5,84	7,2	7,2	4,7		
7	1,662629	5,76	11,9	11,9	5,5		
8	1,729134	5,66	17,4	17,4	6,2		
9	1,798300	5,54	23,6	23,6	6,9		
10	1,870232	5,42	30,5	30,5	7,5		
11	1,945041	5,28	37,9	37,9	8,0		
12	2,022843	5,14	45,9	45,9	8,5		
13	2,103756	4,98	54,4	54,4	8,5		
14	2,187907	4,83	62,9	62,9	7,9		
15	2,275423	4,83	70,8	70,8	7,4		
16	2,366440	4,83	78,2	78,2	6,7		
17	2,461097	4,83	84,9	84,9	6,0		
18	2,559541	4,83	90,8	90,8	5,1		
19	2,661923	4,83	95,9	95,9	3,9		
20	2,768400	4,83	99,8	99,8	1,4		
21	2,879136	4,83	100,0	100,0	0,0		
22	2,994301	4,83	100,0	100,0	0,0		
23	3,114073	4,83	100,0	100,0	0,0		
24	3,238636	4,83	100,0	100,0	0,0		
25	3,368182	4,83	100,0	100,0	0,0		
26	3,502909	4,83	100,0	100,0	0,0		
27	3,643025	4,83	100,0	100,0	0,0		
28	3,788746	4,83	100,0	100,0	0,0		
29	3,940296	4,83	100,0	100,0	0,0		
30	4,097908	4,83	100,0	100,0	0,0		

Quadro B.5 – Cálculos auxiliares para o modelo Indiano (T3-F2-P13)

t (anos)	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔAPT (%)	ΔAPH (%)
1	1,314000	6,04	0,0	0,0	0,0	n/a	n/a
2	1,366560	6,04	0,0	0,0	0,0		
3	1,421222	6,04	0,0	0,0	0,0		
4	1,478071	6,00	2,0	2,0	1,4		
5	1,537194	5,97	3,4	3,4	3,7		
6	1,598682	5,89	7,1	7,1	4,6		
7	1,662629	5,79	11,7	11,7	5,5		
8	1,729134	5,68	17,2	17,2	6,2		
9	1,798300	5,55	23,4	23,4	6,8		
10	1,870232	5,40	30,2	30,2	7,4		
11	1,945041	5,24	37,5	37,5	7,9		
12	2,022843	5,08	45,4	45,4	8,4		
13	2,103756	4,90	53,9	53,9	8,5		
14	2,187907	4,72	62,3	62,3	7,9		
15	2,275423	4,70	70,2	70,2	7,3		
16	2,366440	4,70	77,6	77,6	6,7		
17	2,461097	4,70	84,3	84,3	6,0		
18	2,559541	4,70	90,3	90,3	5,1		
19	2,661923	4,70	95,4	95,4	4,0		
20	2,768400	4,70	99,4	99,4	2,1		
21	2,879136	4,70	100,0	100,0	0,0		
22	2,994301	4,70	100,0	100,0	0,0		
23	3,114073	4,70	100,0	100,0	0,0		
24	3,238636	4,70	100,0	100,0	0,0		
25	3,368182	4,70	100,0	100,0	0,0		
26	3,502909	4,70	100,0	100,0	0,0		
27	3,643025	4,70	100,0	100,0	0,0		
28	3,788746	4,70	100,0	100,0	0,0		
29	3,940296	4,70	100,0	100,0	0,0		
30	4,097908	4,70	100,0	100,0	0,0		

Quadro B.6 – Cálculos auxiliares para o modelo Indiano (T1-F3-P14)

t (anos)	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔAPT (%)	ΔAPH (%)
1	4,015000	6,55	0,0	0,0	0,0	n/a	n/a
2	4,215750	6,55	0,0	0,0	0,0		
3	4,426538	6,55	0,0	0,0	0,0		
4	4,647864	6,51	2,0	2,0	5,0		
5	4,880258	6,40	7,0	7,0	9,1		
6	5,124270	6,21	16,0	16,0	11,8		
7	5,380484	5,96	27,9	27,9	14,1		
8	5,649508	5,66	42,0	42,0	16,1		
9	5,931984	5,32	58,1	58,1	16,1		
10	6,228583	5,21	74,1	74,1	13,8		
11	6,540012	5,21	87,9	87,9	10,8		
12	6,867013	5,21	98,7	98,7	5,3		
13	7,210363	5,21	100,0	100,0	0,0		
14	7,570881	5,21	100,0	100,0	0,0		
15	7,949425	5,21	100,0	100,0	0,0		
16	8,346897	5,21	100,0	100,0	0,0		
17	8,764241	5,21	100,0	100,0	0,0		
18	9,202454	5,21	100,0	100,0	0,0		
19	9,662576	5,21	100,0	100,0	0,0		
20	10,145705	5,21	100,0	100,0	0,0		
21	10,652990	5,21	100,0	100,0	0,0		
22	11,185640	5,21	100,0	100,0	0,0		
23	11,744922	5,21	100,0	100,0	0,0		
24	12,332168	5,21	100,0	100,0	0,0		
25	12,948776	5,21	100,0	100,0	0,0		
26	13,596215	5,21	100,0	100,0	0,0		
27	14,276026	5,21	100,0	100,0	0,0		
28	14,989827	5,21	100,0	100,0	0,0		
29	15,739318	5,21	100,0	100,0	0,0		
30	16,526284	5,21	100,0	100,0	0,0		

Quadro B.7 – Cálculos auxiliares para o modelo Indiano (T1-F2-P16)

t (anos)	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔAPT (%)	ΔAPH (%)
1	4,015000	6,62	0,0	0,0	0,0	n/a	n/a
2	4,215750	6,62	0,0	0,0	0,0		
3	4,426538	6,62	0,0	0,0	0,0		
4	4,647864	6,57	2,0	2,0	4,9		
5	4,880258	6,45	6,9	6,9	9,0		
6	5,124270	6,23	15,9	15,9	11,7		
7	5,380484	5,95	27,6	27,6	14,0		
8	5,649508	5,61	41,5	41,5	15,9		
9	5,931984	5,22	57,4	57,4	16,0		
10	6,228583	5,09	73,5	73,5	13,8		
11	6,540012	5,09	87,3	87,3	10,9		
12	6,867013	5,09	98,2	98,2	5,9		
13	7,210363	5,09	100,0	100,0	0,0		
14	7,570881	5,09	100,0	100,0	0,0		
15	7,949425	5,09	100,0	100,0	0,0		
16	8,346897	5,09	100,0	100,0	0,0		
17	8,764241	5,09	100,0	100,0	0,0		
18	9,202454	5,09	100,0	100,0	0,0		
19	9,662576	5,09	100,0	100,0	0,0		
20	10,145705	5,09	100,0	100,0	0,0		
21	10,652990	5,09	100,0	100,0	0,0		
22	11,185640	5,09	100,0	100,0	0,0		
23	11,744922	5,09	100,0	100,0	0,0		
24	12,332168	5,09	100,0	100,0	0,0		
25	12,948776	5,09	100,0	100,0	0,0		
26	13,596215	5,09	100,0	100,0	0,0		
27	14,276026	5,09	100,0	100,0	0,0		
28	14,989827	5,09	100,0	100,0	0,0		
29	15,739318	5,09	100,0	100,0	0,0		
30	16,526284	5,09	100,0	100,0	0,0		

Quadro B.8 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-III (T5-F3-P4)

t (anos)	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACX (%)	ΔRDS (mm)	ΔAPT (%)	ΔAPT_m (%)	APT_b (%)	ΔASP (%)
1	0,328500	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	1,34	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,338355	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,348506	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,358961	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,369730	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,380822	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,392246	5,13	0,5	0,0	0,3	0,29	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,404014	5,12	1,0	0,0	0,6	1,72	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,416134	5,10	3,7	0,5	2,5	3,04	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,428618	5,06	8,6	0,5	5,6	6,03	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,441477	4,97	15,8	4,5	11,6	8,81	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,454721	4,85	25,5	11,7	20,4	11,51	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,468362	4,70	37,7	21,8	31,9	14,19	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,482413	4,50	52,6	34,5	46,1	14,60	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,496886	4,30	66,6	49,7	60,7	13,89	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,511792	4,27	78,0	67,3	74,6	10,30	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,527146	4,27	86,8	79,6	84,9	7,77	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,542960	4,27	93,2	89,3	92,7	5,11	0,09	0,14	0,14	0,14	0,14
19	0,559249	4,27	97,3	96,0	97,8	2,23	0,05	0,16	0,16	0,16	0,16
20	0,576027	4,27	99,3	99,3	100,0	0,00	0,02	0,17	0,17	0,17	0,17
21	0,593308	4,27	99,8	100,0	100,0	0,00	0,02	0,17	0,17	0,17	0,17
22	0,611107	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,18	0,18	0,18	0,18
23	0,629440	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,18	0,18	0,18	0,18
24	0,648323	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,19	0,19	0,19	0,19
25	0,667773	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,19	0,19	0,19	0,19
26	0,687806	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,20	0,20	0,20	0,20
27	0,708440	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,21	0,21	0,21	0,21
28	0,729693	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,21	0,21	0,21	0,21
29	0,751584	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,22	0,22	0,22	0,22
30	0,774132	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,22	0,22	0,22	0,22

Quadro B.9 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-III (T5-F2-P7)

t (anos)	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACX (%)	ΔRDS (mm)	ΔAPT (%)	ΔAPT_m (%)	APT_b (%)	ΔASP (%)
1	0,328500	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	1,32	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,338355	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,348506	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,358961	5,17	0,0	0,0	0,0	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,369730	5,16	0,0	0,0	0,0	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,380822	5,14	0,0	0,0	0,0	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,392246	5,11	0,5	0,0	0,3	0,18	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,404014	5,08	0,8	0,0	0,5	1,60	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,416134	5,04	3,4	0,5	2,3	2,90	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,428618	5,00	8,0	0,5	5,2	5,88	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,441477	4,96	15,0	4,5	11,1	8,65	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,454721	4,92	24,4	11,7	19,7	11,34	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,468362	4,87	36,4	21,8	31,1	14,02	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,482413	4,82	51,0	34,5	45,1	14,78	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,496886	4,77	65,3	49,7	59,9	14,06	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,511792	4,72	76,9	67,3	73,9	10,46	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
17	0,527146	4,67	86,0	79,6	84,4	7,92	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,542960	4,61	92,7	89,3	92,3	5,39	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,559249	4,55	97,1	96,2	97,7	2,30	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,576027	4,49	99,4	99,4	100,0	0,00	0,02	0,16	0,16	0,16	0,16
21	0,593308	4,43	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,17	0,17	0,17	0,17
22	0,611107	4,37	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,17	0,17	0,17	0,17
23	0,629440	4,31	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,18	0,18	0,18	0,18
24	0,648323	4,24	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,19	0,19	0,19	0,19
25	0,667773	4,18	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,19	0,19	0,19	0,19
26	0,687806	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,20	0,20	0,20	0,20
27	0,708440	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,20	0,20	0,20	0,20
28	0,729693	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,21	0,21	0,21	0,21
29	0,751584	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,22	0,22	0,22	0,22
30	0,774132	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,22	0,22	0,22	0,22

Quadro B.10 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-III (T3-F3-P9)

t (anos)	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACX (%)	ΔRDS (mm)	ΔAPT (%)	ΔAPT_m (%)	APT_b (%)	ΔASP (%)
1	1,314000	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1,366560	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1,421222	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
4	1,478071	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
5	1,537194	5,97	0,5	0,0	0,3	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
6	1,598682	5,97	0,5	0,0	0,3	1,39	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
7	1,662629	5,94	2,8	0,0	1,7	2,67	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
8	1,729134	5,89	7,1	0,5	4,6	5,46	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
9	1,798300	5,79	13,6	4,1	10,0	8,29	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
10	1,870232	5,64	22,6	11,0	18,3	10,98	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
11	1,945041	5,44	34,1	20,9	29,3	13,66	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
12	2,022843	5,19	48,3	33,4	43,0	16,33	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
13	2,103756	4,89	65,2	48,4	59,3	14,00	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
14	2,187907	4,83	76,9	65,7	73,3	10,58	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
15	2,275423	4,83	86,0	78,4	83,9	8,05	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
16	2,366440	4,83	92,6	88,4	91,9	5,53	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
17	2,461097	4,83	97,1	95,6	97,5	2,55	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
18	2,559541	4,83	99,4	99,4	100,0	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
19	2,661923	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,35	0,35	0,35	0,35
20	2,768400	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,37	0,37	0,37	0,37
21	2,879136	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,38	0,38	0,38	0,38
22	2,994301	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,40	0,40	0,40	0,40
23	3,114073	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,41	0,41	0,41	0,41
24	3,238636	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,43	0,43	0,43	0,43
25	3,368182	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,45	0,45	0,45	0,45
26	3,502909	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,47	0,47	0,47	0,47
27	3,643025	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,48	0,48	0,48	0,48
28	3,788746	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,50	0,50	0,50	0,50
29	3,940296	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,52	0,52	0,52	0,52
30	4,097908	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,54	0,54	0,54	0,54

Quadro B.11 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-III (T3-F2-P13)

t (anos)	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACX (%)	ΔRDS (mm)	ΔAPT (%)	ΔAPT_m (%)	APT_b (%)	ΔASP (%)
1	1,314000	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	1,27	0,00	0,00	0,00	0,00
2	1,366560	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
3	1,421222	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
4	1,478071	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
5	1,537194	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
6	1,598682	6,03	0,5	0,0	0,3	1,19	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
7	1,662629	6,01	2,4	0,0	1,5	2,51	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
8	1,729134	5,95	6,5	0,5	4,2	5,06	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
9	1,798300	5,84	12,8	3,5	9,3	7,98	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
10	1,870232	5,68	21,4	10,1	17,2	10,67	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00
11	1,945041	5,45	32,6	19,7	27,9	13,35	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00
12	2,022843	5,17	46,5	31,9	41,3	16,02	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00
13	2,103756	4,83	63,1	46,6	57,3	14,16	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
14	2,187907	4,70	75,2	63,7	71,4	10,97	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
15	2,275423	4,70	84,7	76,7	82,4	8,44	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00
16	2,366440	4,70	91,7	87,1	90,9	5,92	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
17	2,461097	4,70	96,5	94,7	96,8	3,23	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
18	2,559541	4,70	99,1	99,1	100,0	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
19	2,661923	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
20	2,768400	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
21	2,879136	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,38	0,38	0,38	0,38
22	2,994301	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,39	0,39	0,39	0,39
23	3,114073	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,41	0,41	0,41	0,41
24	3,238636	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,43	0,43	0,43	0,43
25	3,368182	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,44	0,44	0,44	0,44
26	3,502909	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,46	0,46	0,46	0,46
27	3,643025	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,48	0,48	0,48	0,48
28	3,788746	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,50	0,50	0,50	0,50
29	3,940296	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,52	0,52	0,52	0,52
30	4,097908	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	0,54	0,54	0,54	0,54

Quadro B.12 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-III (T1-F3-P14)

t (anos)	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACX (%)	ΔRDS (mm)	ΔAPT (%)	ΔAPT_m (%)	APT_b (%)	ΔASP (%)
1	4,015000	6,55	0,0	0,0	0,0	0,00	1,26	0,00	0,00	0,00	0,00
2	4,215750	6,55	0,0	0,0	0,0	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
3	4,426538	6,54	0,5	0,0	0,3	1,28	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
4	4,647864	6,51	2,6	0,0	1,6	2,57	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4,880258	6,46	6,7	0,5	4,4	4,82	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
6	5,124270	6,35	13,1	2,7	9,2	7,85	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
7	5,380484	6,19	21,9	8,8	17,0	10,57	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
8	5,649508	5,96	33,3	17,9	27,6	13,26	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
9	5,931984	5,68	47,2	29,7	40,9	15,95	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
10	6,228583	5,34	64,0	44,0	56,8	13,90	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00
11	6,540012	5,21	75,9	60,7	70,7	11,07	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
12	6,867013	5,21	85,2	74,3	81,8	8,55	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
13	7,210363	5,21	92,1	85,2	90,3	6,06	0,23	0,00	0,00	0,00	0,00
14	7,570881	5,21	96,7	93,4	96,4	3,57	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00
15	7,949425	5,21	99,3	98,6	100,0	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
16	8,346897	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
17	8,764241	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,72	0,72	0,72	0,72
18	9,202454	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,76	0,76	0,76	0,76
19	9,662576	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,80	0,80	0,80	0,80
20	10,145705	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,84	0,84	0,84	0,84
21	10,652990	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,88	0,88	0,88	0,88
22	11,185640	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,92	0,92	0,92	0,92
23	11,744922	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,97	0,97	0,97	0,97
24	12,332168	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	1,02	1,02	1,02	1,02
25	12,948776	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	1,07	1,07	1,07	1,07
26	13,596215	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	1,12	1,12	1,12	1,12
27	14,276026	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	1,18	1,18	1,18	1,18
28	14,989827	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	1,24	1,24	1,24	1,24
29	15,739318	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	1,30	1,30	1,30	1,30
30	16,526284	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	1,37	1,37	1,37	1,37

Quadro B.13 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-III (T1-F2-P16)

t (anos)	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACX (%)	ΔRDS (mm)	ΔAPT (%)	ΔAPT_m (%)	APT_b (%)	ΔASP (%)
1	4,015000	6,62	0,0	0,0	0,0	0,00	1,25	0,00	0,00	0,00	0,00
2	4,215750	6,62	0,0	0,0	0,0	0,00	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
3	4,426538	6,61	0,5	0,0	0,3	1,12	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
4	4,647864	6,58	2,3	0,0	1,4	2,46	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
5	4,880258	6,52	6,3	0,5	4,1	4,55	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
6	5,124270	6,41	12,5	2,3	8,6	7,62	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00
7	5,380484	6,22	21,0	8,2	16,3	10,34	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
8	5,649508	5,97	32,2	17,1	26,6	13,03	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00
9	5,931984	5,65	45,9	28,6	39,6	15,72	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
10	6,228583	5,27	62,4	42,7	55,4	14,02	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00
11	6,540012	5,09	74,6	59,3	69,4	11,35	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00
12	6,867013	5,09	84,2	73,1	80,7	8,83	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
13	7,210363	5,09	91,4	84,3	89,5	6,33	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00
14	7,570881	5,09	96,3	92,8	95,9	3,84	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00
15	7,949425	5,09	99,1	98,2	99,7	0,28	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
16	8,346897	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
17	8,764241	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
18	9,202454	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
19	9,662576	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,79	0,79	0,79	0,79
20	10,145705	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,83	0,83	0,83	0,83
21	10,652990	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,87	0,87	0,87	0,87
22	11,185640	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,91	0,91	0,91	0,91
23	11,744922	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	0,96	0,96	0,96	0,96
24	12,332168	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,03	1,01	1,01	1,01	1,01
25	12,948776	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	1,06	1,06	1,06	1,06
26	13,596215	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	1,11	1,11	1,11	1,11
27	14,276026	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	1,17	1,17	1,17	1,17
28	14,989827	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	1,23	1,23	1,23	1,23
29	15,739318	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	1,29	1,29	1,29	1,29
30	16,526284	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0,02	1,35	1,35	1,35	1,35

Quadro B.14 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 (T5-F3-P4)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	SNCK _t	ACA _a (%)	ACW _a (%)	ACX _a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT _t (no/km)	ΔNPH (no/km)
1	750	0,328500	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	1,92	0,70	0,0	0,0	0,0
2	1523	0,338355	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,16	0,39	0,0	0,0	0,0
3	2318	0,348506	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,11	0,07	0,0	0,0	0,0
4	3138	0,358961	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,09	0	0,0	0,0	0,0
5	3982	0,369730	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,08	0	0,0	0,0	0,0
6	4851	0,380822	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,07	0	0,0	0,0	0,0
7	5747	0,392246	5,13	0,0	0,0	0,0	0,03	0	0,06	0	0,0	0,0	0,0
8	6669	0,404014	5,13	0,0	0,0	0,0	2,19	0	0,07	0	0,0	0,0	0,0
9	7619	0,416134	5,11	2,2	0,0	1,4	3,90	0	0,07	0	0,0	0,0	0,0
10	8598	0,428618	5,08	6,1	0,1	3,8	6,13	0	0,10	0	0,0	0,0	0,0
11	9606	0,441477	5,01	12,2	4,1	9,2	8,52	0	0,12	0	0,0	0,0	0,0
12	10644	0,454721	4,90	20,8	11,2	17,2	11,04	0	0,16	0	0,0	0,0	0,0
13	11713	0,468362	4,75	31,8	21,0	27,9	13,67	0	0,20	0	0,0	0,0	0,0
14	12815	0,482413	4,57	45,5	33,6	41,3	16,39	0	0,25	0	0,0	0,0	0,0
15	13949	0,496886	4,36	60,5	48,6	56,4	12,57	0	0,25	0	0,0	0,0	0,0
16	15118	0,511792	4,27	73,1	64,0	70,3	9,99	0	0,24	0	0,0	0,0	0,0
17	16321	0,527146	4,27	83,0	77,0	81,5	7,52	0	0,00	0	0,0	0,0	0,0
18	17561	0,542960	4,27	90,6	87,3	90,2	5,19	0	0,11	0	0,0	0,0	0,0
19	18838	0,559249	4,27	95,7	94,9	96,4	3,04	0	0,08	0	26,1	26,1	26,1
20	20153	0,576027	4,27	98,8	98,8	99,8	1,16	0	0,03	0	27,7	27,7	27,7
21	21507	0,593308	4,27	99,9	99,9	100,0	0,05	0	0,03	0	28,4	28,4	28,4
22	22903	0,611107	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	29,1	29,1	29,1
23	24340	0,629440	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	29,9	29,9	29,9
24	25820	0,648323	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	30,6	30,6	30,6
25	27344	0,667773	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	31,4	31,4	31,4
26	28915	0,687806	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	32,2	32,2	32,2
27	30532	0,708440	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	33,0	33,0	33,0
28	32198	0,729693	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	33,9	33,9	33,9
29	33914	0,751584	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	34,7	34,7	34,7
30	35682	0,774132	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	35,6	35,6	35,6

Quadro B.15 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 (T5-F2-P7)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT_t (no/km)	ΔNPH (no/km)
1	750	0,328500	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	1,91	0,70	0,0	0,0	0,0
2	1523	0,338355	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,16	0,39	0,0	0,0	0,0
3	2318	0,348506	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,11	0,07	0,0	0,0	0,0
4	3138	0,358961	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,09	0	0,0	0,0	0,0
5	3982	0,369730	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,08	0	0,0	0,0	0,0
6	4851	0,380822	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,07	0	0,0	0,0	0,0
7	5747	0,392246	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,06	0	0,0	0,0	0,0
8	6669	0,404014	5,20	0,0	0,0	0,0	1,94	0	0,06	0	0,0	0,0	0,0
9	7619	0,416134	5,18	1,9	0,0	1,2	3,68	0	0,07	0	0,0	0,0	0,0
10	8598	0,428618	5,14	5,6	0,0	3,5	5,89	0	0,09	0	0,0	0,0	0,0
11	9606	0,441477	5,06	11,5	3,8	8,6	8,27	0	0,12	0	0,0	0,0	0,0
12	10644	0,454721	4,93	19,8	10,6	16,4	10,77	0	0,16	0	0,0	0,0	0,0
13	11713	0,468362	4,75	30,5	20,3	26,8	13,39	0	0,20	0	0,0	0,0	0,0
14	12815	0,482413	4,53	43,9	32,6	40,0	16,11	0	0,25	0	0,0	0,0	0,0
15	13949	0,496886	4,28	59,1	47,5	55,1	12,84	0	0,25	0	0,0	0,0	0,0
16	15118	0,511792	4,15	71,9	63,0	69,1	10,24	0	0,24	0	0,0	0,0	0,0
17	16321	0,527146	4,15	82,1	76,2	80,6	7,76	0	0,00	0	0,0	0,0	0,0
18	17561	0,542960	4,15	89,9	86,7	89,5	5,42	0	0,11	0	0,0	0,0	0,0
19	18838	0,559249	4,15	95,3	94,4	95,9	3,25	0	0,08	0	0,0	0,0	0,0
20	20153	0,576027	4,15	98,6	98,6	99,6	1,34	0	0,04	0	22,6	22,6	22,6
21	21507	0,593308	4,15	99,9	99,9	100,0	0,10	0	0,03	0	23,3	23,3	23,3
22	22903	0,611107	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	23,8	23,8	23,8
23	24340	0,629440	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	24,4	24,4	24,4
24	25820	0,648323	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	25,0	25,0	25,0
25	27344	0,667773	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	25,7	25,7	25,7
26	28915	0,687806	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	26,3	26,3	26,3
27	30532	0,708440	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	27,0	27,0	27,0
28	32198	0,729693	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	27,7	27,7	27,7
29	33914	0,751584	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	28,4	28,4	28,4
30	35682	0,774132	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	29,2	29,2	29,2

Quadro B.16 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 (T3-F3-P9)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	SNCK _t	ACA _a (%)	ACW _a (%)	ACX _a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT _t (no/km)	ΔNPH (no/km)
1	2000	1,314000	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	2,06	0,20	0,0	0,0	0,0
2	4080	1,366560	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,24	0	0,0	0,0	0,0
3	6243	1,421222	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,20	0	0,0	0,0	0,0
4	8493	1,478071	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,18	0	0,0	0,0	0,0
5	10833	1,537194	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,17	0	0,0	0,0	0,0
6	13266	1,598682	5,97	0,0	0,0	0,0	1,66	0	0,18	0	0,0	0,0	0,0
7	15797	1,662629	5,95	1,7	0,0	1,0	3,45	0	0,20	0	0,0	0,0	0,0
8	18428	1,729134	5,92	5,1	0,0	3,2	5,64	0	0,25	0	0,0	0,0	0,0
9	21166	1,798300	5,83	10,8	2,6	7,7	8,00	0	0,33	0	0,0	0,0	0,0
10	24012	1,870232	5,70	18,8	8,6	15,0	10,49	0	0,00	0	0,0	0,0	0,0
11	26973	1,945041	5,52	29,3	17,6	25,0	13,10	0	0,34	0	0,0	0,0	0,0
12	30052	2,022843	5,29	42,4	29,4	37,7	15,81	0	0,42	0	0,0	0,0	0,0
13	33254	2,103756	5,02	57,5	43,6	52,7	13,13	0	0,47	0	0,0	0,0	0,0
14	36584	2,187907	4,83	70,6	59,4	67,0	10,52	0	0,46	0	0,0	0,0	0,0
15	40047	2,275423	4,83	81,1	73,2	78,8	8,03	0	0,44	0	0,0	0,0	0,0
16	43649	2,366440	4,83	89,2	84,4	88,2	5,67	0	0,39	0	0,0	0,0	0,0
17	47395	2,461097	4,83	94,8	92,8	95,0	3,48	0	0,32	0	50,0	50,0	50,0
18	51291	2,559541	4,83	98,3	98,2	99,3	1,53	0	0,18	0	54,2	54,2	54,2
19	55342	2,661923	4,83	99,8	99,8	100,0	0,16	0	0,15	0	56,6	56,6	56,6
20	59556	2,768400	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,16	0	58,7	58,7	58,7
21	63938	2,879136	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,17	0	60,9	60,9	60,9
22	68496	2,994301	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,18	0	63,2	63,2	63,2
23	73236	3,114073	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,19	0	65,6	65,6	65,6
24	78165	3,238636	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,20	0	68,1	68,1	68,1
25	83292	3,368182	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,21	0	70,7	70,7	70,7
26	88623	3,502909	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,22	0	73,4	73,4	73,4
27	94168	3,643025	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,23	0	76,2	76,2	76,2
28	99935	3,788746	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,00	0	79,1	79,1	79,1
29	105933	3,940296	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,15	0	82,1	82,1	82,1
30	112170	4,097908	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,16	0	85,2	85,2	85,2

Quadro B.17 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 (T3-F2-P13)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	SNCK _t	ACA _a (%)	ACW _a (%)	ACX _a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT _t (no/km)	ΔNPH (no/km)
1	2000	1,314000	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	2,04	0,20	0,0	0,0	0,0
2	4080	1,366560	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,24	0	0,0	0,0	0,0
3	6243	1,421222	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,20	0	0,0	0,0	0,0
4	8493	1,478071	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,18	0	0,0	0,0	0,0
5	10833	1,537194	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,17	0	0,0	0,0	0,0
6	13266	1,598682	6,04	0,0	0,0	0,0	1,33	0	0,18	0	0,0	0,0	0,0
7	15797	1,662629	6,02	1,3	0,0	0,8	3,16	0	0,20	0	0,0	0,0	0,0
8	18428	1,729134	5,98	4,5	0,0	2,8	5,31	0	0,25	0	0,0	0,0	0,0
9	21166	1,798300	5,90	9,8	2,0	6,9	7,65	0	0,32	0	0,0	0,0	0,0
10	24012	1,870232	5,75	17,5	7,7	13,8	10,13	0	0,00	0	0,0	0,0	0,0
11	26973	1,945041	5,54	27,6	16,4	23,5	12,72	0	0,33	0	0,0	0,0	0,0
12	30052	2,022843	5,28	40,3	27,8	35,8	15,41	0	0,42	0	0,0	0,0	0,0
13	33254	2,103756	4,97	55,4	41,7	50,6	13,52	0	0,47	0	0,0	0,0	0,0
14	36584	2,187907	4,70	68,9	57,5	65,2	10,89	0	0,47	0	0,0	0,0	0,0
15	40047	2,275423	4,70	79,8	71,6	77,4	8,38	0	0,45	0	0,0	0,0	0,0
16	43649	2,366440	4,70	88,2	83,1	87,1	6,00	0	0,40	0	0,0	0,0	0,0
17	47395	2,461097	4,70	94,2	91,9	94,2	3,78	0	0,33	0	0,0	0,0	0,0
18	51291	2,559541	4,70	97,9	97,8	98,8	1,79	0	0,20	0	0,0	0,0	0,0
19	55342	2,661923	4,70	99,7	99,7	100,0	0,27	0	0,15	0	48,5	48,5	48,5
20	59556	2,768400	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,16	0	50,4	50,4	50,4
21	63938	2,879136	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,17	0	52,2	52,2	52,2
22	68496	2,994301	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,18	0	54,2	54,2	54,2
23	73236	3,114073	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,19	0	56,3	56,3	56,3
24	78165	3,238636	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,20	0	58,4	58,4	58,4
25	83292	3,368182	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,21	0	60,6	60,6	60,6
26	88623	3,502909	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,22	0	62,9	62,9	62,9
27	94168	3,643025	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,23	0	65,3	65,3	65,3
28	99935	3,788746	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,00	0	67,8	67,8	67,8
29	105933	3,940296	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,15	0	70,4	70,4	70,4
30	112170	4,097908	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,16	0	73,1	73,1	73,1

Quadro B.18 Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 (T1-F3-P14)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	SNCK _t	ACA _a (%)	ACW _a (%)	ACX _a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT _t (no/km)	ΔNPH (no/km)
1	5000	4,015000	6,55	0,0	0,0	0,0	0,00	0	2,61	0	0,0	0,0	0,0
2	10250	4,215750	6,55	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,75	0	0,0	0,0	0,0
3	15763	4,426538	6,55	0,0	0,0	0,0	1,81	0	0,00	0	0,0	0,0	0,0
4	21551	4,647864	6,52	1,8	0,0	1,1	3,58	0	0,53	0	0,0	0,0	0,0
5	27628	4,880258	6,48	5,4	0,0	3,3	5,78	0	0,62	0	0,0	0,0	0,0
6	34010	5,124270	6,39	11,2	1,8	7,6	8,15	0	0,76	0	0,0	0,0	0,0
7	40710	5,380484	6,23	19,3	7,3	14,8	10,65	0	0,95	0	0,0	0,0	0,0
8	47746	5,649508	6,02	30,0	15,8	24,8	13,26	0	1,22	0	0,0	0,0	0,0
9	55133	5,931984	5,76	43,2	27,1	37,4	15,98	0	0,00	0	0,0	0,0	0,0
10	62889	6,228583	5,44	58,4	40,9	52,1	12,97	0	1,10	0	0,0	0,0	0,0
11	71034	6,540012	5,21	71,3	56,7	66,4	10,37	0	1,19	0	0,0	0,0	0,0
12	79586	6,867013	5,21	81,7	70,9	78,3	7,88	0	1,24	0	0,0	0,0	0,0
13	88565	7,210363	5,21	89,6	82,6	87,7	5,53	0	1,23	0	91,1	91,1	91,1
14	97993	7,570881	5,21	95,1	91,5	94,7	3,35	0	1,18	0	103,1	103,1	103,1
15	107893	7,949425	5,21	98,5	97,5	99,1	1,42	0	0,96	0	113,1	113,1	113,1
16	118287	8,346897	5,21	99,9	99,9	100,0	0,12	0	0,99	0	119,7	119,7	119,7
17	129202	8,764241	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,16	0	125,5	125,5	125,5
18	140662	9,202454	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,38	0	131,7	131,7	131,7
19	152695	9,662576	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,48	0	138,1	138,1	138,1
20	165330	10,145705	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,55	0	144,8	144,8	144,8
21	178596	10,652990	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,62	0	151,9	151,9	151,9
22	192526	11,185640	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,70	0	159,4	159,4	159,4
23	207152	11,744922	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,79	0	167,2	167,2	167,2
24	222510	12,332168	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,88	0	175,4	175,4	175,4
25	238635	12,948776	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,97	0	184,0	184,0	184,0
26	255567	13,596215	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	2,07	0	193,0	193,0	193,0
27	273346	14,276026	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	2,17	0	202,5	202,5	202,5
28	292013	14,989827	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	2,27	0	212,5	212,5	212,5
29	311614	15,739318	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	2,39	0	223,0	223,0	223,0
30	332194	16,526284	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	2,50	0	234,0	234,0	234,0

Quadro B.19 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 (T1-F2-P16)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT_t (no/km)	ΔNPH (no/km)
1	5000	4,015000	6,62	0,0	0,0	0,0	0,00	0	2,60	0	0,0	0,0	0,0
2	10250	4,215750	6,62	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,75	0	0,0	0,0	0,0
3	15763	4,426538	6,62	0,0	0,0	0,0	1,55	0	0,00	0	0,0	0,0	0,0
4	21551	4,647864	6,59	1,6	0,0	1,0	3,36	0	0,53	0	0,0	0,0	0,0
5	27628	4,880258	6,54	4,9	0,0	3,0	5,54	0	0,61	0	0,0	0,0	0,0
6	34010	5,124270	6,44	10,5	1,5	7,1	7,89	0	0,75	0	0,0	0,0	0,0
7	40710	5,380484	6,28	18,3	6,7	14,0	10,38	0	0,94	0	0,0	0,0	0,0
8	47746	5,649508	6,04	28,7	14,9	23,6	12,98	0	1,21	0	0,0	0,0	0,0
9	55133	5,931984	5,74	41,7	25,9	36,0	15,69	0	0,00	0	0,0	0,0	0,0
10	62889	6,228583	5,39	56,8	39,5	50,6	13,25	0	1,10	0	0,0	0,0	0,0
11	71034	6,540012	5,09	70,1	55,3	65,0	10,64	0	1,20	0	0,0	0,0	0,0
12	79586	6,867013	5,09	80,7	69,7	77,2	8,14	0	1,25	0	0,0	0,0	0,0
13	88565	7,210363	5,09	88,9	81,6	86,9	5,77	0	1,25	0	0,0	0,0	0,0
14	97993	7,570881	5,09	94,6	90,8	94,1	3,57	0	1,20	0	89,6	89,6	89,6
15	107893	7,949425	5,09	98,2	97,1	98,8	1,61	0	1,00	0	98,6	98,6	98,6
16	118287	8,346897	5,09	99,8	99,8	100,0	0,19	0	0,99	0	104,7	104,7	104,7
17	129202	8,764241	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,16	0	109,8	109,8	109,8
18	140662	9,202454	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,38	0	115,2	115,2	115,2
19	152695	9,662576	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,48	0	120,8	120,8	120,8
20	165330	10,145705	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,55	0	126,7	126,7	126,7
21	178596	10,652990	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,62	0	132,9	132,9	132,9
22	192526	11,185640	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,70	0	139,4	139,4	139,4
23	207152	11,744922	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,79	0	146,3	146,3	146,3
24	222510	12,332168	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,88	0	153,5	153,5	153,5
25	238635	12,948776	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,97	0	161,0	161,0	161,0
26	255567	13,596215	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	2,07	0	168,9	168,9	168,9
27	273346	14,276026	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	2,17	0	177,2	177,2	177,2
28	292013	14,989827	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	2,27	0	186,0	186,0	186,0
29	311614	15,739318	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	2,39	0	195,1	195,1	195,1
30	332194	16,526284	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	2,50	0	204,7	204,7	204,7

Quadro B.20 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Australiano (T5-F3-P4)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT_t (no/km)
1	750	0,328500	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	1,71	0,70	0,0	0,0
2	1523	0,338355	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,15	0,39	0,0	0,0
3	2318	0,348506	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,15	0,07	0,0	0,0
4	3138	0,358961	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,15	0	0,0	0,0
5	3982	0,369730	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,15	0	0,0	0,0
6	4851	0,380822	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,15	0	0,0	0,0
7	5747	0,392246	5,13	0,0	0,0	0,0	0,03	0	0,14	0	0,0	0,0
8	6669	0,404014	5,13	0,0	0,0	0,0	2,19	0	0,14	0	0,0	0,0
9	7619	0,416134	5,11	2,2	0,0	1,4	3,90	0	0,14	0	0,0	0,0
10	8598	0,428618	5,08	6,1	0,1	3,8	6,13	0	0,14	0	0,0	0,0
11	9606	0,441477	5,01	12,2	4,1	9,2	8,52	0	0,14	0	0,0	0,0
12	10644	0,454721	4,90	20,8	11,2	17,2	11,04	0	0,14	0	0,0	0,0
13	11713	0,468362	4,75	31,8	21,0	27,9	13,67	0	0,14	0	0,0	0,0
14	12815	0,482413	4,57	45,5	33,6	41,3	16,39	0	0,14	0	0,0	0,0
15	13949	0,496886	4,36	60,5	48,6	56,4	12,57	0	0,14	0	0,0	0,0
16	15118	0,511792	4,27	73,1	64,0	70,3	9,99	0	0,14	0	0,0	0,0
17	16321	0,527146	4,27	83,0	77,0	81,5	7,52	0	0,14	0	0,0	0,0
18	17561	0,542960	4,27	90,6	87,3	90,2	5,19	0	0,14	0	0,0	0,0
19	18838	0,559249	4,27	95,7	94,9	96,4	3,04	0	0,13	0	26,1	26,1
20	20153	0,576027	4,27	98,8	98,8	99,8	1,16	0	0,12	0	27,7	27,7
21	21507	0,593308	4,27	99,9	99,9	100,0	0,05	0	0,11	0	28,4	28,4
22	22903	0,611107	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,11	0	29,1	29,1
23	24340	0,629440	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,10	0	29,9	29,9
24	25820	0,648323	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,09	0	30,6	30,6
25	27344	0,667773	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,07	0	31,4	31,4
26	28915	0,687806	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,06	0	32,2	32,2
27	30532	0,708440	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,05	0	33,0	33,0
28	32198	0,729693	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,04	0	33,9	33,9
29	33914	0,751584	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	34,7	34,7
30	35682	0,774132	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,02	0	35,6	35,6

Quadro B.21 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Australiano (T5-F2-P7)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT_t (no/km)
1	750	0,328500	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	1,69	0,70	0,0	0,0
2	1523	0,338355	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,15	0,39	0,0	0,0
3	2318	0,348506	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,15	0,07	0,0	0,0
4	3138	0,358961	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,15	0	0,0	0,0
5	3982	0,369730	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,15	0	0,0	0,0
6	4851	0,380822	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,14	0	0,0	0,0
7	5747	0,392246	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,14	0	0,0	0,0
8	6669	0,404014	5,20	0,0	0,0	0,0	1,94	0	0,14	0	0,0	0,0
9	7619	0,416134	5,18	1,9	0,0	1,2	3,68	0	0,14	0	0,0	0,0
10	8598	0,428618	5,14	5,6	0,0	3,5	5,89	0	0,14	0	0,0	0,0
11	9606	0,441477	5,06	11,5	3,8	8,6	8,27	0	0,13	0	0,0	0,0
12	10644	0,454721	4,93	19,8	10,6	16,4	10,77	0	0,14	0	0,0	0,0
13	11713	0,468362	4,75	30,5	20,3	26,8	13,39	0	0,14	0	0,0	0,0
14	12815	0,482413	4,53	43,9	32,6	40,0	16,11	0	0,14	0	0,0	0,0
15	13949	0,496886	4,28	59,1	47,5	55,1	12,84	0	0,14	0	0,0	0,0
16	15118	0,511792	4,15	71,9	63,0	69,1	10,24	0	0,14	0	0,0	0,0
17	16321	0,527146	4,15	82,1	76,2	80,6	7,76	0	0,14	0	0,0	0,0
18	17561	0,542960	4,15	89,9	86,7	89,5	5,42	0	0,14	0	0,0	0,0
19	18838	0,559249	4,15	95,3	94,4	95,9	3,25	0	0,13	0	0,0	0,0
20	20153	0,576027	4,15	98,6	98,6	99,6	1,34	0	0,12	0	22,6	22,6
21	21507	0,593308	4,15	99,9	99,9	100,0	0,10	0	0,12	0	23,3	23,3
22	22903	0,611107	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,11	0	23,8	23,8
23	24340	0,629440	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,10	0	24,4	24,4
24	25820	0,648323	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,09	0	25,0	25,0
25	27344	0,667773	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,08	0	25,7	25,7
26	28915	0,687806	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,07	0	26,3	26,3
27	30532	0,708440	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,06	0	27,0	27,0
28	32198	0,729693	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,04	0	27,7	27,7
29	33914	0,751584	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,03	0	28,4	28,4
30	35682	0,774132	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,02	0	29,2	29,2

Quadro B.22 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Australiano (T3-F3-P9)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT_t (no/km)
1	2000	1,314000	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	1,90	0,20	0,0	0,0
2	4080	1,366560	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,29	0	0,0	0,0
3	6243	1,421222	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,29	0	0,0	0,0
4	8493	1,478071	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,28	0	0,0	0,0
5	10833	1,537194	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,27	0	0,0	0,0
6	13266	1,598682	5,97	0,0	0,0	0,0	1,66	0	0,26	0	0,0	0,0
7	15797	1,662629	5,95	1,7	0,0	1,0	3,45	0	0,25	0	0,0	0,0
8	18428	1,729134	5,92	5,1	0,0	3,2	5,64	0	0,24	0	0,0	0,0
9	21166	1,798300	5,83	10,8	2,6	7,7	8,00	0	0,22	0	0,0	0,0
10	24012	1,870232	5,70	18,8	8,6	15,0	10,49	0	0,21	0	0,0	0,0
11	26973	1,945041	5,52	29,3	17,6	25,0	13,10	0	0,20	0	0,0	0,0
12	30052	2,022843	5,29	42,4	29,4	37,7	15,81	0	0,18	0	0,0	0,0
13	33254	2,103756	5,02	57,5	43,6	52,7	13,13	0	0,16	0	0,0	0,0
14	36584	2,187907	4,83	70,6	59,4	67,0	10,52	0	0,13	0	0,0	0,0
15	40047	2,275423	4,83	81,1	73,2	78,8	8,03	0	0,10	0	0,0	0,0
16	43649	2,366440	4,83	89,2	84,4	88,2	5,67	0	0,06	0	0,0	0,0
17	47395	2,461097	4,83	94,8	92,8	95,0	3,48	0	0,02	0	50,0	50,0
18	51291	2,559541	4,83	98,3	98,2	99,3	1,53	0	0,00	0	54,2	54,2
19	55342	2,661923	4,83	99,8	99,8	100,0	0,16	0	0,00	0	56,6	56,6
20	59556	2,768400	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,00	0	58,7	58,7
21	63938	2,879136	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,00	0	60,9	60,9
22	68496	2,994301	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,00	0	63,2	63,2
23	73236	3,114073	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,27	0	65,6	65,6
24	78165	3,238636	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,28	0	68,1	68,1
25	83292	3,368182	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,28	0	70,7	70,7
26	88623	3,502909	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,29	0	73,4	73,4
27	94168	3,643025	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,30	0	76,2	76,2
28	99935	3,788746	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,31	0	79,1	79,1
29	105933	3,940296	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,32	0	82,1	82,1
30	112170	4,097908	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,33	0	85,2	85,2

Quadro B.23 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Australiano (T3-F2-P13)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT_t (no/km)
1	2000	1,314000	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	1,89	0,20	0,0	0,0
2	4080	1,366560	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,29	0	0,0	0,0
3	6243	1,421222	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,29	0	0,0	0,0
4	8493	1,478071	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,28	0	0,0	0,0
5	10833	1,537194	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,27	0	0,0	0,0
6	13266	1,598682	6,04	0,0	0,0	0,0	1,33	0	0,26	0	0,0	0,0
7	15797	1,662629	6,02	1,3	0,0	0,8	3,16	0	0,25	0	0,0	0,0
8	18428	1,729134	5,98	4,5	0,0	2,8	5,31	0	0,24	0	0,0	0,0
9	21166	1,798300	5,90	9,8	2,0	6,9	7,65	0	0,22	0	0,0	0,0
10	24012	1,870232	5,75	17,5	7,7	13,8	10,13	0	0,21	0	0,0	0,0
11	26973	1,945041	5,54	27,6	16,4	23,5	12,72	0	0,20	0	0,0	0,0
12	30052	2,022843	5,28	40,3	27,8	35,8	15,41	0	0,18	0	0,0	0,0
13	33254	2,103756	4,97	55,4	41,7	50,6	13,52	0	0,16	0	0,0	0,0
14	36584	2,187907	4,70	68,9	57,5	65,2	10,89	0	0,13	0	0,0	0,0
15	40047	2,275423	4,70	79,8	71,6	77,4	8,38	0	0,10	0	0,0	0,0
16	43649	2,366440	4,70	88,2	83,1	87,1	6,00	0	0,07	0	0,0	0,0
17	47395	2,461097	4,70	94,2	91,9	94,2	3,78	0	0,03	0	0,0	0,0
18	51291	2,559541	4,70	97,9	97,8	98,8	1,79	0	0,00	0	0,0	0,0
19	55342	2,661923	4,70	99,7	99,7	100,0	0,27	0	0,00	0	48,5	48,5
20	59556	2,768400	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,00	0	50,4	50,4
21	63938	2,879136	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,00	0	52,2	52,2
22	68496	2,994301	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,00	0	54,2	54,2
23	73236	3,114073	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,27	0	56,3	56,3
24	78165	3,238636	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,27	0	58,4	58,4
25	83292	3,368182	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,28	0	60,6	60,6
26	88623	3,502909	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,29	0	62,9	62,9
27	94168	3,643025	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,30	0	65,3	65,3
28	99935	3,788746	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,31	0	67,8	67,8
29	105933	3,940296	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,32	0	70,4	70,4
30	112170	4,097908	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,33	0	73,1	73,1

Quadro B.24 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Australiano (T1-F3-P14)

t (anos)	TMDA	$\Delta N80$	SNCK _t	ACA _a (%)	ACW _a (%)	ACX _a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT _t (no/km)
1	5000	4,015000	6,55	0,0	0,0	0,0	0,00	0	2,41	0	0,0	0,0
2	10250	4,215750	6,55	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,67	0	0,0	0,0
3	15763	4,426538	6,55	0,0	0,0	0,0	1,81	0	0,60	0	0,0	0,0
4	21551	4,647864	6,52	1,8	0,0	1,1	3,58	0	0,51	0	0,0	0,0
5	27628	4,880258	6,48	5,4	0,0	3,3	5,78	0	0,41	0	0,0	0,0
6	34010	5,124270	6,39	11,2	1,8	7,6	8,15	0	0,29	0	0,0	0,0
7	40710	5,380484	6,23	19,3	7,3	14,8	10,65	0	0,16	0	0,0	0,0
8	47746	5,649508	6,02	30,0	15,8	24,8	13,26	0	0,00	0	0,0	0,0
9	55133	5,931984	5,76	43,2	27,1	37,4	15,98	0	0,00	0	0,0	0,0
10	62889	6,228583	5,44	58,4	40,9	52,1	12,97	0	0,00	0	0,0	0,0
11	71034	6,540012	5,21	71,3	56,7	66,4	10,37	0	0,51	0	0,0	0,0
12	79586	6,867013	5,21	81,7	70,9	78,3	7,88	0	0,54	0	0,0	0,0
13	88565	7,210363	5,21	89,6	82,6	87,7	5,53	0	0,57	0	91,1	91,1
14	97993	7,570881	5,21	95,1	91,5	94,7	3,35	0	0,59	0	103,1	103,1
15	107893	7,949425	5,21	98,5	97,5	99,1	1,42	0	0,62	0	113,1	113,1
16	118287	8,346897	5,21	99,9	99,9	100,0	0,12	0	0,65	0	119,7	119,7
17	129202	8,764241	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,68	0	125,5	125,5
18	140662	9,202454	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,71	0	131,7	131,7
19	152695	9,662576	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,74	0	138,1	138,1
20	165330	10,145705	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,77	0	144,8	144,8
21	178596	10,652990	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,81	0	151,9	151,9
22	192526	11,185640	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,84	0	159,4	159,4
23	207152	11,744922	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,88	0	167,2	167,2
24	222510	12,332168	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,92	0	175,4	175,4
25	238635	12,948776	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,96	0	184,0	184,0
26	255567	13,596215	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,01	0	193,0	193,0
27	273346	14,276026	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,06	0	202,5	202,5
28	292013	14,989827	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,10	0	212,5	212,5
29	311614	15,739318	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,16	0	223,0	223,0
30	332194	16,526284	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,21	0	234,0	234,0

Quadro B.25 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Australiano (T1-F2-P16)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT_t (no/km)
1	5000	4,015000	6,62	0,0	0,0	0,0	0,00	0	2,40	0	0,0	0,0
2	10250	4,215750	6,62	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,67	0	0,0	0,0
3	15763	4,426538	6,62	0,0	0,0	0,0	1,55	0	0,60	0	0,0	0,0
4	21551	4,647864	6,59	1,6	0,0	1,0	3,36	0	0,51	0	0,0	0,0
5	27628	4,880258	6,54	4,9	0,0	3,0	5,54	0	0,41	0	0,0	0,0
6	34010	5,124270	6,44	10,5	1,5	7,1	7,89	0	0,29	0	0,0	0,0
7	40710	5,380484	6,28	18,3	6,7	14,0	10,38	0	0,16	0	0,0	0,0
8	47746	5,649508	6,04	28,7	14,9	23,6	12,98	0	0,00	0	0,0	0,0
9	55133	5,931984	5,74	41,7	25,9	36,0	15,69	0	0,00	0	0,0	0,0
10	62889	6,228583	5,39	56,8	39,5	50,6	13,25	0	0,00	0	0,0	0,0
11	71034	6,540012	5,09	70,1	55,3	65,0	10,64	0	0,51	0	0,0	0,0
12	79586	6,867013	5,09	80,7	69,7	77,2	8,14	0	0,54	0	0,0	0,0
13	88565	7,210363	5,09	88,9	81,6	86,9	5,77	0	0,57	0	0,0	0,0
14	97993	7,570881	5,09	94,6	90,8	94,1	3,57	0	0,59	0	89,6	89,6
15	107893	7,949425	5,09	98,2	97,1	98,8	1,61	0	0,62	0	98,6	98,6
16	118287	8,346897	5,09	99,8	99,8	100,0	0,19	0	0,65	0	104,7	104,7
17	129202	8,764241	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,68	0	109,8	109,8
18	140662	9,202454	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,71	0	115,2	115,2
19	152695	9,662576	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,74	0	120,8	120,8
20	165330	10,145705	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,77	0	126,7	126,7
21	178596	10,652990	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,81	0	132,9	132,9
22	192526	11,185640	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,84	0	139,4	139,4
23	207152	11,744922	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,88	0	146,3	146,3
24	222510	12,332168	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,92	0	153,5	153,5
25	238635	12,948776	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,96	0	161,0	161,0
26	255567	13,596215	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,01	0	168,9	168,9
27	273346	14,276026	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,05	0	177,2	177,2
28	292013	14,989827	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,10	0	186,0	186,0
29	311614	15,739318	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,15	0	195,1	195,1
30	332194	16,526284	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,21	0	204,7	204,7

Quadro B.26 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Sul-africano (T5-F3-P4)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT_t (no/km)
1	750	0,328500	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	1,21	0,70	0,0	0,0
2	1523	0,338355	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,10	0,39	0,0	0,0
3	2318	0,348506	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,10	0,07	0,0	0,0
4	3138	0,358961	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,10	0	0,0	0,0
5	3982	0,369730	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,10	0	0,0	0,0
6	4851	0,380822	5,13	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,10	0	0,0	0,0
7	5747	0,392246	5,13	0,0	0,0	0,0	0,03	0	0,10	0	0,0	0,0
8	6669	0,404014	5,13	0,0	0,0	0,0	2,19	0	0,10	0	0,0	0,0
9	7619	0,416134	5,11	2,2	0,0	1,4	3,90	0	0,10	0	0,0	0,0
10	8598	0,428618	5,08	6,1	0,1	3,8	6,13	0	0,10	0	0,0	0,0
11	9606	0,441477	5,01	12,2	4,1	9,2	8,52	0	0,11	0	0,0	0,0
12	10644	0,454721	4,90	20,8	11,2	17,2	11,04	0	0,11	0	0,0	0,0
13	11713	0,468362	4,75	31,8	21,0	27,9	13,67	0	0,11	0	0,0	0,0
14	12815	0,482413	4,57	45,5	33,6	41,3	16,39	0	0,12	0	0,0	0,0
15	13949	0,496886	4,36	60,5	48,6	56,4	12,57	0	0,13	0	0,0	0,0
16	15118	0,511792	4,27	73,1	64,0	70,3	9,99	0	0,13	0	0,0	0,0
17	16321	0,527146	4,27	83,0	77,0	81,5	7,52	0	0,14	0	0,0	0,0
18	17561	0,542960	4,27	90,6	87,3	90,2	5,19	0	0,14	0	0,0	0,0
19	18838	0,559249	4,27	95,7	94,9	96,4	3,04	0	0,14	0	0,0	0,0
20	20153	0,576027	4,27	98,8	98,8	99,8	1,16	0	0,14	0	0,0	0,0
21	21507	0,593308	4,27	99,9	99,9	100,0	0,05	0	0,14	0	7,3	7,3
22	22903	0,611107	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,14	0	7,5	7,5
23	24340	0,629440	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,13	0	7,6	7,6
24	25820	0,648323	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,13	0	7,8	7,8
25	27344	0,667773	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,13	0	8,0	8,0
26	28915	0,687806	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,13	0	8,2	8,2
27	30532	0,708440	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,13	0	8,4	8,4
28	32198	0,729693	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,12	0	8,7	8,7
29	33914	0,751584	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,12	0	8,9	8,9
30	35682	0,774132	4,27	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,12	0	9,1	9,1

Quadro B.27 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Sul-africano (T5-F2-P7)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT_t (no/km)
1	750	0,328500	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	1,20	0,70	0,0	0,0
2	1523	0,338355	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,10	0,39	0,0	0,0
3	2318	0,348506	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,10	0,07	0,0	0,0
4	3138	0,358961	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,10	0	0,0	0,0
5	3982	0,369730	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,10	0	0,0	0,0
6	4851	0,380822	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,10	0	0,0	0,0
7	5747	0,392246	5,20	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,10	0	0,0	0,0
8	6669	0,404014	5,20	0,0	0,0	0,0	1,94	0	0,10	0	0,0	0,0
9	7619	0,416134	5,18	1,9	0,0	1,2	3,68	0	0,10	0	0,0	0,0
10	8598	0,428618	5,14	5,6	0,0	3,5	5,89	0	0,10	0	0,0	0,0
11	9606	0,441477	5,06	11,5	3,8	8,6	8,27	0	0,10	0	0,0	0,0
12	10644	0,454721	4,93	19,8	10,6	16,4	10,77	0	0,11	0	0,0	0,0
13	11713	0,468362	4,75	30,5	20,3	26,8	13,39	0	0,11	0	0,0	0,0
14	12815	0,482413	4,53	43,9	32,6	40,0	16,11	0	0,12	0	0,0	0,0
15	13949	0,496886	4,28	59,1	47,5	55,1	12,84	0	0,12	0	0,0	0,0
16	15118	0,511792	4,15	71,9	63,0	69,1	10,24	0	0,13	0	0,0	0,0
17	16321	0,527146	4,15	82,1	76,2	80,6	7,76	0	0,13	0	0,0	0,0
18	17561	0,542960	4,15	89,9	86,7	89,5	5,42	0	0,14	0	0,0	0,0
19	18838	0,559249	4,15	95,3	94,4	95,9	3,25	0	0,14	0	0,0	0,0
20	20153	0,576027	4,15	98,6	98,6	99,6	1,34	0	0,14	0	0,0	0,0
21	21507	0,593308	4,15	99,9	99,9	100,0	0,10	0	0,14	0	0,0	0,0
22	22903	0,611107	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,14	0	0,0	0,0
23	24340	0,629440	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,13	0	0,0	0,0
24	25820	0,648323	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,13	0	6,5	6,5
25	27344	0,667773	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,13	0	6,6	6,6
26	28915	0,687806	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,13	0	6,8	6,8
27	30532	0,708440	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,13	0	7,0	7,0
28	32198	0,729693	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,12	0	7,2	7,2
29	33914	0,751584	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,12	0	7,4	7,4
30	35682	0,774132	4,15	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,12	0	7,5	7,5

Quadro B.28 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Sul-africano (T3-F3-P9)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT_t (no/km)
1	2000	1,314000	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	1,30	0,20	0,0	0,0
2	4080	1,366560	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,16	0	0,0	0,0
3	6243	1,421222	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,16	0	0,0	0,0
4	8493	1,478071	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,16	0	0,0	0,0
5	10833	1,537194	5,97	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,17	0	0,0	0,0
6	13266	1,598682	5,97	0,0	0,0	0,0	1,66	0	0,17	0	0,0	0,0
7	15797	1,662629	5,95	1,7	0,0	1,0	3,45	0	0,17	0	0,0	0,0
8	18428	1,729134	5,92	5,1	0,0	3,2	5,64	0	0,17	0	0,0	0,0
9	21166	1,798300	5,83	10,8	2,6	7,7	8,00	0	0,17	0	0,0	0,0
10	24012	1,870232	5,70	18,8	8,6	15,0	10,49	0	0,18	0	0,0	0,0
11	26973	1,945041	5,52	29,3	17,6	25,0	13,10	0	0,18	0	0,0	0,0
12	30052	2,022843	5,29	42,4	29,4	37,7	15,81	0	0,19	0	0,0	0,0
13	33254	2,103756	5,02	57,5	43,6	52,7	13,13	0	0,20	0	0,0	0,0
14	36584	2,187907	4,83	70,6	59,4	67,0	10,52	0	0,20	0	0,0	0,0
15	40047	2,275423	4,83	81,1	73,2	78,8	8,03	0	0,21	0	0,0	0,0
16	43649	2,366440	4,83	89,2	84,4	88,2	5,67	0	0,21	0	0,0	0,0
17	47395	2,461097	4,83	94,8	92,8	95,0	3,48	0	0,21	0	0,0	0,0
18	51291	2,559541	4,83	98,3	98,2	99,3	1,53	0	0,21	0	0,0	0,0
19	55342	2,661923	4,83	99,8	99,8	100,0	0,16	0	0,21	0	0,0	0,0
20	59556	2,768400	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,20	0	0,0	0,0
21	63938	2,879136	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,20	0	15,8	15,8
22	68496	2,994301	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,19	0	16,4	16,4
23	73236	3,114073	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,19	0	17,1	17,1
24	78165	3,238636	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,18	0	17,7	17,7
25	83292	3,368182	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,17	0	18,4	18,4
26	88623	3,502909	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,17	0	19,1	19,1
27	94168	3,643025	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,16	0	19,8	19,8
28	99935	3,788746	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,15	0	20,6	20,6
29	105933	3,940296	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,16	0	21,3	21,3
30	112170	4,097908	4,83	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,16	0	22,2	22,2

Quadro B.29 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Sul-africano (T3-F2-P13)

t (anos)	TMDA	ΔN_{80}	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT_t (no/km)
1	2000	1,314000	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	1,29	0,20	0,0	0,0
2	4080	1,366560	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,16	0	0,0	0,0
3	6243	1,421222	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,16	0	0,0	0,0
4	8493	1,478071	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,16	0	0,0	0,0
5	10833	1,537194	6,04	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,17	0	0,0	0,0
6	13266	1,598682	6,04	0,0	0,0	0,0	1,33	0	0,17	0	0,0	0,0
7	15797	1,662629	6,02	1,3	0,0	0,8	3,16	0	0,17	0	0,0	0,0
8	18428	1,729134	5,98	4,5	0,0	2,8	5,31	0	0,17	0	0,0	0,0
9	21166	1,798300	5,90	9,8	2,0	6,9	7,65	0	0,17	0	0,0	0,0
10	24012	1,870232	5,75	17,5	7,7	13,8	10,13	0	0,18	0	0,0	0,0
11	26973	1,945041	5,54	27,6	16,4	23,5	12,72	0	0,18	0	0,0	0,0
12	30052	2,022843	5,28	40,3	27,8	35,8	15,41	0	0,19	0	0,0	0,0
13	33254	2,103756	4,97	55,4	41,7	50,6	13,52	0	0,20	0	0,0	0,0
14	36584	2,187907	4,70	68,9	57,5	65,2	10,89	0	0,20	0	0,0	0,0
15	40047	2,275423	4,70	79,8	71,6	77,4	8,38	0	0,21	0	0,0	0,0
16	43649	2,366440	4,70	88,2	83,1	87,1	6,00	0	0,21	0	0,0	0,0
17	47395	2,461097	4,70	94,2	91,9	94,2	3,78	0	0,21	0	0,0	0,0
18	51291	2,559541	4,70	97,9	97,8	98,8	1,79	0	0,21	0	0,0	0,0
19	55342	2,661923	4,70	99,7	99,7	100,0	0,27	0	0,21	0	0,0	0,0
20	59556	2,768400	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,20	0	0,0	0,0
21	63938	2,879136	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,20	0	0,0	0,0
22	68496	2,994301	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,19	0	0,0	0,0
23	73236	3,114073	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,19	0	14,7	14,7
24	78165	3,238636	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,18	0	15,3	15,3
25	83292	3,368182	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,18	0	15,9	15,9
26	88623	3,502909	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,17	0	16,5	16,5
27	94168	3,643025	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,16	0	17,1	17,1
28	99935	3,788746	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,15	0	17,7	17,7
29	105933	3,940296	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,16	0	18,4	18,4
30	112170	4,097908	4,70	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,16	0	19,1	19,1

Quadro B.30 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Sul-africano (T1-F3-P14)

t (anos)	TMDA	$\Delta N80$	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT_t (no/km)
1	5000	4,015000	6,55	0,0	0,0	0,0	0,00	0	1,64	0	0,0	0,0
2	10250	4,215750	6,55	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,49	0	0,0	0,0
3	15763	4,426538	6,55	0,0	0,0	0,0	1,81	0	0,50	0	0,0	0,0
4	21551	4,647864	6,52	1,8	0,0	1,1	3,58	0	0,50	0	0,0	0,0
5	27628	4,880258	6,48	5,4	0,0	3,3	5,78	0	0,50	0	0,0	0,0
6	34010	5,124270	6,39	11,2	1,8	7,6	8,15	0	0,50	0	0,0	0,0
7	40710	5,380484	6,23	19,3	7,3	14,8	10,65	0	0,48	0	0,0	0,0
8	47746	5,649508	6,02	30,0	15,8	24,8	13,26	0	0,47	0	0,0	0,0
9	55133	5,931984	5,76	43,2	27,1	37,4	15,98	0	0,43	0	0,0	0,0
10	62889	6,228583	5,44	58,4	40,9	52,1	12,97	0	0,38	0	0,0	0,0
11	71034	6,540012	5,21	71,3	56,7	66,4	10,37	0	0,39	0	0,0	0,0
12	79586	6,867013	5,21	81,7	70,9	78,3	7,88	0	0,44	0	0,0	0,0
13	88565	7,210363	5,21	89,6	82,6	87,7	5,53	0	0,49	0	0,0	0,0
14	97993	7,570881	5,21	95,1	91,5	94,7	3,35	0	0,55	0	0,0	0,0
15	107893	7,949425	5,21	98,5	97,5	99,1	1,42	0	0,62	0	0,0	0,0
16	118287	8,346897	5,21	99,9	99,9	100,0	0,12	0	0,71	0	31,3	31,3
17	129202	8,764241	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,83	0	32,9	32,9
18	140662	9,202454	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,98	0	34,5	34,5
19	152695	9,662576	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,04	0	36,2	36,2
20	165330	10,145705	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,09	0	37,9	37,9
21	178596	10,652990	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,14	0	39,8	39,8
22	192526	11,185640	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,19	0	41,7	41,7
23	207152	11,744922	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,25	0	43,8	43,8
24	222510	12,332168	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,31	0	45,9	45,9
25	238635	12,948776	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,37	0	48,2	48,2
26	255567	13,596215	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,43	0	50,6	50,6
27	273346	14,276026	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,50	0	53,0	53,0
28	292013	14,989827	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,57	0	55,7	55,7
29	311614	15,739318	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,65	0	58,4	58,4
30	332194	16,526284	5,21	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,73	0	61,3	61,3

Quadro B.31 – Cálculos auxiliares para o modelo HDM-4 Sul-africano (T1-F2-P16)

t (anos)	TMDA	$\Delta N80$	$SNCK_t$	ACA_a (%)	ACW_a (%)	ACX_a (%)	ΔACA (%)	ΔARV (%)	ΔRDS (mm)	FM	ΔNPT (no/km)	NPT_t (no/km)
1	5000	4,015000	6,62	0,0	0,0	0,0	0,00	0	1,63	0	0,0	0,0
2	10250	4,215750	6,62	0,0	0,0	0,0	0,00	0	0,49	0	0,0	0,0
3	15763	4,426538	6,62	0,0	0,0	0,0	1,55	0	0,50	0	0,0	0,0
4	21551	4,647864	6,59	1,6	0,0	1,0	3,36	0	0,50	0	0,0	0,0
5	27628	4,880258	6,54	4,9	0,0	3,0	5,54	0	0,50	0	0,0	0,0
6	34010	5,124270	6,44	10,5	1,5	7,1	7,89	0	0,50	0	0,0	0,0
7	40710	5,380484	6,28	18,3	6,7	14,0	10,38	0	0,48	0	0,0	0,0
8	47746	5,649508	6,04	28,7	14,9	23,6	12,98	0	0,47	0	0,0	0,0
9	55133	5,931984	5,74	41,7	25,9	36,0	15,69	0	0,43	0	0,0	0,0
10	62889	6,228583	5,39	56,8	39,5	50,6	13,25	0	0,39	0	0,0	0,0
11	71034	6,540012	5,09	70,1	55,3	65,0	10,64	0	0,39	0	0,0	0,0
12	79586	6,867013	5,09	80,7	69,7	77,2	8,14	0	0,44	0	0,0	0,0
13	88565	7,210363	5,09	88,9	81,6	86,9	5,77	0	0,49	0	0,0	0,0
14	97993	7,570881	5,09	94,6	90,8	94,1	3,57	0	0,55	0	0,0	0,0
15	107893	7,949425	5,09	98,2	97,1	98,8	1,61	0	0,62	0	0,0	0,0
16	118287	8,346897	5,09	99,8	99,8	100,0	0,19	0	0,71	0	0,0	0,0
17	129202	8,764241	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,83	0	28,9	28,9
18	140662	9,202454	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	0,98	0	30,3	30,3
19	152695	9,662576	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,04	0	31,8	31,8
20	165330	10,145705	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,09	0	33,4	33,4
21	178596	10,652990	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,14	0	35,0	35,0
22	192526	11,185640	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,19	0	36,7	36,7
23	207152	11,744922	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,25	0	38,5	38,5
24	222510	12,332168	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,31	0	40,4	40,4
25	238635	12,948776	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,37	0	42,4	42,4
26	255567	13,596215	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,43	0	44,5	44,5
27	273346	14,276026	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,50	0	46,7	46,7
28	292013	14,989827	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,57	0	49,0	49,0
29	311614	15,739318	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,65	0	51,4	51,4
30	332194	16,526284	5,09	100,0	100,0	100,0	0,00	0	1,73	0	53,9	53,9