

CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS EM TIMOR-LESTE PARA O DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS

HUMBELINA MAIA SOARES VIEGAS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM VIAS DE COMUNICAÇÃO

Orientador: Professora Doutora Cecília Maria Nogueira Alvarenga Santos do Vale

Co-orientador: Eng.^a Elza Margarida de Sousa Mendes

JULHO DE 2016

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2015/2016

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2015/2016 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus queridos:
Esposo Diamantino Soares
Filhos, Dellyo e Sandro
A meus Pais

Não tenhamos pressa, mas não percamos tempo.
José Saramago

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer a Deus por tudo, pela graça e pela força que me deu para terminar este trabalho, concretizando os objetivos a que me propus.

A minha gratidão, à Professora Cecília Vale, por ter aceite e por me ter orientado neste trabalho, pelas sugestões e por toda a compreensão que demonstrou para comigo na concretização do mesmo.

À minha tutora, Engenheira Elza Mendes, também minha Co-orientadora, pelo tempo que me acompanhou enquanto aluna da FEUP e por, carinhosamente, contribuir para a realização deste trabalho.

Aos professores do curso de Mestrado em Vias de Comunicação da FEUP, pela excelente formação e pela disponibilidade sempre demonstrada. Um agradecimento também para a D. Guilhermina Castro, da Secretaria de Vias de Comunicação, pela simpatia e por toda a colaboração.

Aos professores do curso de Mestrado de Engenharia Civil (MIEC), em especial: Professor António Abel Ribeiro Henriques, Professor António José Fidalgo do Couto, Professor Manuel António de Matos Fernandes e Professor Carlos Manuel Rodrigues, por me terem proporcionado apoio tutorial enquanto aluna da FEUP.

À minha família, ao meu querido esposo Diamantino Soares e aos meus filhos, que me deram força para continuar o trabalho, pelo amor e carinho e pela compreensão apesar da distância. Aos meus Pais, especialmente a minha Mãe, pelo apoio incondicional.

A todos os amigos do curso de Mestrado, que me acompanharam e apoiaram, especialmente aos meus amigos Timorenses: Teresa Vaz Cabral, Marcelo Marques, Francisco Guterres, Alfredo Ferreira e todos os amigos estrangeiros que estão a estudar no Porto.

RESUMO

As condições climáticas têm grande influência no comportamento dos materiais granulares e dos materiais betuminosos de pavimentos rodoviários. No presente trabalho, apresenta-se um estudo sobre a influência das condições climáticas em Timor-Leste, nomeadamente da temperatura, no dimensionamento de pavimentos flexíveis.

Nesta tese, faz-se, inicialmente, uma síntese relativa ao comportamento dos pavimentos flexíveis para efeitos de dimensionamento. Depois, apresenta-se o país de Timor-Leste em termos de condições climáticas. Por fim, apresenta-se um estudo sobre a influência da temperatura e do módulo de deformabilidade de vários tipos de betumes no comportamento estrutural de um pavimento flexível para efeitos de dimensionamento.

PALAVRAS-CHAVE: Condições climáticas; Timor-Leste; Temperatura; Pavimento flexível; Tráfego.

REZUMO

Kondisaun klimátika, iha influensia bot ba material granular ho material asfalto ba pavimento dalan nian. Iha prezente trabalho ne'e, apresenta estudo ida kona ba influensia kondisaun klimátika iha Timor-Leste, espesial temperatura ba dimensionamento pavimento flexível.

Iha tese nemos, kolia uluk kona ba sinteje ida, relativa ho comportamento pavimento flexível nian, hanesan efeito ba dimensionamento pavimento. Depois, apresenta país Timor-Leste em termos kondisaun klimátika nian. E no fin, apresenta estudo kona ba influensia temperatura ho modulo deformabilidade husi varios tipos betume, ba comportamento estrutural pavimento flexível, hanesan efeito ida ba dimensionamento nian.

LIA FUAN SAVI: kondisaun klimátika; Timor-Leste; Temperatura; Pavimento flexível; Trafego.

ABSTRACT

Climatic conditions have a significant influence in the behavior of granular materials and bituminous materials of road pavements. This work presents a study concerning the influence of climatic conditions in East Timor, particularly the temperature influence in the flexible pavements design.

In this thesis, initially, it is carried out a summary of the behavior of flexible pavements for design purposes. Then it is presented the East Timor country in terms of climatic conditions. Finally, it is presented a study on the influence of temperature and bitumen stiffness in the structural behavior of a flexible pavement considering design purposes.

KEYWORDS: Climatic conditions; East Timor; Temperature; Flexible Pavement; Traffic.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO.....	iii
REZUMO	v
ABSTRACT	vii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA	1
1.2. OBJETIVOS	2
1.3. ESTRUTURA DA TESE	2
2 PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS FLEXÍVEIS.....	3
2.1. INTRODUÇÃO	3
2.2. ESTRUTURA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL	3
2.3. DIMENSIONAMENTO PAVIMENTO FLEXÍVEL.....	8
3 CASO EM ESTUDO: TIMOR-LESTE.....	17
3.1. INTRODUÇÃO	17
3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS VIAS DE COMUNICAÇÃO EM TIMOR-LESTE	22
3.3. CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO.....	28
3.4. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS.....	31
3.5. COMPORTAMENTO DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NAS CONDIÇÕES DE TEMPERATURA DE DÍLI.....	40
3.5.1. DADOS.....	40
3.5.2. CÁLCULO DAS CARACTERÍSTICAS DA MECÂNICAS DOS MATERIAIS DE PAVIMENTOS	42
3.5.3. RESULTADOS: DÍLI VS PORTO	44
3.5.4. RESULTADOS: INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DO MÓDULO DE DEFORMABILIDADE DAS MISTURAS BETUMINOSAS NO COMPORTAMENTO DE PAVIMENTO	44
4 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS PARA INVESTIGAÇÃO FUTURA	49
4.1. CONCLUSÕES.....	49
4.2. PERSPETIVAS PARA INVESTIGAÇÃO FUTURA.....	50
BIBLIOGRAFIA.....	51
ANEXOS	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1 - Pavimento rodoviário: constituição e ações (adaptado de Branco et al., 2011).....	1
Fig. 2.1 – Constituição de uma estrutura tipo de um pavimento rodoviário	4
Fig. 2.2 – Esquema do eixo padrão N_{80}	6
Fig. 2.3 - Temperatura de serviço das camadas betuminosas (Santos, 2015).....	10
Fig. 2.4 - Nomograma de Van der Poel para a determinação da rigidez do betume (Vale, 2004).	11
Fig. 2.5 - Ábaco da SHELL para cálculo da deformabilidade de misturas betuminosas (Santos, 2015)	13
Fig. 2.6 – Extensões de tração e compressão usadas como critérios de ruína (Francisco, 2012).....	15
Fig. 3.1 – Mapa de Timor-Leste.....	18
Fig. 3.2 – Mapa dos Distritos de Timor-Leste.....	19
Fig. 3.3 - Evolução da população de Timor-Leste [1980-2015]	20
Fig. 3.4 - Distribuição da População de Timor-Leste [2015]	20
Fig. 3.5 - Densidade Populacional de Timor-Leste [2015].....	21
Fig. 3.6 - Tendência da importação de veículos em Timor-Leste [2008 – 2013]	22
Fig. 3.7 - Aeroporto Internacional Presidente Nicolau Lobato Díli.....	23
Fig. 3.8 - Pista do Aeroporto Internacional de Timor-Leste	23
Fig. 3.9 - Portuário Díli de Timor-Leste	24
Fig. 3.10 - Estrada Nacional de Manatuto – Natarbora	25
Fig. 3.11 - Estrada Nacional de Manatuto – Baucau	25
Fig. 3.12 - Estrada Nacional de Díli – Liquiça	25
Fig. 3.13 - Rede Rodoviária de Timor-Leste	27
Fig. 3.14. - Precipitação Média Anual 2003-2014.....	32
Fig. 3.15 - Precipitação Anual Acumulada 2003 - 2014.....	32
Fig. 3.16 - Precipitação Média Mensal 2003 – 2014.....	33
Fig. 3.17 - Temperatura Média Anual 2003 -2014.....	34
Fig. 3.18 - Temperatura Média Mensal 2003 -2014.....	34
Fig. 3.19 - Temperatura Média Máxima Anual 2003 – 2014	35
Fig. 3.20- Temperatura Média Máxima Mensal 2003 – 2014.....	35
Fig. 3.21 - Temperatura Média Mínima Anual 2003 -2014.....	36
Fig. 3.22 - Temperatura Média Mínima Mensal 2003 -2014	36
Fig. 3.23 - Temperatura Máxima e Mínima Absoluta Anual 2003 -2014.....	37
Fig. 3.24- Temperatura Máxima e Mínima Absoluta Mensal 2003 -2014	37
Fig. 3.25 - Humidade Relativa Média Anual 2003 -2014	38
Fig. 3.26 - Humidade Relativa Média Mensal 2003 -2014	39
Fig. 3.27 - Climograma de Díli 2003 -2014.....	40
Fig. 3.28 – Estrutura de pavimento.....	41

Fig. 3.29 – Variação do logaritmo do número de eixos padrão admissíveis em função do módulo de deformabilidade da mistura betuminosa ($K = 3,2 \times 10^{-3}$).....	45
Fig. 3.30 – Variação do número de eixos padrão admissíveis de 80 kN com o módulo de deformabilidade da mistura betuminosa ($e_b = 10$ cm)	45
Fig. 3.31 – Variação do número de eixos padrão de 80 kN admissível em função do módulo de deformabilidade da mistura betuminosa para duas camadas de diferentes espessura ($K = 3,2 \times 10^{-3}$)..	46
Fig. 3.32 – Variação do módulo de deformabilidade da mistura em função do tipo de betume e da temperatura de serviço.....	47
Fig. 3.33 - Variação do número de eixos padrão admissíveis com o módulo de deformabilidade de mistura: betumes 10/20, 20/30 e 60/70 $T_{ser} = 40$	47

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 - Percentagem do tráfego na via mais solicitada	6
Quadro 2.2 - Cálculo da rigidez do betume (Vale. 2004).....	11
Quadro 3.1 - Extensão das Estradas de Timor-Leste.....	26
Quadro 3.2 - Extensão das Estradas de Díli	27
Quadro 3.3 - Classe de Tráfego segundo o Manual de Dimensionamento de Pavimentos	29
Quadro 3.4 - Tipologia de eixos dos veículos	30
Quadro 3.5 - Valores das variáveis para cálculo de S_b (betume 60/70)	42
Quadro 3.6 - Módulo de deformabilidade de E_{sb} e de E_b	42
Quadro 3.7 - O valor do S_b para betumes 60/70, 20/30 e 10/20	43
Quadro 3.8 - A S_b e o E_m do caso em estudo, Díli e Porto	43
Quadro 3.9 - ϵ_t e ϵ_{dp} (Díli e Porto).....	44

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

CBR - *California Bearing Ratio*

D - *Dano*

e - *Espessura*

e_b - *Camada betuminosa*

E_f - *Módulo de deformabilidade da fundação*

E_m - *Módulo de deformabilidade da mistura*

ϵ_t - *Extensão de tração na base das camadas betuminosas*

ϵ_{dp} - *Extensão de compressão no topo de fundação*

I_{pen} - *Índice de penetração do betume*

k_s - *Parâmetro que depende a probabilidade de sobrevivência*

k - *Parâmetro do critério de ruína*

N_{80} - *Número de eixo padrão de 80 kN*

N_{adm} - *Número acumulado de eixos padrão admissíveis*

$N_{acumulado}$ - *Número acumulado de veículos pesados*

$N_{acumulado}$ eixo padrão - *Número acumulado de eixos padrão*

N_0 - *Número médio diário anual de veículos no ano zero, na totalidade das vias*

N_p - *Número acumulado de passagens de eixos padrão previstos*

N_{adm} - *número acumulado de passagens de eixos padrão admissíveis*

N - *número de eixos padrão*

n - *vida útil (anos)*

P - *carga do veículo*

Pref - *carga do eixo padrão*

p - *distribuição lateral de tráfego na via mais solicitada*

Pen_{25} - *penetração do betume a uma temperatura de 25°C*

r - *raio*

RDTL - *República Democrática de Timor-Leste*

S_b - *módulo de rigidez do betume*

STRT (sumbu tunggal roda tunggal) - *eixo simples com uma roda*

STRG (sumbu tunggal roda ganda) - *eixo simples com duas rodas*

STdRG (sumbu tandem roda ganda) - *eixo tandem com duas rodas*

STrRG (sumbu tridem roda ganda) - *eixo tridem com duas rodas*

TMDAp - *Tráfego Médio Diário Anual de veículos pesados*

TMDA₀ - *Tráfego Médio Diário Anual de veículos pesados*

T_{ser} – *Temperatura de serviço*

t_c – *tempo de carregamento*

t - *taxa de crescimento*

T_{ab} - *temperatura de amolecimento do betume pelo método do anel e bola*

ν - *coeficiente de Poisson*

α - *fator de agressividade*

VMA - *o volume de vazios no agregado compactado*

V_b - *volume de betume*

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1- Evolução de população em Timor-Leste	53
ANEXO 2 - Caracterização das condições climáticas em Timor-Leste	54
ANEXO 3 - Resultados do Comportamento Estrutural do Pavimento, obtidos com Alize.....	58

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO DO TEMA

Timor-Leste, oficialmente República Democrática de Timor-Leste (RDTL), é um dos países mais jovens do mundo. Situa-se no continente asiático, na região do Sudeste Asiático, a noroeste da Austrália, no arquipélago das ilhas de Sonda, na ponta Oriental do arquipélago Indonésio, ocupando a metade oriental da ilha de Timor.

Por ser uma nação recente, do século XXI, está em fase de desenvolvimento das infra-estruturas e o crescimento da rede rodoviária revela-se importante e prioritário para o desenvolvimento económico do País. A presente tese visa analisar a influência da temperatura no comportamento estrutural de pavimentos flexíveis, para efeitos de dimensionamento.

Relativamente à sua constituição, um pavimento flexível é considerado como um sistema multi-estratificado, formado por várias camadas de espessura finita, apoiadas numa fundação, constituída pelo terreno natural ou aterro. Na Figura 1.1, representa-se a constituição esquemática de um pavimento flexível, com indicação das principais ações a que está sujeito.

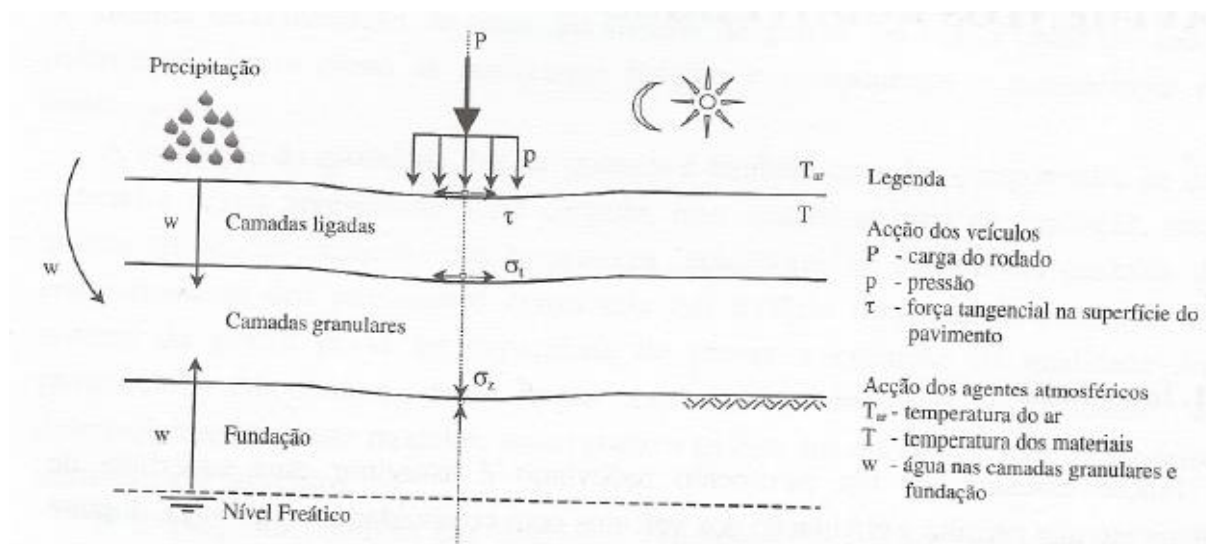


Fig. 1.1 - Pavimento rodoviário: constituição e ações (adaptado de Branco et al., 2011)

A função essencial de um pavimento rodoviário é assegurar uma superfície de rolamento que permita a circulação dos veículos com comodidade e segurança, durante um determinado período (a vida do pavimento), sob a ação das ações do tráfego e nas condições climáticas que ocorram. (Branco et al., 2011).

Assim, a um pavimento devem exigir-se dois tipos de qualidades: funcional e estrutural. A primeira está relacionada com as exigências dos utentes: conforto e segurança de circulação. A segunda, relaciona-se com a capacidade do pavimento para suportar as cargas dos veículos sem sofrer alterações para além de determinados valores limites, as quais colocariam em causa a garantia da qualidade funcional.

Existem três tipologias de pavimentos rodoviários: flexível, rígido e semi-rígido.

Nesta tese vai considerar-se apenas o pavimento flexível, pois é o usualmente adotado em quase todo o país em estudo, Timor-Leste. O pavimento flexível é composto por camada de desgaste, camada de regularização, camadas de base, camada de sub-base e distingue-se pela sua elevada deformabilidade e constituição material:

- I. misturas betuminosas, nas camadas superiores, ou seja, materiais estabilizados com ligantes hidrocarbonados, geralmente betume asfáltico;
- II. materiais granulares em uma ou duas camadas.

Com o estudo apresentado neste tese de mestrado pretende-se consolidar os conhecimentos adquiridos, no Mestrado Integrado em Engenharia Civil de FEUP, relativamente ao comportamento de pavimentos flexíveis.

1.2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal caracterizar as condições climáticas para efeitos de dimensionamento dos pavimentos em Timor Leste, e analisar o comportamento da temperatura e do módulo de deformabilidade de misturas betuminosas para efeitos de dimensionamento.

1.3. ESTRUTURA DA TESE

A tese está organizada em quatro capítulos incluindo o de introdução, no qual se indica o enquadramento do tema de desenvolvimento, os objetivos pretendidos e a estrutura de tese.

No capítulo 2, faz-se o enquadramento teórico com uma descrição de caracterização dos pavimentos rodoviários flexíveis, da estrutura do pavimento e do seu comportamento estrutural. Apresenta-se ainda a metodologia do dimensionamento de pavimentos rodoviários flexíveis.

No capítulo 3, descreve-se o caso em estudo. Neste capítulo, faz-se uma breve caracterização de Timor-Leste, indicam-se os materiais a usar na pavimentação, o volume e tipologia do tráfego e caracterizam-se as condições climáticas que influenciam o comportamento do pavimento flexível e que, portanto, são relevantes no seu dimensionamento. Nesta parte, vai analisar-se, apenas a temperatura relativa a Díli.

As conclusões e as perspetivas para investigação futura, são indicadas no capítulo 4.

2 PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS FLEXÍVEIS

2.1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo faz-se uma descrição do pavimento flexível, em termos de estrutura e de comportamento, e apresenta-se a metodologia de dimensionamento empírico-mecanicista desses pavimentos.

Estes pavimentos são estruturas constituídas por um conjunto de camadas horizontais apoiadas sobre uma fundação, que têm como função principal suportar as ações induzidas pelos veículos, redistribuindo as tensões transmitidas à fundação, proporcionando uma superfície segura e confortável para a circulação dos veículos ao longo da sua vida útil (Branco et al., 2011).

As camadas superiores dos pavimentos flexíveis são geralmente constituídas por misturas betuminosas, ou seja, por materiais estabilizados com ligantes hidrocarbonados, usualmente o betume asfáltico, seguidas inferiormente de uma ou várias camadas constituídas por material granular. Todas estas camadas têm, geralmente, maior deformabilidade quando comparadas com uma laje de betão de um pavimento rígido.

2.2. ESTRUTURA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

Como referido, os pavimentos são estruturas laminares estratificadas em que os materiais são dispostos em camadas a partir da fundação por ordem crescente de resistência (Jacinto, 2003). Cada uma dessas camadas desempenha determinadas funções no pavimento, daí serem constituídas por diferentes tipos de materiais.

Na Fig. 2.1, apresenta-se uma estrutura tipo de um pavimento rodoviário flexível.

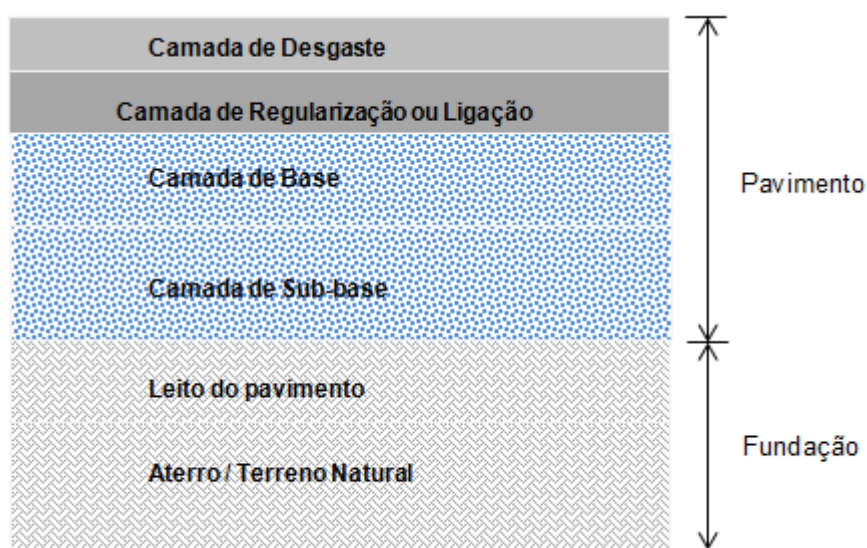


Fig. 2.1 – Constituição de uma estrutura tipo de um pavimento rodoviário

As camadas do pavimento têm a função de fornecer suporte e proteger as camadas subjacentes. Devem também ser capazes de suportar as solicitações das ações climáticas e do tráfego, devendo degradar as cargas aplicadas para valores compatíveis com a resistência das camadas subjacentes (Jacinto, 2003).

Apresenta-se, de seguida, os aspetos principais de cada uma das camadas do pavimento.

Sub-base: camada estrutural do pavimento que tem como função ajudar a distribuir para a fundação as cargas aplicadas; está situada entre a fundação e as camadas de base. Durante a fase de construção protege a fundação, ajuda a garantir a traficabilidade em obra e permite uma sustentação regular das camadas superiores. É também relevante a sua função drenante, isto é, protege as camadas superiores da água capilar e quando é prevista essa situação pode também ajudar a drenagem interna do pavimento.

Base: constituída por camada ou camadas situadas sobre a sub-base ou, se esta não existir, sobre a fundação. A sua função consiste em suportar e degradar as cargas aplicadas de maneira a que a capacidade de suporte das camadas subjacentes não seja excedida. Devem ser usados nesta camada materiais de boa qualidade devido à sua espessura ser significativa e são constituídas por agregados granulares com ou sem ligante (Eugénio, 2008).

Regularização ou Ligação: camada estrutural usada para regularizar a camada de desgaste e/ou ligar entre estrato superficial às camadas granulares mais profundas.

Desgaste: camada superficial do pavimento em contacto direto com o tráfego sofrendo por isso diretamente o efeito deste. Deve permitir aos utilizadores da estrada uma circulação com conforto e segurança. Além disso, deve ser garantia de impermeabilidade e drenagem para com as camadas inferiores e naturalmente distribuir as tensões induzidas pelo tráfego (Eugénio, 2008).

O pavimento está apoiado sobre a fundação, que tem por funções :

- assegurar uma superfície regular e uma capacidade de suporte, a curto prazo, que permita a construção da primeira camada do pavimento com a espessura e grau de compactação pretendidos;
- assegurar, a longo prazo, a capacidade de suporte necessária para um bom funcionamento estrutural do pavimento;
- permitir, sem degradação, a drenagem da água das chuvas e a circulação do equipamento de obra, antes da construção do pavimento (Branco et al., 2011).

Para definir uma estrutura de pavimento é necessário considerar os seguintes aspetos:

- tráfego;
- condições climáticas;
- condições de fundação;
- materiais de pavimentação.

Tráfego

As ações do tráfego, que resultam da aplicação das cargas dos veículos, podem ser traduzidas por uma pressão vertical uniforme e aplicada numa área considerada circular, na superfície do pavimento, e por uma ação tangencial, aplicada no plano entre o pneu e o pavimento, que corresponde á reação necessária para o movimento do veículo e às reações que ocorrem durante as frenagens. A intensidade e a forma de aplicação das cargas dos veículos definem determinados comportamentos do pavimento, especialmente dos materiais (em particular os betuminosos).

Para o dimensionamento dos pavimentos rodoviários apenas é considerado o efeito do tráfego de veículos pesados. Para efeitos de dimensionamento considera-se o Tráfego Médio Diário Anual de veículo pesados (TMDAp) no ano abertura, o período de dimensionamento, a distribuição do tráfego pelas vias existentes num dado sentido e a taxa média de crescimento anual. Em consequência destes fatores resume-se o efeito do tráfego ao número acumulado de eixos-padrão.

O número acumulado de veículos pesados no fim da vida útil do pavimento (20 anos, no caso dos pavimentos flexíveis) pode ser estimado pela expressão (2.1):

$$N_{\text{acumulado}} = TMDA_p \times 365 \times \sum_{i=0}^{n-1} (1+t)^i \times p \quad (2.1)$$

em que:

t - taxa de crescimento anual médio do tráfego pesado .

A conversão do número acumulado de veículos pesados no número acumulado de eixo padrão é feita recorrendo-se à expressão (2.2):

$$N_{\text{acumulado, eixopadrão}} = N_{\text{acumulado}} \times \alpha \quad (2.2)$$

em que:

$N_{\text{acumulado}}$ - número acumulado de veículos pesados;

$N_{\text{acumulado}, \text{eixo padrão}}$ - número acumulado de eixos padrão;

$TMDA_0$ - Tráfego Médio Diário Anual de veículos, no ano zero, na totalidade das vias;

t - taxa de crescimento anual;

n - vida útil (anos);

α - fator de agressividade;

P - distribuição lateral de tráfego na via mais solicitada (Quadro 2.1).

Quadro 2.1– Percentagem do tráfego na via mais solicitada

Nº de vias	Via mais solicitada (%)
2	90
3 ou mais	80

Na Europa, está generalizada a utilização do eixo padrão de 130 kN. No entanto, em Timor-Leste, por influência da Indonésia, ainda se utiliza o eixo padrão de 80 kN (Figura 2.2).

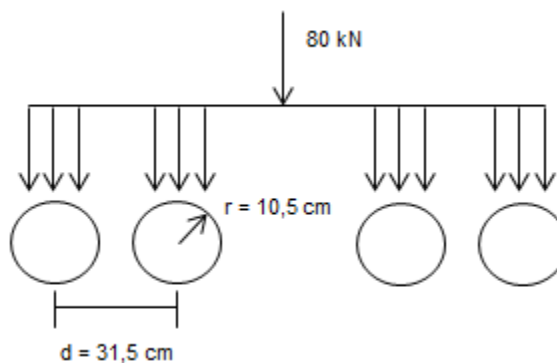


Fig. 2.2 – Esquema do eixo padrão N_{80}

Condições climáticas

Os pavimentos são estruturas expostas às ações climáticas, daí estas serem fatores importantes no dimensionamento, condicionando os trabalhos de construção e conservação dos pavimentos e também a segurança da circulação rodoviária.

As condições climáticas que mais influenciam o comportamento dos pavimentos são os fatores

térmicos e os fatores hídricos. As condições hídricas afetam o estado de humidade das camadas granulares e do solo da fundação e condicionam, deste modo, o seu comportamento mecânico. Nos pavimentos flexíveis, as condições térmicas afetam as propriedades mecânicas das misturas betuminosas.

Refere-se ainda que a resistência à derrapagem diminui quando as superfícies estão molhadas ou cobertas de gelo. O polimento dos agregados pelo tráfego torna os revestimentos mais suscetíveis à água na derrapagem. A temperatura influi na interação dos pneumáticos com os pavimentos. A perda de resistência à derrapagem dos pavimentos molhados é séria quando os veículos se deslocam rapidamente, pois há ainda o risco da hidroplanagem pela formação de uma película de água entre o pneumático e a superfície do revestimento. Nestas circunstâncias, o veículo foge ao controle de quem o dirige e passa a deslizar livremente.

Condições de fundação

As características do solo de fundação que serve de base ao pavimento têm grande relevância no dimensionamento do pavimento e no seu futuro comportamento.

O solo de fundação é constituído por solo natural, sendo que, em alguns casos, quando o solo de fundação não apresenta as características mecânicas mínimas, pode ser submetido a estabilização ou considerada uma camada de melhor qualidade, constituindo no final o designado "leito do pavimento".

Em zonas de aterro a fundação será constituída por solos seleccionados dispostos e compactados por camadas, que devem obrigatoriamente aumentar a qualidade para a superfície.

A capacidade de suporte da fundação, cujo conhecimento é necessário para dimensionar os pavimentos, foi durante muitos anos predominantemente caracterizada pelo seu Índice California de Capacidades de Carga (CBR – California Bearing Ratio). Com base neste índice, surgiu a tendência para caracterizar a capacidade de suporte dos solos de fundação dos pavimentos por um "módulo de rigidez" que traduzisse a relação entre a pressão aplicada e os assentamentos, ou entre as tensões e extensões instaladas. O cálculo do CBR pode ser efetuado através de ensaio "in situ" ou em laboratório. Este ensaio é geralmente usado como um indicador da capacidade resistente dos materiais das camadas de suporte dos pavimentos e da fundação das infra-estruturas de transporte.

De acordo com a fórmula de SHELL, (expressão 2.3) é possível determinar o Módulo de Deformabilidade (ou rigidez) da fundação:

$$E_f = 10 \times CBR \quad (2.3)$$

sendo:

E_f - Módulo de deformabilidade da fundação (MPa);

CBR - California Bearing Ratio (%).

Materiais de pavimentação

Os materiais que constituem as camadas de pavimento devem ter determinadas propriedades e garantir determinados desempenhos para que o pavimento, no seu conjunto, ofereça as condições para que foi concebido.

As camadas não tratadas dum pavimento são em geral constituídas por materiais provenientes da britagem de rocha sã, podendo nalgumas circunstâncias serem constituídas por solos seleccionados. É habitual designá-las por "agregado britado de granulometria extensa" e podem constituir a sub-base ou/e a base, dependendo do tipo de pavimento (Branco, 2011).

Na avaliação do comportamento mecânico dos materiais granulares deve atender-se à resistência, à deformabilidade e à ocorrência de deformação permanente (Vale, 2004). As camadas granulares não tratadas, sub-base e base granular, têm um papel relevante no comportamento estrutural de pavimentos flexíveis. Os materiais granulares que constituem os pavimentos flexíveis, e os solos de fundação destas estruturas estão sujeitos a condições hídricas e de solicitação, diferentes das condições comuns em geotecnia, tais como: existência de baixas tensões verticais, em pavimentos não carregados; presença de pressões de água de magnitude pequena, atingindo por vezes valores negativos; campo de tensões com direção variável resultante da aplicação de cargas móveis repetidas provenientes de tráfego (Vale, 2004).

No pavimento flexível, na camada de base, utilizam-se materiais granulares, que podem ser tratados (com ligantes hidráulicos ou betuminosos) ou não tratados. As camadas granulares devem resistir às ações induzidas pelo tráfego e distribuí-las pela camada de fundação, por forma a que possam ser suportadas por esta. Estas camadas trabalham essencialmente por atrito interno entre as partículas do seu esqueleto mineral, pelo que a resistência ao desgaste por atrito dos agregados que as compõem são questões essenciais. Quando se empregam agregados pouco resistentes, ocorre a produção de finos em excesso, o que tem como consequência o aumento da deformabilidade (CEPSA, 2010).

Por outro lado, é conveniente que as camadas inferiores do pavimento sejam tão permeáveis quando possível, para que possam proporcionar a saída da água infiltrada da superfície. Trata-se de pavimentos cujas camadas se caracterizam de baixo para cima por uma capacidade de suporte crescente e uma permeabilidade decrescente (CEPSA, 2010).

As misturas betuminosas que constituem as camadas superiores do pavimento devem ser concebidas de maneira a que cumpram a sua função, quer ao nível da fase de construção do pavimento quer na fase posterior da entrada em serviço. Assim, as misturas devem exibir adequadas características de: trabalhabilidade, deformabilidade, resistência à fadiga, resistência à deformação permanente e durabilidade.

As misturas betuminosas são compostas por betume e agregados, eventualmente com função de aditivos ou produtos especiais, misturados de forma uniforme e em proporções adequadas, de modo a formar uma massa homogênea. Estas misturas podem ser realizadas a frio ou a quente.

2.3. DIMENSIONAMENTO PAVIMENTO FLEXÍVEL

Relativamente às metodologias de dimensionamento atuais, deve dizer-se que existem essencialmente duas: a empírica e a analítica. Esta é, por vezes, denominada empírico-mecanicista.

No dimensionamento empírico-mecanicista de pavimentos flexíveis, com base nos métodos da SHELL e da Universidade de Nottingham, consideram-se critérios de controlo de extensões (critérios de dimensionamento) geralmente através do estabelecimento dum valor admissível para as mesmas. Atualmente, os mecanismos de ruína considerados são a fadiga e a deformação permanente.

A seguir descreve-se, sumariamente, o processo de dimensionamento empírico-mecanicista de pavimentos flexíveis, metodologia que se pretende generalizar em Timor-Leste. Assim, no dimensionamento de pavimentos flexíveis consideram-se as seguintes fases:

1. Definição do número de eixos padrão

Como já referiu anteriormente, para a definição do número de eixo padrão, consideram-se as expressões 2.1 e 2.2.

2. Definição preliminar da estrutura de pavimento (espessura das camadas e composição dos materiais de pavimentação)

3. Estimativa do módulo de deformabilidade do solo de fundação e dos materiais granulares

O módulo de deformabilidade do solo da fundação, pode ser estimado a partir do CBR, como se indica na expressão (2.3).

$$E_f = 10 \times CBR$$

sendo:

E_f , o módulo de deformabilidade do solo de fundação (MPa);

CBR , o valor obtido no ensaio CBR (%);

O módulo de deformabilidade dos materiais granulares, das camadas de sub-base e de base, obtém-se com a expressão (2.4).

$$2 < E_i / E_{i+1} = 0,2h_i^{0,45} < 4 \quad (2.4)$$

sendo,

E_i e E_{i+1} , os módulos de deformabilidade (MPa) da camada i e da camada $i+1$, respetivamente (numeração das camadas aumenta com a profundidade do pavimento);

h_i , a espessura da camada i (mm).

Veja-se que, o módulo de deformabilidade das camadas de granulares é determinado em função do módulo de deformabilidade da camada imediatamente inferior e da espessura da própria camada.

4. Cálculo do módulo de deformabilidade da mistura betuminosa

Para o cálculo do módulo de deformabilidade das misturas betuminosas há que ter em conta os seguintes passos:

4.1 Cálculo da temperatura de serviço (T_{ser})

Esta temperatura pode ser estimada a partir do ábaco indicado na Figura 2.3 e depende da espessura da camada betuminosa (h).

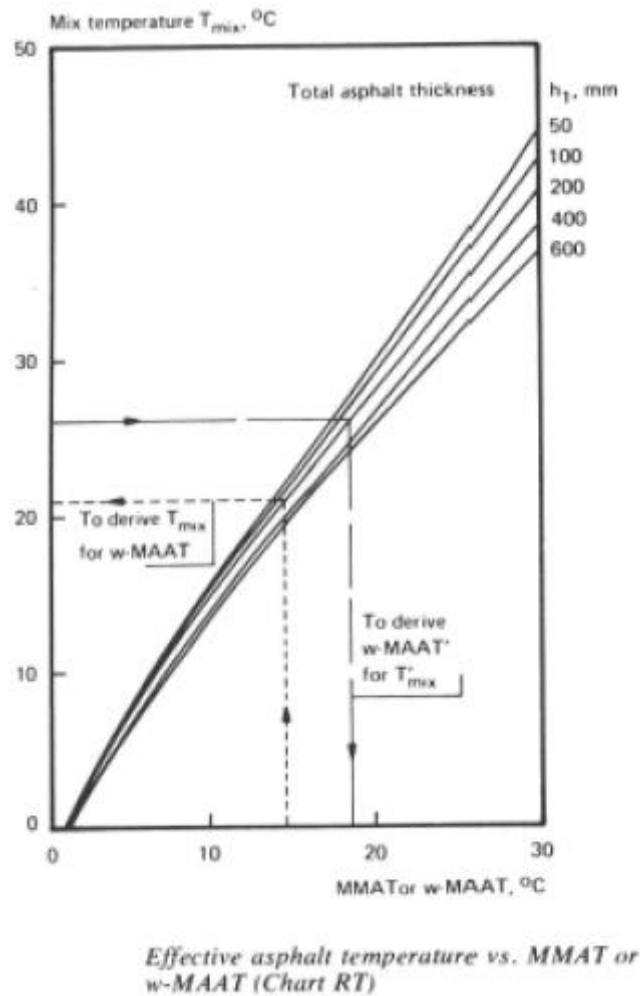


Fig. 2.3 - Temperatura de serviço das camadas betuminosas (Santos, 2015)

4.2 Cálculo de rigidez do betume (S_b)

Um dos métodos de cálculo da rigidez do betume consiste na consulta do nomograma de Van der Poel, exposto na Figura 2.4, que relaciona o tempo de carregamento (frequência), a temperatura de serviço da camada betuminosa, a temperatura de amolecimento e o índice de penetração do betume com a rigidez do ligante.

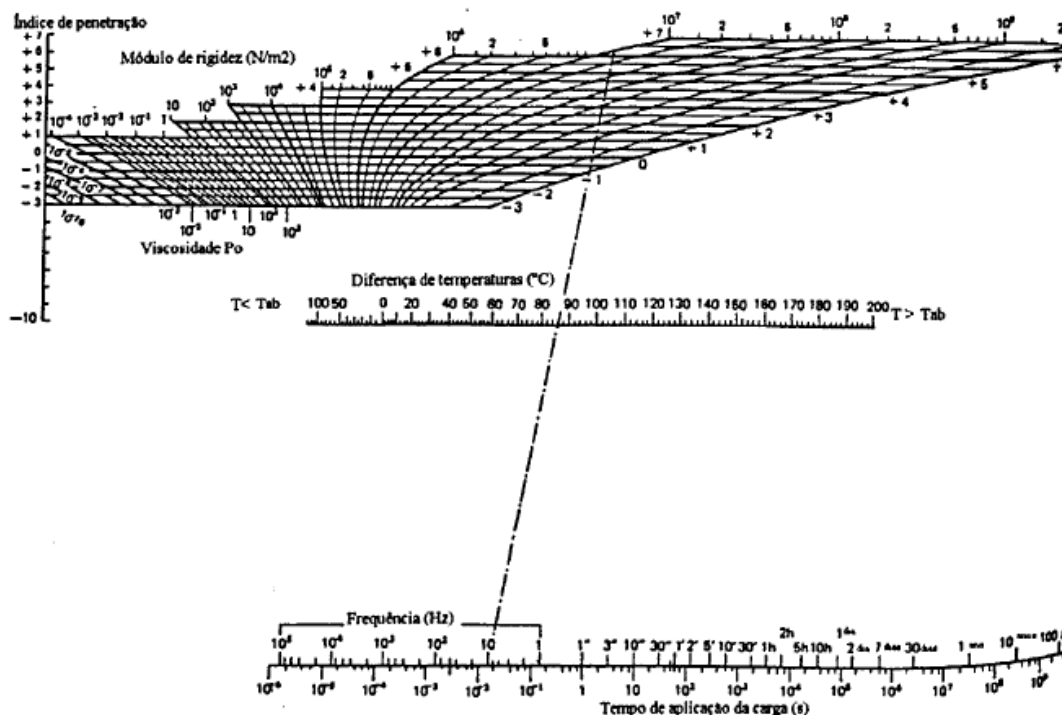


Fig. 2.4 - Nomograma de Van der Poel para a determinação da rigidez do betume (Vale, 2004)

Contudo, o nomograma Van der Poel não permite ler o valor da rigidez do betume com rigor, pelo que existem expressões baseadas no nomograma e em ensaios empíricos para determinar a rigidez do betume, que se apresentam no Quadro 2.2

Quadro 2.2 – Cálculo da rigidez do betume (Vale, 2004).

Expressão	Gama de utilização
$S_b \text{ (MPa)} = (1,157 \times 10^{-7}) \times (t_c^{-0,368}) \times (2,718^{-I_{penr}}) \times (T_{abr} - T)^5$	$0,01 \text{ s} < t_c < 0,1$ $-1,0 < I_{penr} < 1,0$ $20^\circ\text{C} < (T_{abr} - T) < 60^\circ\text{C}$
$\log(S_b) = -1,35927 - 0,06743 T_{abr} - 0,90251 \log(t_c) + 0,00038 T_{abr}^2 - 0,00138 T_{abr} \log(t_c) + 0,00661 I_{pen} T_{abr}$	$10^{-3} < S_b < 1 \text{ MPa}$ $S_b (0,1 \text{ MPa})$
$\log(S_b) = -1,00972 - 0,11485 (T_{abr} - T) - 0,38423 I_{penr} - 0,94259 \log(t_c) - 0,0879 (T_{abr} - T) \log(t_c) - 0,05643 I_{penr} \log(t_c) - 0,02915 \log(t_c)^2 - 0,51873 \times 10^{-3} (T_{abr} - T)^2 + 0,00113 I_{Penr}^3 (T_{abr} - T) - 0,01403 (I_{penr} T_{abr} - T)^3 \times 10^{-5}$	$1 < S_b < 2000 \text{ MPa}$ $10^{-2} \text{ s} < t_c < 105 \text{ s}$ $-1,5 < I_{penr} < 2,0$ $-100^\circ\text{C} < (T_{abr} - T) < 50^\circ\text{C}$

Refere-se o significado das variáveis das expressões indicadas no Quadro 2.2:

S_b , rigidez do betume, em MPa;

tc , tempo de carregamento, em segundos (calculado pela expressão 2.5);

I_{pen} , índice de penetração do betume (calculado pela expressão 2.6);

Tab , temperatura de amolecimento do betume pelo método do anel e bola;

T_{ser} , temperatura de serviço em $^{\circ}C$.

$$tc = 2r / V \quad (2.5)$$

$$I_{pen} = \frac{20 \times Tab + 500 \times \log(pen25) - 1955,55}{Tab - 50 \times \log(pen25) + 120,15} \quad (2.6)$$

Note-se que $pen25$ é a penetração do betume a uma temperatura de $25^{\circ}C$, em dmm, r é o raio da superfície de contacto em m e V é a velocidade em m/s.

Os valores de Tab , $pen25$, e I_{pen} devem corresponder à situação de serviço, ou seja, devem ser corrigidos de modo a contabilizar o endurecimento associado ao processo de fabrico e à aplicação *in situ* das misturas betuminosas. Assim, os valores corrigidos assinalam-se com o índice r , que se refere a betume recuperado de mistura em serviço, e calculam-se de acordo com as equações (2.7), (2.8), e (2.9).

$$I_{pen_r} = \frac{27 \times \log(pen25) - 21,65}{76,35 \times \log(pen25) - 232,82} \quad (2.7)$$

$$Tab_r = 99,13 - 26,35 \times \log(pen25_r) \quad (2.8)$$

$$pen25_r = 0,65 \times pen25 \quad (2.9)$$

Depois, para o cálculo do módulo de deformabilidade da mistura betuminosa pode recorrer-se a várias expressões ou ábacos definidos por diversos autores, como por exemplo:

- método da SHELL
- método de Nottingham

Note-se que estes métodos são válidos apenas para valores de rigidez do betume superiores a 5 MPa.

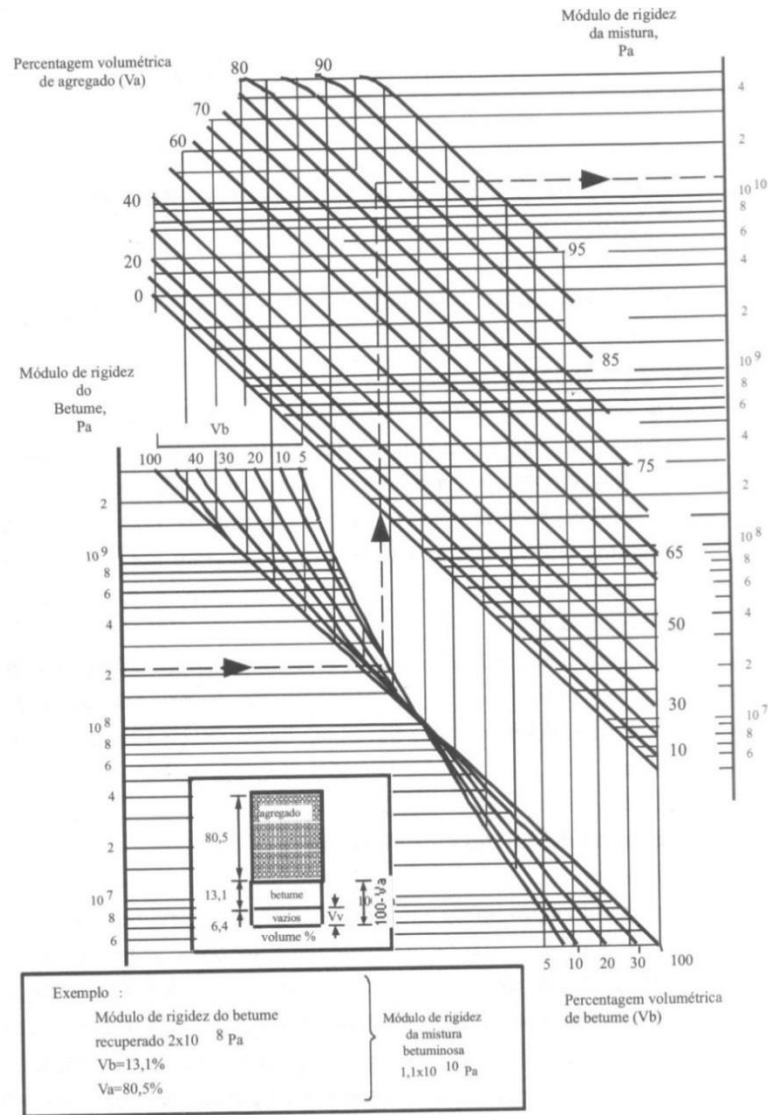


Fig. 2.5 - Ábaco da SHELL para cálculo da deformabilidade de misturas betuminosas (Santos, 2015).

A expressão de Nottingham está indicada em (2.10).

$$Em = S_b \left[1 + \frac{257,5 - 2,5VMA}{n(VMA - 3)} \right]^n \quad (2.10)$$

sendo:

Em , o módulo de deformabilidade da mistura betuminosa, em MPa;

sb , o módulo de rigidez do betume, em MPa;

VMA , o volume de vazios no agregado compactado, em % ($12\% < VMA < 30\%$);

$$n = 0,83 \log \frac{4 \times 10^4}{S_b}$$

É de referir que, geralmente, os módulos de deformabilidade calculados por este método são superiores aos obtidos pelo método da SHELL.

5. Cálculo do estado de tração – deformação permanente

Para esta etapa é habitual recorrer-se ao programa de cálculo, tais como o ALIZE, ELSYM5 ou outros.

6. Critérios de ruína

▪ Critério de fadiga

O fendilhamento por fadiga é tanto mais rápido quanto mais elevados forem os esforços de tração instalados. As leis de comportamento à fadiga, regra geral, relacionam a extensão máxima de tração induzida com o correspondente número de aplicações de carga que conduz à ruína do material por este critério de rotura (Lopes, 2009).

A lei de fadiga proposta pela SHELL, é uma das mais conhecidas e utilizadas. A vida duma camada betuminosa à fadiga é função do nível de extensão, da quantidade de betume e do módulo de deformabilidade da mistura.

Este critério controla extensão radial de tração (ϵ_t) na zona mais traccionada das camadas betuminosas.

$$\epsilon_t = K \times N^{-0,20} \quad (2.11)$$

$$K = (0,856 \times V_b + 1,08) \times Em^{-0,36} \quad (2.12)$$

sendo:

ϵ_t , extensão de tração;

N , número de eixos padrão;

V_b , volume de betume (%);

Em , módulo de deformabilidade da mistura betuminosa, (Pa);

K , parâmetro em que $3,2 \times 10^{-3} < K < 3,6 \times 10^{-3}$, betões betuminosos;

$2,6 \times 10^{-3} < K < 2,8 \times 10^{-3}$, macadames betuminosos.

▪ Critério de deformação permanente

O critério de deformação permanente, associado às camadas de granulares e controlado pela extensão vertical (elástica) máxima de compressão (ϵ_{dp}) no topo do solo de fundação.

$$\epsilon_{dp} = ks \times N^{-0,25} \quad (2.13)$$

sendo,

ε_{dp} , a extensão vertical de compressão no topo do solo de fundação;

k_s , o parâmetro de que depende a probabilidade de sobrevivência:

$k_s = 2,8 \times 10^{-2}$ para 50% de sobrevivência;

$k_s = 2,1 \times 10^{-2}$ para 85% de sobrevivência;

$k_s = 1,8 \times 10^{-2}$ para 95% de sobrevivência.

Na Figura 2.6, ilustra a localização das extensões de tração e de compressão máximas num pavimento rodoviário flexível.

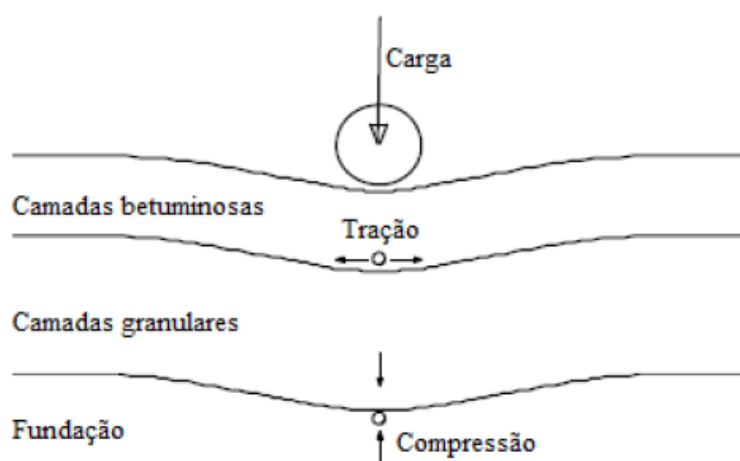


Fig. 2.6 – Extensões de tração e compressão usadas como critérios de ruína (Francisco, 2012).

7. Verificação do dimensionamento

O pavimento está corretamente dimensionado, no caso do dano D estar compreendido entre 80% e 100%. Este rácio avalia-se em percentagem, como se indica na expressão (2.14).

$$80\% \leq D = \frac{N_p}{N_{adm}} \times 100 \leq 100\% \quad (2.14)$$

em que,

N_p é o número acumulado de passagens de eixos padrão previstos;

N_{adm} é o número acumulado de passagens de eixos padrão admissíveis.

Se $D < 80\%$, haverá sobredimensionamento, e se $D > 100\%$ haverá subdimensionamento da estrutura de pavimento.

3

CASO EM ESTUDO: TIMOR-LESTE

3.1. INTRODUÇÃO

Timor-Leste é um dos países mais jovens do mundo. Situa-se no continente da Ásia, na região do Sudeste Asiático, a noroeste da Austrália, no arquipélago das ilhas de Sonda, na ponta Oriental do arquipélago Indonésio, ocupando a metade oriental da ilha de Timor. Também pertencem a Timor-Leste o enclave de Oecusse, situado na costa norte da parte ocidental de Timor, com 815 km², a ilha de Ataúro, a norte da costa de Díli, com 141 km², e o ilhéu de Jaco, no extremo leste do país, com 11 km² (Figura 3.1). O território apresenta uma área total de, aproximadamente, 15.000 km² e a sua única fronteira terrestre, com 228 km de extensão, faz ligação à Indonésia. Tem, também, fronteira marítima com a Austrália, no mar de Timor, a sul.

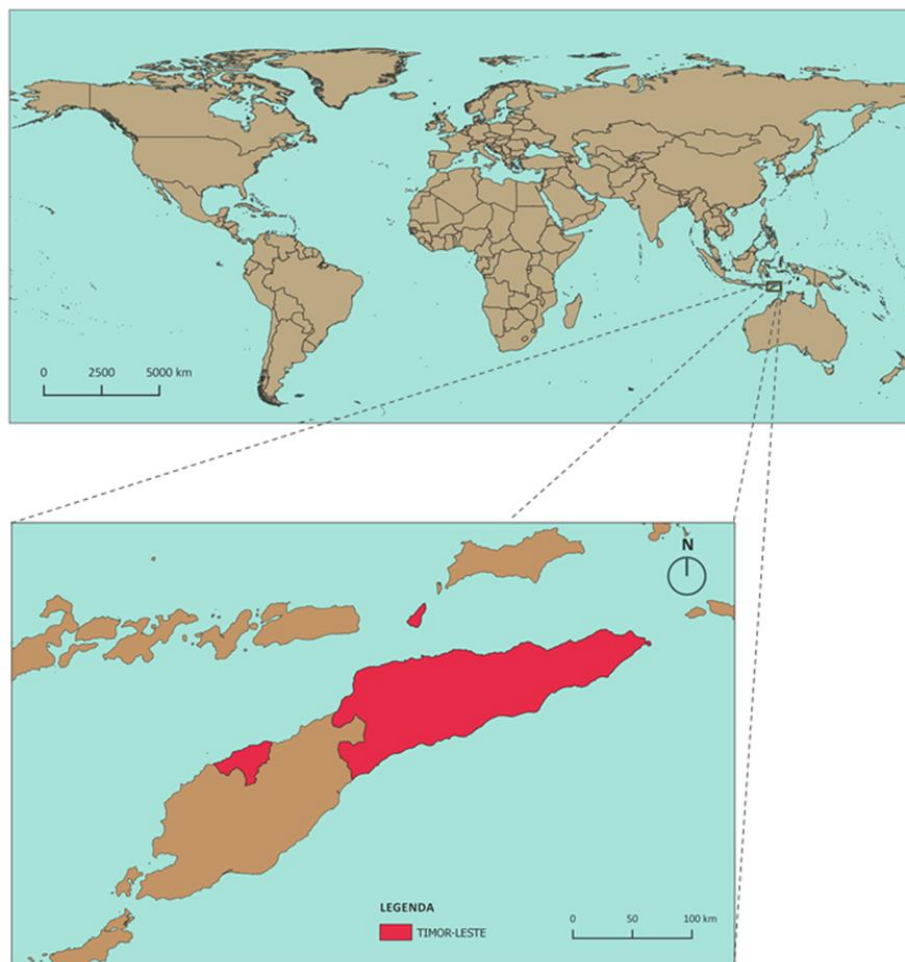


Fig. 3.1 – Mapa de Timor-Leste.

Fonte: Elaboração própria no QGIS

Em termos administrativos, desde 20 de maio de 2002, o território de Timor-Leste está dividido em 13 distritos: Baucau, Bobonaro, Díli, Lautém, Liquiçá e Manatuto, na costa norte; Ainaro, Cova Lima, Manufahi e Viqueque, na costa sul; Aileu e Ermera, situados no interior montanhoso; e o enclave de Oecusse no território indonésio, como se mostra na Figura 3.2.

Cada um destes distritos possui uma cidade capital e é formado, por sua vez, por subdistritos, variando o número destes entre 3 e 7, em média 5 subdistritos por distrito. Como tal, o país é constituído por 67 subdistritos, sendo que, cada subdistrito possui também uma localidade capital e subdivisões administrativas - os sucos. O maior subdistrito é o de Lospalos, em Lautém, com 635 km², e o menor é Nainfeto, em Díli, com 6 km².

Como referido, a menor divisão administrativa é o suco, que pode ser composto por uma ou mais aldeias. Os sucos variam entre 2 a 18, numa média de 7 por subdistrito, existindo, no total, 498 sucos no território. O distrito de Baucau é o que tem um maior número de sucos, 67, e o distrito de Ainaro é o que apresenta menos divisões, 21 sucos.

Relativamente às dimensões dos sucos, os maiores encontram-se localizados nos distritos mais

orientais de Timor-Leste, com destaque para Laline, no subdistrito de Lacluta, distrito Viqueque, com 212 km². Os 15 sucos de menores dimensões encontram-se situados no distrito de Díli, assemelhando-se a bairros, com áreas compreendidas entre 2 km² e 6 ha.

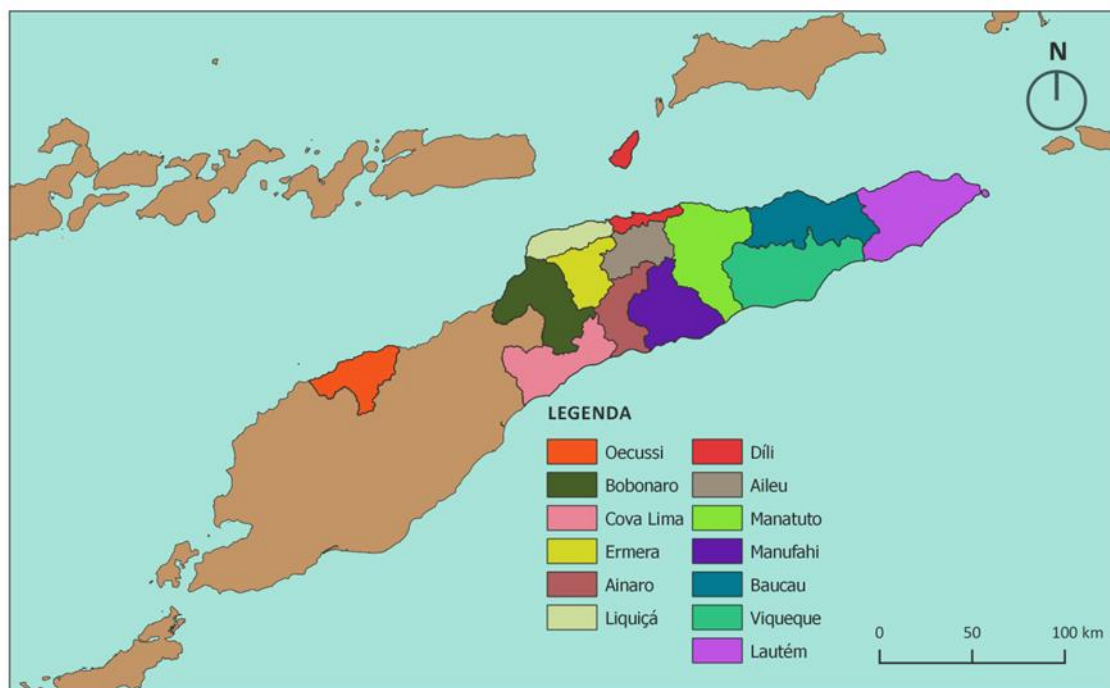


Fig. 3.2 – Mapa dos Distritos de Timor-Leste

Fonte: Elaboração própria no QGIS

Em termos políticos, o Governo de Timor-Leste é considerado, desde 20 de maio de 2002, um sistema semi-presidencialista de governo com um Presidente da República e um Parlamento Nacional. O Governo responde perante o Presidente da República e o Parlamento Nacional pela condução e execução da política interna e externa, nos termos da Constituição e da Lei.

De acordo com a Constituição do país, o tétum e o português são as línguas oficiais da República Democrática de Timor-Leste. Para além destas duas, existem no território mais 15 línguas nacionais diferentes: *ataurense*, *baiqueno*, *becais*, *búnaque*, *cauaimina*, *fataluco*, *galóli*, *habo*, *idalaca*, *lovaia*, *macalero*, *macassai*, *mambai*, *quémaque* e *tocodede*. Atualmente, a língua indonésia e a inglesa são também línguas de trabalho em uso na Administração Pública a par das línguas oficiais.

Em termos demográficos, de acordo com os resultados preliminares do documento “Population and Housing Census 2015”, de julho de 2015, a população atual de Timor-Leste é de 1.167.242 habitantes, tendo aumentado de 1.066.409, em 2010, para 1.167.242, em 2015, correspondente a um crescimento populacional de 9,46% durante o período 2010-2015. Refere-se que, nos últimos 35 anos, a população de Timor-Leste duplicou, tendo aumentado de 555.350 habitantes, em 1980, para 1.167.242, em 2015. Segundo os Censos 2015, o número total de homens e de mulheres em Timor-Leste é, respetivamente, de 588.651 e 578.681. Entre 1990 e 2001, a população manteve-se quase estagnada, mas tem aumentado constantemente desde então, como se indica no Figura 3.3.

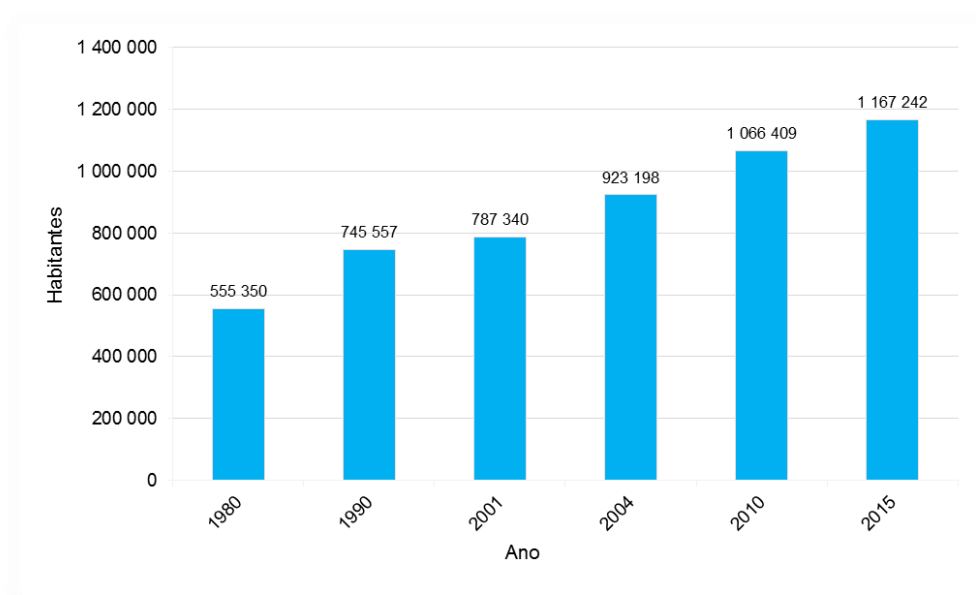


Fig. 3.3 - Evolução da população de Timor-Leste [1980-2015]

A capital de Timor-Leste, Díli, registou, em 2015, uma população de 252.884 habitantes, ou seja, a maior população entre todos os distritos

Na Figura 3.4, apresenta-se a distribuição da população total de Timor-Leste pelos seus distritos. Os distritos com mais de 100.000 habitantes são Díli, Ermera e Baucau. Bobonaro, Viqueque, Liquiça, Oecusse, Ainaro, Covalima e Lautem têm uma população entre 60.000 a 100.000 habitantes. Manufahi, Aileu e Manatuto apresentam uma população inferior a 60.000 habitantes. A população de Díli representa 21,67% da população total de Timor-Leste.

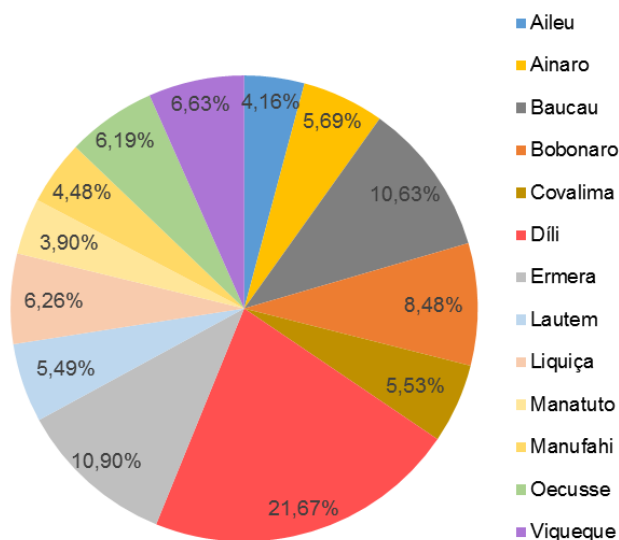


Fig. 3.4 - Distribuição da População de Timor-Leste [2015]

De acordo com os resultados preliminares dos Censos 2015, a densidade populacional de Timor-Leste aumentou de 71 pessoas por km², em 2010, para 78 pessoas por km², em 2015. No caso de Díli, a densidade populacional aumentou de 638 pessoas por km², em 2010, para 689 pessoas por km², em 2015, sendo que a área total de Díli é de 367 km² (Figura 3.5).

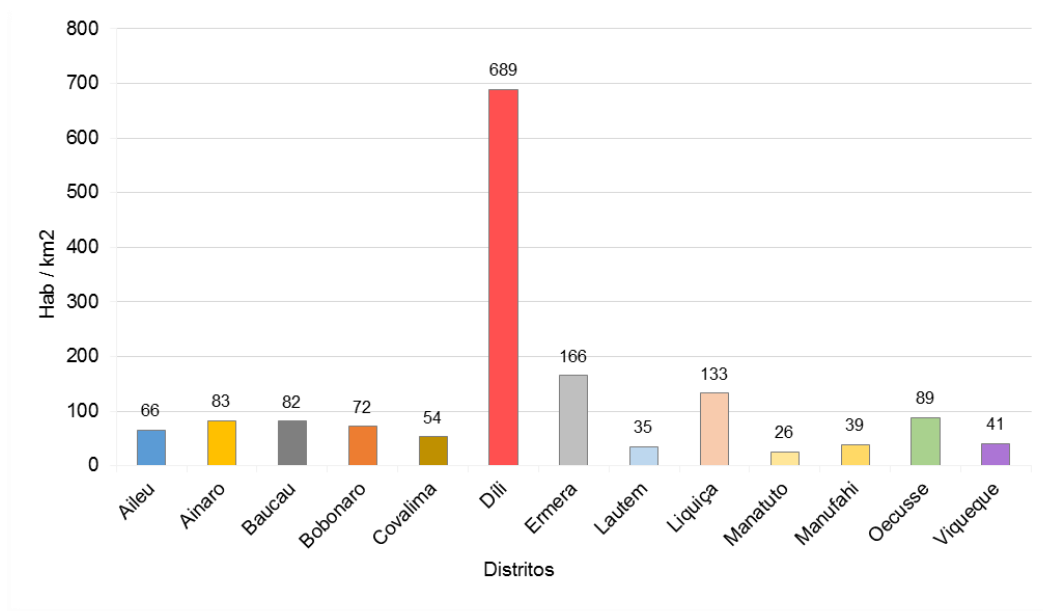


Fig. 3.5 - Densidade Populacional de Timor-Leste [2015]

Apesar da maioria da população ainda viver em zonas rurais, verifica-se uma elevada migração rural-urbana, em grande parte para a capital Díli, onde os níveis de vida são visivelmente maiores. As pessoas que vivem nas zonas urbanas de Timor-Leste têm, geralmente, um melhor acesso aos mercados, às escolas, às unidades de saúde, à eletricidade e ao transporte, e também tendem a viver em casas de melhor qualidade.

Pela descrição sumária apresentada relativa a Timor-Leste, pode referir-se que há necessidade de desenvolvimento das infra-estruturas do País, de modo a torná-lo moderno e produtivo. A criação de novas infra-estruturas de transporte e a melhoria das existentes são essenciais para que Timor-Leste se desenvolva económica e socialmente.

Também a tendência crescente do número de veículos importados em Timor-Leste, que se mostra na Figura 3.6, revela a importância do peso das infra-estruturas rodoviárias no País.

Assim, apresenta-se na figura seguinte e a variação de veículos importados observada entre 2008 e 2013, bem como a linha de tendência (estimativa) adaptada aos valores registados e a partir da qual se calculou a taxa de crescimento.

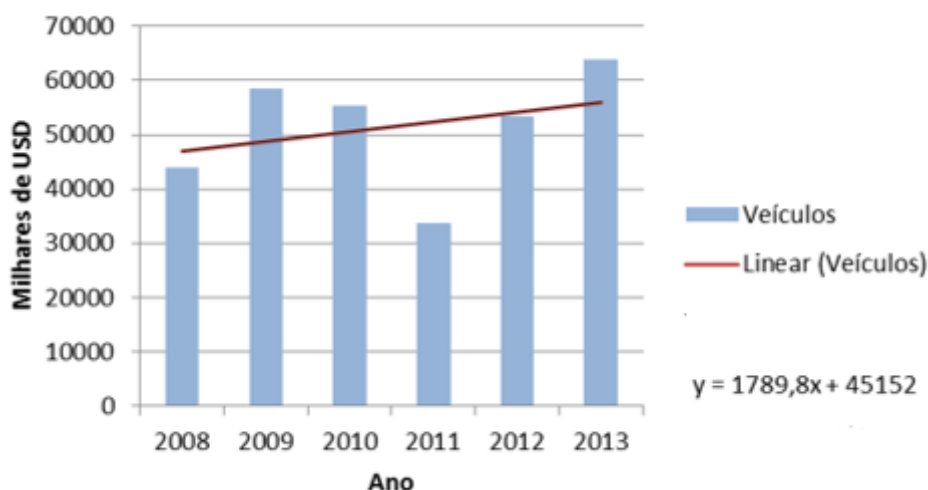


Fig. 3.6 - Tendência da importação de veículos em Timor-Leste [2008 – 2013]

3.2. CARACTERIZAÇÃO DAS VIAS DE COMUNICAÇÃO EM TIMOR-LESTE

Considera-se que as infraestruturas de transporte são as aeroportuária, portuária e rodoviária.

É de referir que Timor-Leste não possui infraestrutura ferroviária no seu território. Faz-se, neste trabalho, uma breve descrição das infraestruturas aeroportuária, portuária e rodoviária como enquadramento ao trabalho adiante apresentado.

▪ INFRAESTRUTURA AEROPORTUÁRIA

O Aeroporto Internacional Presidente Nicolau Lobato, em Díli, é o único aeroporto internacional em Timor-Leste. Tem uma pista com um comprimento de 1850 m e 30 m de largura, uma torre de controlo, um terminal de passageiros e um terminal VIP separado. O aeroporto apresenta condições precárias e, atualmente, não tem capacidade de acomodar aeronaves de grande porte (Figura 3.7 e 3.8).

Em termos regionais, existem em Timor-Leste:

- Aeroporto em Baucau, com uma pista de 2500 m, e que presentemente não está operacional;
- Aeroporto no Suai, com uma pista de 1050 m;
- Aeroporto de Oecusse Ambeno, com uma pista de cascalho;
- 5 aeródromos com pistas em condições precárias.

Nenhum destes aeroportos e aeródromos regionais possui serviços regulares de transporte.



Fig. 3.7 - Aeroporto Internacional Presidente Nicolau Lobato Díli

Fonte: Google



Fig. 3.8 - Pista do Aeroporto Internacional de Timor-Leste

Fonte: Google

▪ INFRAESTRUTURA PORTUÁRIA

Atualmente, o Porto de Díli é o único porto marítimo internacional em Timor-Leste. O comprimento do cais do porto é de 380 metros e pode acomodar, simultaneamente, dois navios de grande porte (Figura 3.9). Os serviços regulares de transporte direto de mercadorias são atualmente oferecidos para a Austrália, Malásia, Indonésia e Singapura. O serviço de ferry funciona entre Díli e Oecusse, duas vezes por semana, e entre Díli e Ataúro, uma vez por semana. O Porto de Díli apresenta dificuldades em dar vazão ao enorme volume de carga, ou seja, a capacidade limitada do Porto provoca atrasos na atracação de entre três e oito navios.

Timor-Leste também possui instalações portuárias em Hera, Tibar, Oecusse, Karabela, Ataúro e Com.

Contudo, todas elas apresentam condições precárias de conservação. Os Portos em Oecusse e Ataúro oferecem o único meio significativo de acesso a estas regiões. Na costa sul de Timor-Leste não existem Portos para atracagem de pequenos navios, o que implica que toda a agricultura e indústria seja totalmente dependente do transporte rodoviário para o norte.



Fig. 3.9 - Portuário Díli de Timor-Leste

Fonte: Google

▪ INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA

Apesar da infraestrutura rodoviária ser o principal modo de transporte e de promoção do desenvolvimento socioeconómico e da circulação de recursos, tanto para as áreas rurais como urbanas, Timor-Leste ainda não possui uma rede viária adequada para os seus cidadãos.

A rede de estradas existente está deteriorada, com a maioria das rodovias em más condições, exigindo reparações ou reconstrução. Cerca de 90% das estradas nacionais estão em más ou muito más condições, com apenas 10% em boas condições. Mais de 90% das estradas nos distritos estão em mau estado (Plano Estratégico Desenvolvimento 2011-2030, de Timor-Leste), como se mostra nas Figuras 3.10, 3.11 e 3.12.

A construção e manutenção de estradas, no interior de Timor-Leste são um desafio devido ao terreno montanhoso e altos níveis de lama e água. A largura média da superfície do pavimento de estradas nacionais e regionais é de 4,5 m, o que se considera estreita para os padrões internacionais. Além disso, muitas partes do país ficam regularmente isoladas, devido às estradas e pontes se tornarem intransitáveis, quando levadas pela força da água ou bloqueadas por deslizamentos de terra e inundações. Isso restringe a capacidade das pessoas de se deslocarem e dos bens serem transportados. Também isola partes do país e restringe o desenvolvimento regional.



Fig. 3.10 - Estrada Nacional de Manatuto – Natarbora

Fonte: Google Maps



Fig. 3.11 - Estrada Nacional de Manatuto – Baucau

Fonte: Google Maps



Fig. 3.12 - Estrada Nacional de Díli – Liquiça

Fonte: Google

Com o objetivo de caracterizar a rede rodoviária de Timor-Leste, definiu-se a sua hierarquização, de acordo com os seguintes níveis:

- Nível I – Rede de Estradas Nacionais – Assegura a ligação entre os distritos;
- Nível II – Rede de Estradas Regionais – Permite a ligação entre os centros distritais e os sub-distritos;
- Nível III – Rede de Estradas Rurais – Permite o acesso às aldeias e às áreas mais remotas.

Na presente hierarquia do sistema viário não foi considerado nenhum nível referente a Auto-estradas, na medida em que, atualmente, não existe este tipo de vias no país.

No Quadro 3.1, pode ver-se qual a extensão existente da rede rodoviária de Timor-Leste, de acordo com os vários níveis da hierarquização viária considerada.

Quadro 3.1 - Extensão das Estradas de Timor-Leste

Tipo de Estrada	Extensão [km]
Nível I – Estradas Nacionais	1 426
Nível II – Estradas Regionais	869
Nível III – Estradas Rurais	3 025

Na Figura 3.13, apresenta-se a rede rodoviária existente em Timor-Leste.

A rede de nível I, que inclui as estradas nacionais (linha vermelha), é composta por duas estradas costeiras, ao longo das costas norte e sul, e cinco estradas que atravessam o país e cruzam com as duas estradas costeiras. Relativamente à rede de nível II, de estradas regionais (linha azul), esta é a menos extensa, necessitando de vários melhoramentos. A rede de nível III, relativa a estradas rurais (linha castanha), é a que apresenta uma extensão maior, pois mais de 70% da população de Timor-Leste vive em áreas rurais. No entanto, a condição das estradas rurais é precária, sendo necessária a sua reabilitação em cerca de 80% delas.

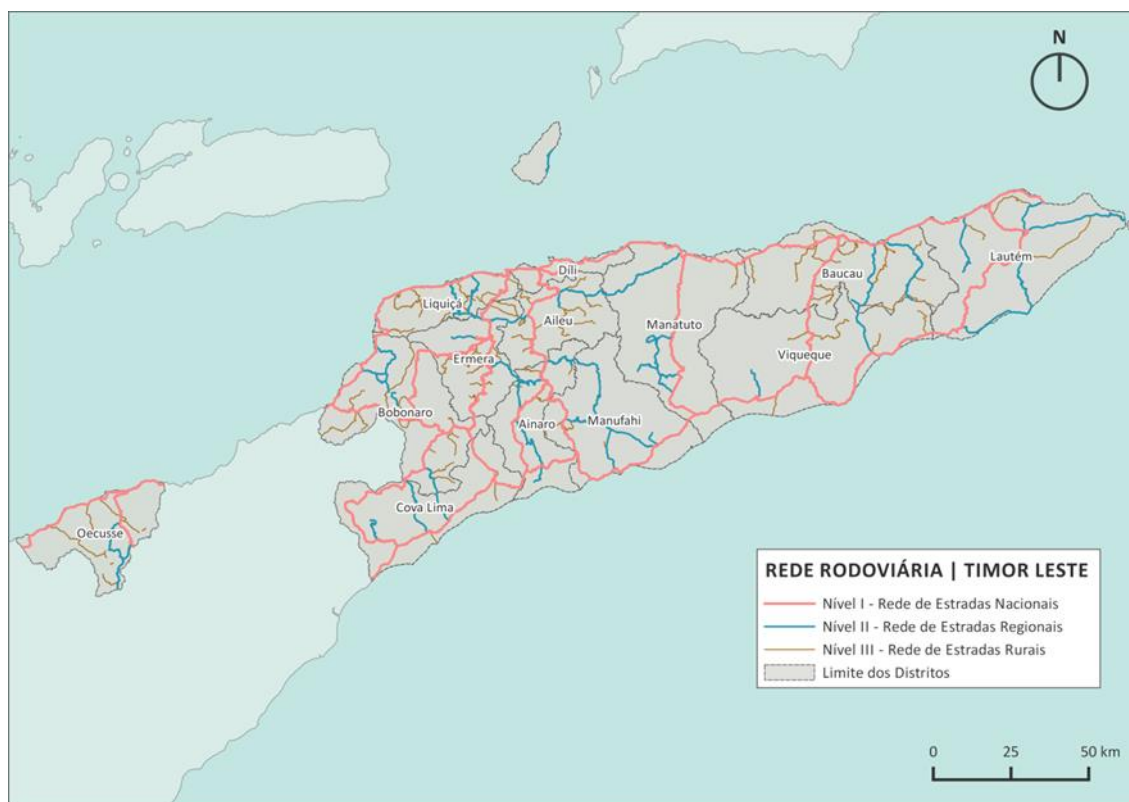


Fig. 3.13 - Rede Rodoviária de Timor-Leste

Fonte: PED 2011 -2030

Referindo-nos concretamente ao distrito de Díli, no Quadro 3.2 mostra-se a extensão da rede rodoviária existente, de acordo com os vários níveis de hierarquização considerados.

Quadro 3.2 - Extensão das Estradas de Díli

Tipo de Estrada	Extensão [km]
Nível I – Estradas Nacionais	75
Nível II – Estradas Regionais	10
Nível III – Estradas Rurais	-

Para além das estradas de níveis I, II e III, existem em Díli cerca de 300 km de arruamentos.

É de referir que existe um plano futuro para a rede rodoviária de Timor-Leste que consiste em:

1. Construção da auto-estrada de circunvalação

De acordo com o Plano Estratégico de Desenvolvimento de Timor-Leste (PED), está prevista a construção de uma Auto-estrada Nacional de Circunvalação. Essa auto-estrada terá duas vias em cada

sentido e oferecerá uma rodovia de circunvalação em torno do país, permitindo a circulação de veículos pesados a uma velocidade média de 60 km/h. Essa rodovia será construída progressivamente, sendo que as primeiras etapas irão envolver a construção de estradas nacionais de, apenas, uma via em cada sentido, deixando espaço-canal para adicionar, nas seguintes etapas, uma via extra em cada sentido.

2. Reabilitação, reparação e melhoria das estradas nacionais e regionais existentes

Conforme é referido no PED, prevê-se a reabilitação de todas as estradas nacionais e regionais existentes. Essa reabilitação implicará o alargamento das estradas para cerca de 7m de largura, deverá incluir bermas, drenagem e trabalhos de proteção de encostas, com o objetivo de estabilizar as estradas em zonas montanhosas.

3. Reabilitação das estradas rurais existentes

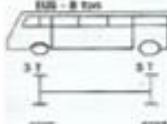
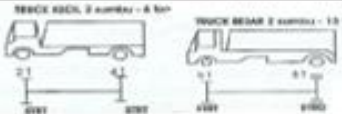
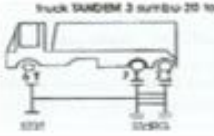
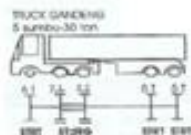
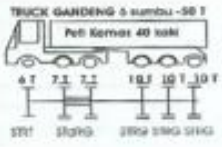
Conforme é referido no PED, prevê-se a reabilitação de todas as estradas rurais existentes. Essa reabilitação não envolverá a mesma complexidade das estradas nacionais e regionais. Apenas incluirá pavimentação, utilizando material asfáltico, obras menores nas bermas, drenagem e proteção de encostas.

3.3. CARACTERIZAÇÃO DO TRÁFEGO

Em Timor-Leste ainda não está adotada uma classificação para as categorias dos veículos automóveis que circulam nas estradas. Como tal, referem-se, neste estudo, as categorias indicadas no Manual de Dimensionamento de Pavimentos Rodoviários, utilizado na Indonésia e em Timor-Leste (Quadro 3.3).

Quadro 3.3 - Classe de Tráfego segundo o Manual de Dimensionamento de Pavimentos

Rodoviários da Indonésia, (Saodang, 2005).

Categoria	Tipo do Veículo	Silhuetas
1	Veículos de passageiros 2T de 4 rodas (automóveis, pick up, micro/mini bus)	
2	Autocarro	
3	Camião 2 eixos	
4	Camião 3 eixos	
5	Camião 5 eixos	
6	Semi trailer	

Legenda:

STRT = eixo simples com uma roda

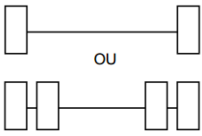
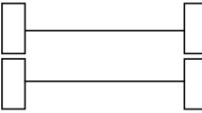
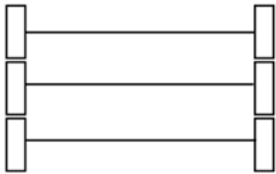
STRG = eixo simples com duas rodas

STdRG = eixo tandem com duas rodas

STrRG = eixo tridem (não ilustrada)

O dano induzido por cada veículo depende da carga por eixo e da respetiva configuração. A configuração da carga por eixo dos veículos pode ter três tipos de eixo: eixo simples, eixo duplo ou tandem e eixo triplo ou tridem (Quadro 3.4).

Quadro 3.4 - Tipologia de eixos dos veículos

Tipologia do eixo	Descrição	Configuração (em planta)
Simples	Eixo com um rodado em cada extremidade; o rodado pode ser simples ou duplo; geralmente o eixo dianteiro apresenta-se com uma só roda.	
Duplo ou tandem	Dois eixos com dois rodados próximos, um atrás do outro, em cada extremidade.	
Triplo ou tridem	Três eixos com três rodados próximos, um atrás do outro, em cada extremidade.	

Para serem considerados os eixos duplos e triplos, estes devem primeiro ser transformados em eixo simples. Decorrendo de diversos estudos referidos no manual da Indonésia (Saodang, 2005), e atendendo à sobreposição de efeitos dos rodados, tem-se considerado, em Timor-Leste, que, para pavimentos flexíveis:

$$\text{Eixo Tandem} \Leftrightarrow 0,086 \text{ Eixo Simples}$$

$$\text{Eixo Tridem} \Leftrightarrow 0,053 \text{ Eixo simples}$$

No dimensionamento de pavimentos flexíveis, o manual da Indonésia define o eixo padrão como um eixo simples com carga total igual a 8,16 Ton, ou seja, é o eixo equivalente a 80 kN.

Face ao exposto, as fórmulas a considerar para o cálculo da carga equivalente ao eixo padrão são:

$$AE \text{ eixo simples} = \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)^4 \quad (3.1)$$

$$AE \text{ eixo tandem} = 0,086 \times \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)^4 \quad (3.2)$$

$$AE \text{ eixo tridem} = 0,053 \times \left(\frac{P}{P_{ref}} \right)^4 \quad (3.3)$$

sendo que:

P - carga do eixo em kg

P_{ref} - carga do eixo padrão = 8160 kg

3.4. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

Timor-Leste fica situado na região equatorial, tem um clima tropical, quente e húmido, e tem duas estações anuais (estação seca e estação chuvosa) fixadas pelo regime de monções. Normalmente, a estação seca começa em junho e termina em outubro e a estação chuvosa começa em dezembro e termina em abril. Os meses de maio e de novembro são considerados meses de transição.

Segundo a classificação climática de E.C.J. Mohr, os meses considerados secos são aqueles que têm uma precipitação mensal inferior a 60 mm, os meses considerados chuvosos são aqueles que têm uma precipitação mensal superior a 100 mm e os meses considerados de transição são aqueles que têm uma precipitação mensal entre 60 mm e 100 mm. A precipitação anual apresenta valores muito díspares, oscilando entre os 500 mm e os 3000 mm anuais, sendo de 500 mm a 1000 mm no litoral norte, entre 1000 mm a 2000 mm no litoral sul e superior a 2000 mm nas zonas altas na região central e na vertente meridional da ilha.

A temperatura média anual de Timor-Leste é de 21°C. Contudo, esta varia de região para região devido à influência preponderante das diferentes altitudes. No litoral, o clima é quente e húmido, não se registando temperaturas muito altas e oscilando as médias dos mínimos e dos máximos entre os 19°C e os 31°C, respetivamente. Na zona central, o clima é frio, com temperaturas agrestes nas altas montanhas, onde se registam temperaturas mínimas na ordem dos 4°C. Nesta zona, as médias dos mínimos e dos máximos são 17°C e 29°C, respetivamente.

Quanto à humidade relativa, esta é elevada durante todo ano e oscila entre 70% e 80%.

Referindo-nos ao distrito de Díli, apresenta-se a caracterização climática realizada com base nos registos da estação climatológica de Díli (Latitude: 08°38' S; Longitude: 125° 31' E; Altitude: 3 m) no período de 12 anos, entre 2003 e 2014. Para essa caracterização climática consideraram-se os seguintes parâmetros:

- precipitação;
- temperatura do ar (média, máxima e mínima);
- humidade relativa.

▪ Precipitação

Com base nos dados da estação climatológica de Díli, entre 2003 e 2014, constata-se que a precipitação média mensal anual da zona em estudo é de 73,52 mm, tendo variado entre 40,10 mm em 2006 e 143,00 mm em 2010. Conforme se pode verificar na tabela e nos gráficos infra, o ano menos chuvoso foi 2006, com uma precipitação anual acumulada de 481,20 mm e o ano mais chuvoso foi 2010, com uma precipitação anual acumulada de 1716,40 mm. Curiosamente, o mês de dezembro de

2006 foi um dos meses mais chuvosos no período em análise. Consta-se, também, que os meses mais chuvosos foram fevereiro e dezembro, com uma precipitação média mensal de 162,50 mm e 159,40 mm, respetivamente. Os meses menos chuvosos foram agosto e setembro, com uma precipitação média mensal de 5,40 mm e 12,60 mm, respetivamente. Nas Figuras 3.14, 3.15 e 3.16 apresenta-se, respetivamente, a precipitação média anual e acumulada e a precipitação média mensal no período entre 2003 e 2014.

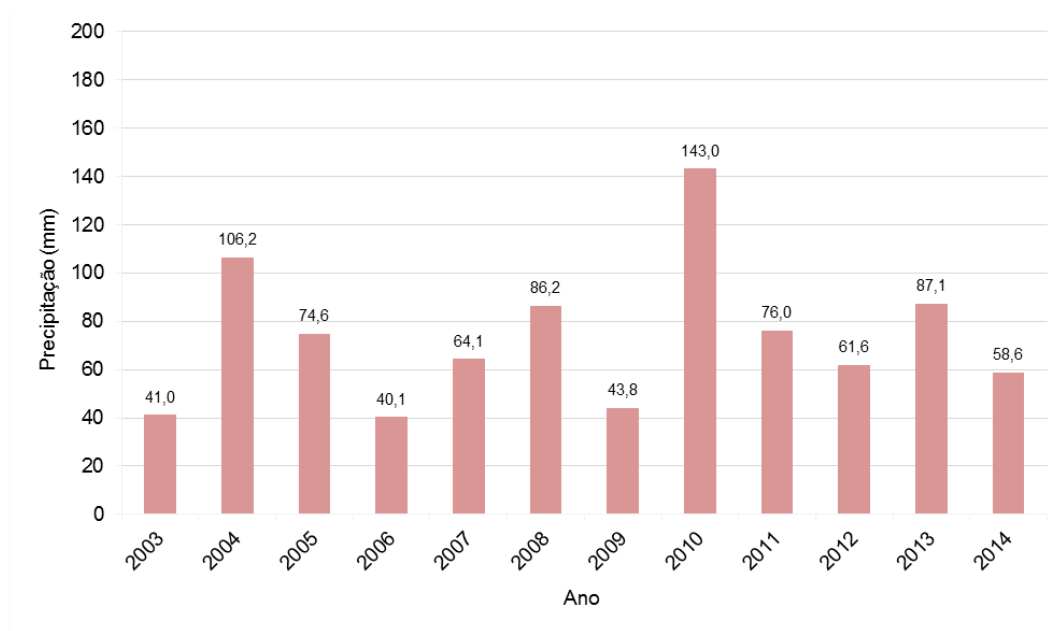


Fig. 3.14. - Precipitação Média Anual | 2003-2014

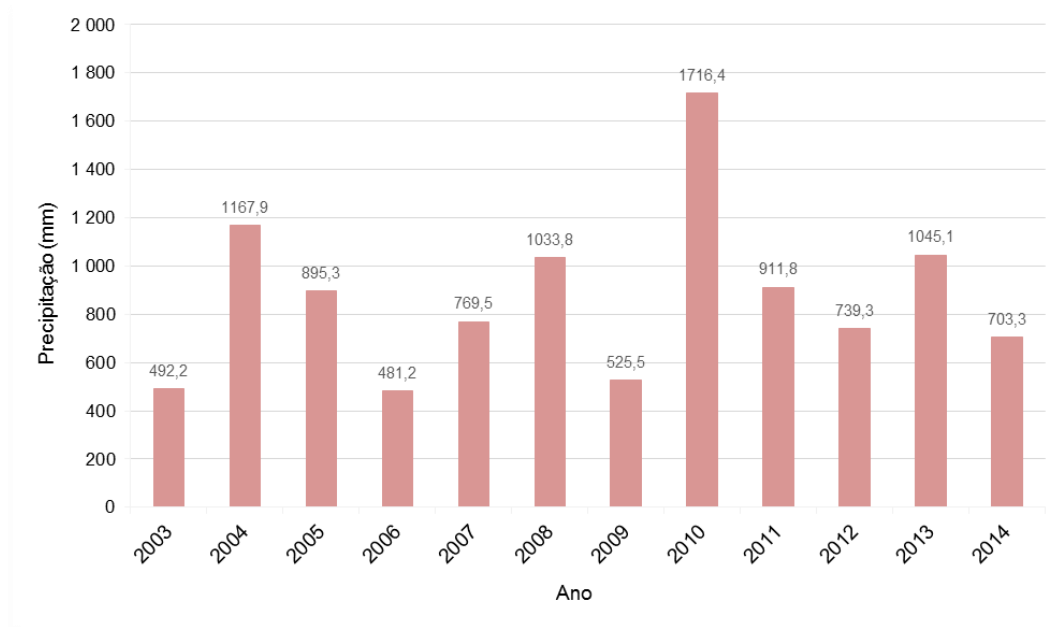


Fig. 3.15 - Precipitação Anual Acumulada | 2003 - 2014

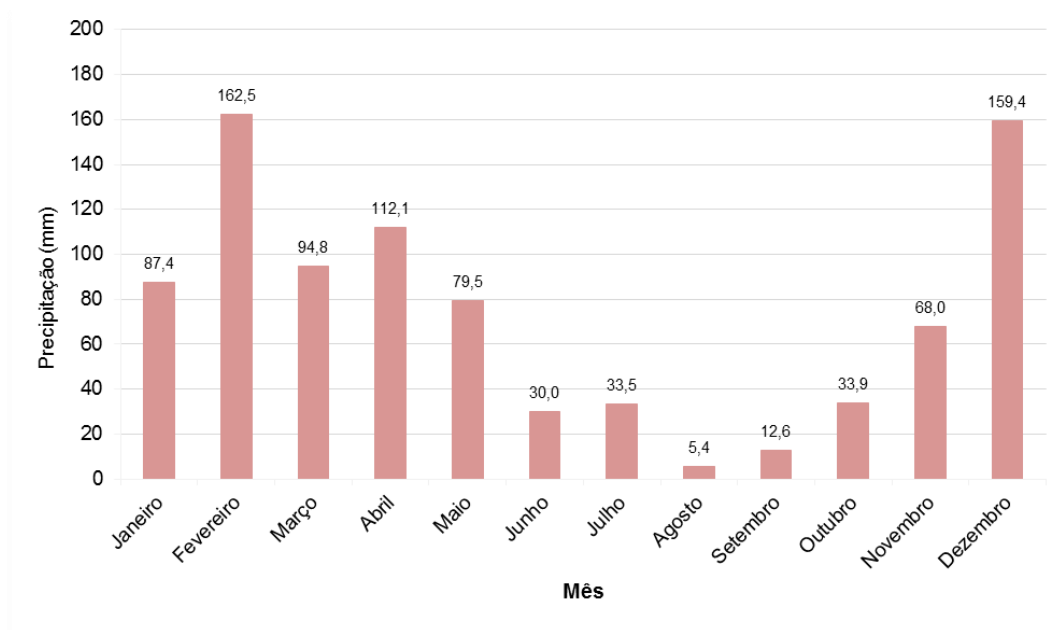


Fig. 3.16 - Precipitação Média Mensal | 2003 – 2014

▪ Temperatura

Refere-se que as temperaturas médias indicadas nos gráficos abaixo foram calculadas com base na média das temperaturas medidas em três momentos distintos do dia, nomeadamente 09h00, 15h00 e 18h00. Nas Figuras 3.17 e 3.18, apresentam-se, respetivamente, a temperatura média anual e a temperatura média mensal no período entre 2003 e 2014.

De acordo com os dados analisados de Díli, relativos ao período entre 2003 e 2014, verifica-se que a temperatura média anual é de 29,1°C, tendo variado entre 28,9°C em 2006 e 2011 e 29,5°C em 2009 e 2010. Relativamente à temperatura média mensal, esta variou entre os 28,0°C, em agosto, e os 30,4°C, em novembro. Face ao exposto, nota-se que a temperatura em Díli é relativamente constante, não havendo grandes oscilações.

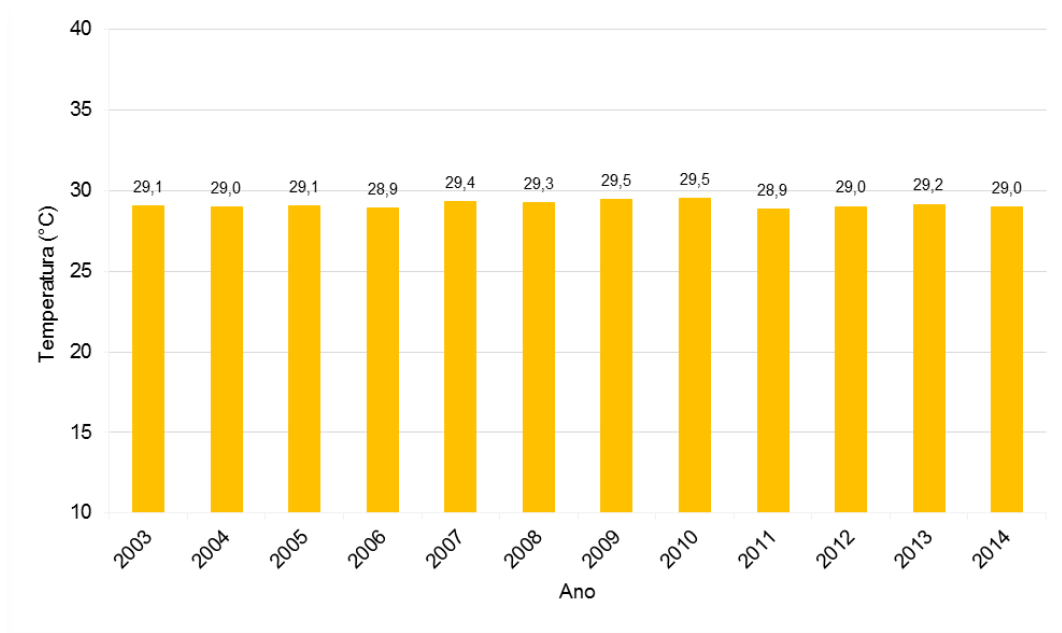


Fig. 3.17 - Temperatura Média Anual | 2003 -2014

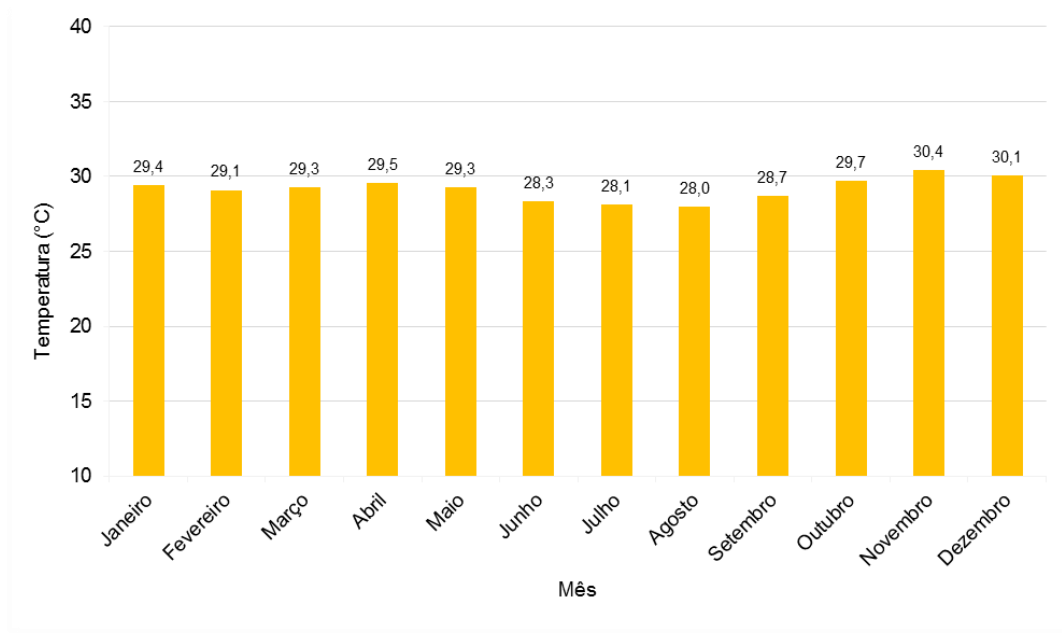


Fig. 3.18 - Temperatura Média Mensal | 2003 -2014

Relativamente às temperaturas médias máxima, estas foram calculadas com base na média das temperaturas máximas atingidas durante o dia, ao longo do mês. Observando as Figuras 3.19 e 3.20, constata-se que a temperatura média máxima anual é de 32,0°C, tendo variado entre 31,3°C em 2005 e 35,0°C em 2011. Relativamente à temperatura média máxima mensal, esta variou entre os 30,8°C em agosto e os 35,1°C em outubro.

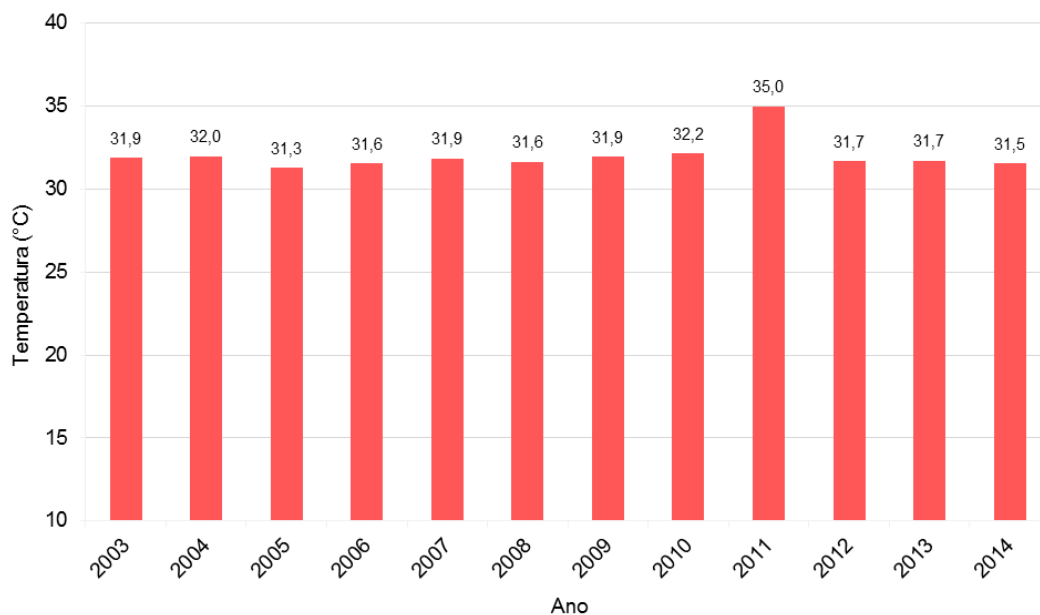


Fig. 3.19 - Temperatura Média Máxima Anual | 2003 – 2014

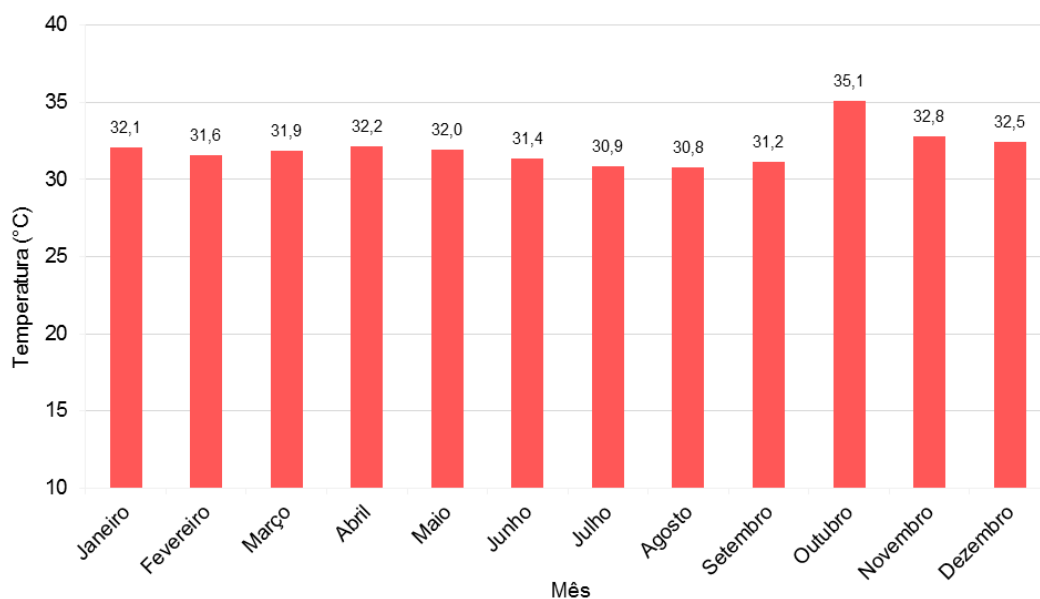


Fig. 3.20- Temperatura Média Máxima Mensal | 2003 – 2014

Nas Figuras 3.21 e 3.22, mostram-se as temperaturas médias mínimas que foram calculadas com base na média das temperaturas mínimas atingidas durante o dia, ao longo do mês. Observando os gráficos, constata-se que a temperatura média mínima anual é de 23,3°C, tendo variado entre 20,2°C em 2014 e 24,9°C em 2003. Relativamente à temperatura média mínima mensal, esta variou entre os 21,8°C em agosto e os 24,5°C em janeiro.

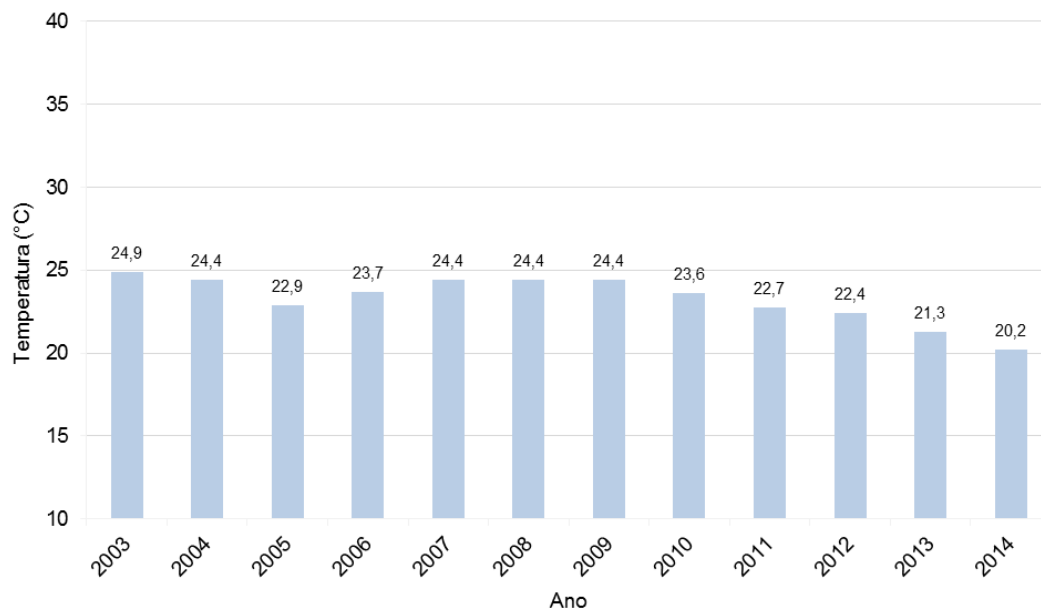


Fig. 3.21 - Temperatura Média Mínima Anual |2003 -2014

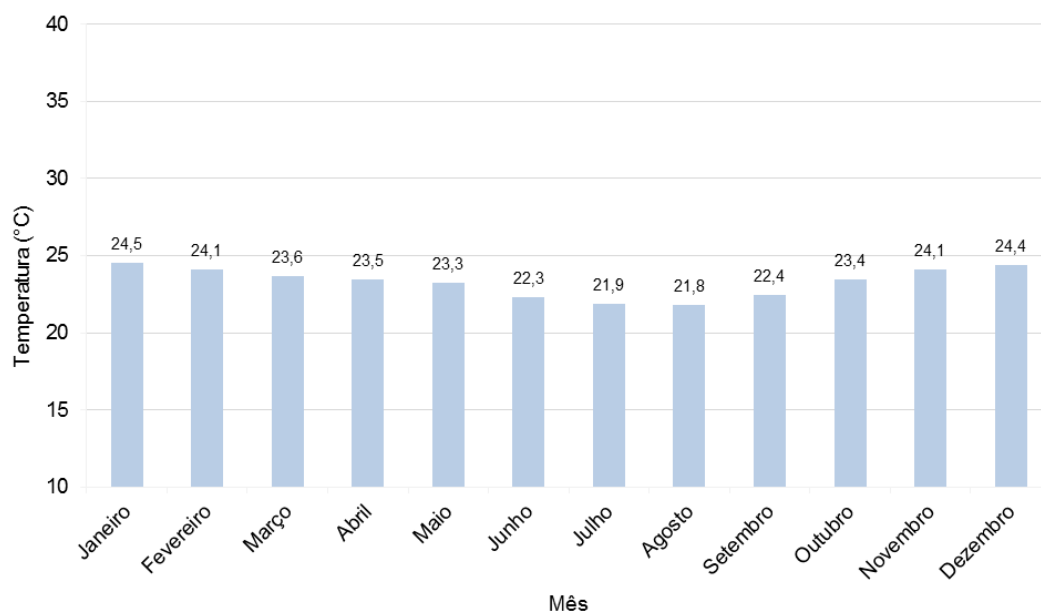


Fig. 3.22 - Temperatura Média Mínima Mensal |2003 -2014

Sobre as temperaturas máximas absolutas e mínimas absolutas, estas correspondem à temperatura máxima e mínima absolutas, respetivamente, verificada em cada mês. Estas grandezas estão indicadas na Figuras 3.23 e 3.24.

Observando os gráficos, verifica-se que no período em estudo, a temperatura máxima absoluta registada foi de 36,0°C e ocorreu em três períodos distintos, nomeadamente, maio de 2010, setembro de 2010 e novembro de 2011. Relativamente à temperatura mínima absoluta registada, esta foi de

13,1°C e ocorreu em agosto de 2014. Como se verifica, tratam-se de valores elevados da temperatura com efeitos significativos no comportamento das misturas betuminosas, como adiante se mostrará

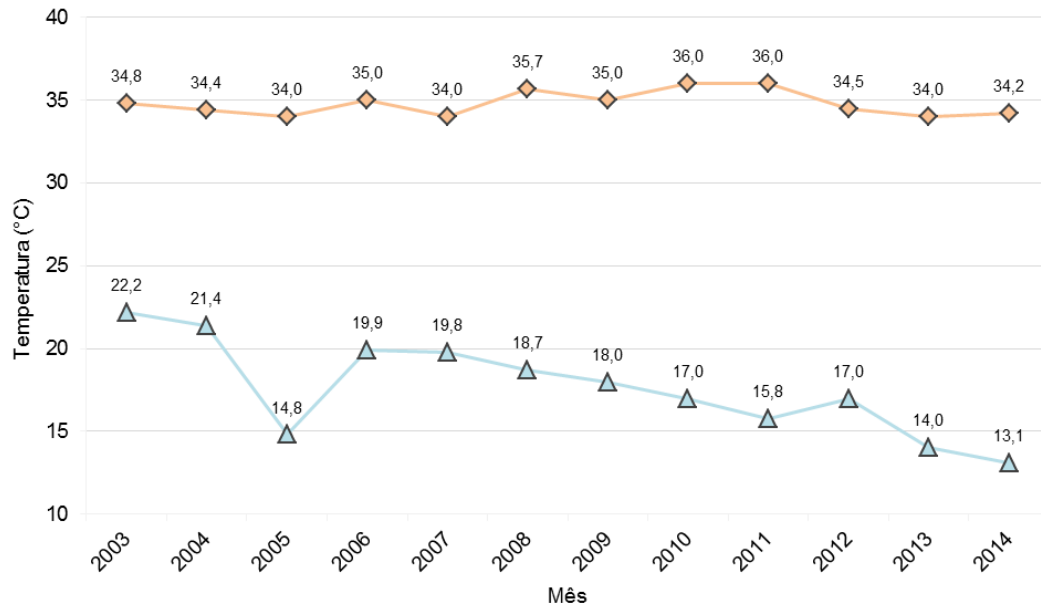


Fig. 3.23 - Temperatura Máxima e Mínima Absoluta Anual | 2003 -2014

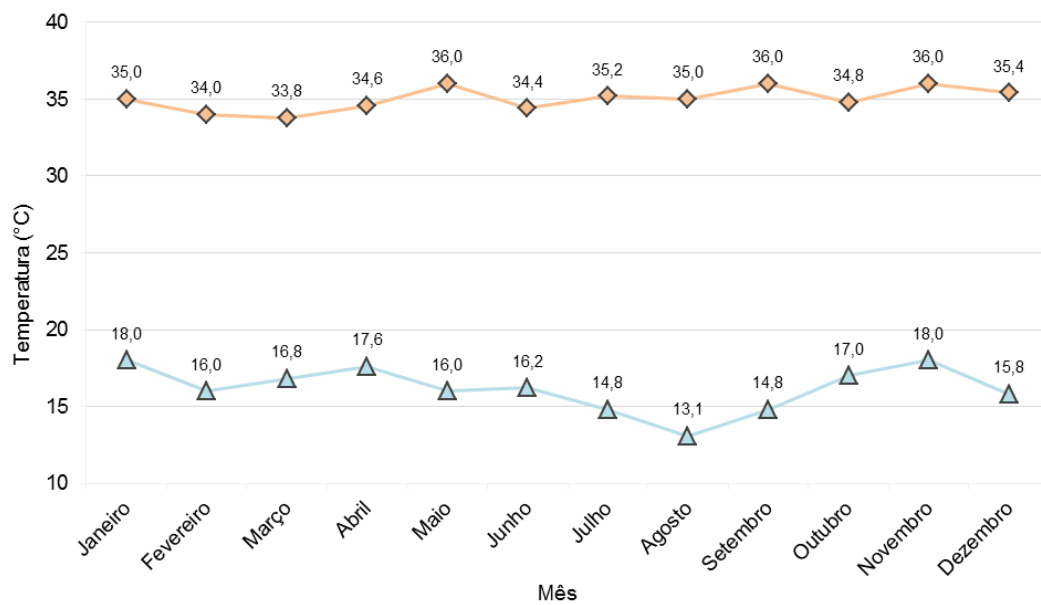


Fig. 3.24- Temperatura Máxima e Mínima Absoluta Mensal | 2003 -2014

▪ Humidade Relativa

Relativamente à humidade relativa em Díli, constata-se que o valor médio anual é de 67%, tendo variado entre 60% e 72%. Quanto à humidade relativa média mensal, esta variou entre 61% no mês de agosto e 75% no mês de fevereiro. Em termos de valores absolutos, a humidade relativa mínima foi registada em agosto de 2004 com o valor de 52% e a humidade relativa máxima foi registada em fevereiro de 2010 com o valor de 80%. Conforme seria de esperar, na estação chuvosa a humidade relativa aumenta, enquanto que na estação seca a humidade relativa diminui.

É de referir que, nos registos da estação climatológica de Díli, não se encontram medidos os valores de humidade relativa entre novembro de 2004 e abril de 2006, desconhecendo-se qual o motivo (Figuras 3.25 e 3.26).

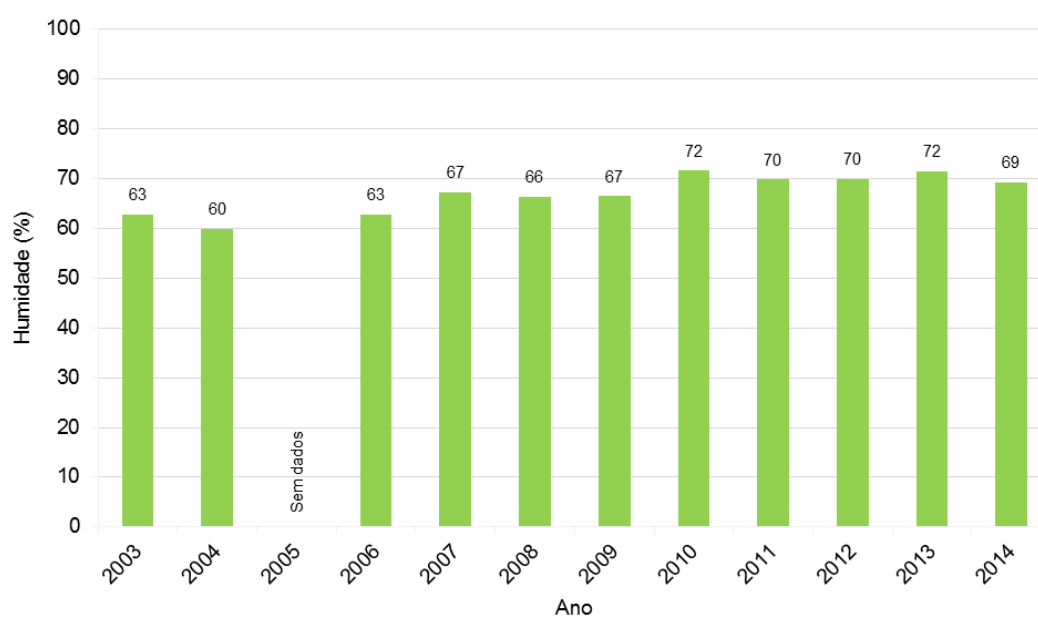


Fig. 3.25 - Humidade Relativa Média Anual | 2003 -2014

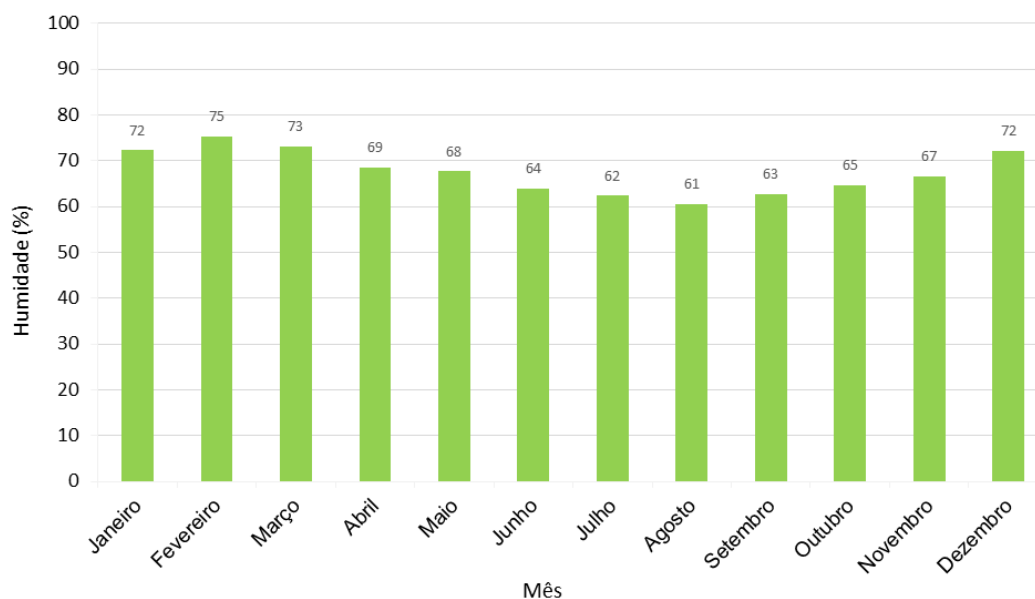


Fig. 3.26 - Humidade Relativa Média Mensal | 2003 -2014

Em síntese, com base nos registos da estação climatológica de Díli num período de 12 anos, entre 2003 e 2014, verificou-se que:

- ✓ a precipitação média mensal foi de, aproximadamente, 74 mm, tendo variado entre 5,2 mm e 162,5 mm; os meses mais chuvosos foram fevereiro e dezembro, enquanto que os meses menos chuvosos foram agosto e setembro;
- ✓ a temperatura média mensal foi de cerca de 29,0°C; a temperatura média máxima mensal foi de 32,0°C, variando entre os 30,8°C em agosto e 35,1°C, em outubro; a temperatura média mínima mensal foi de 23,3°C, variando entre 21,8°C, em agosto, e 24,5°C, em janeiro; a temperatura máxima e mínima absoluta foram de 36,0°C e 13,1°C, respetivamente;
- ✓ a humidade relativa média mensal foi de 67%, tendo variado entre 61% no mês de agosto, e 75% no mês de fevereiro.

Na Figura 3.27, apresenta-se o climograma relativo a Díli que sintetiza as constatações referidas. No anexo 2, apresentam-se os valores relativos às condições climáticas no período referido.

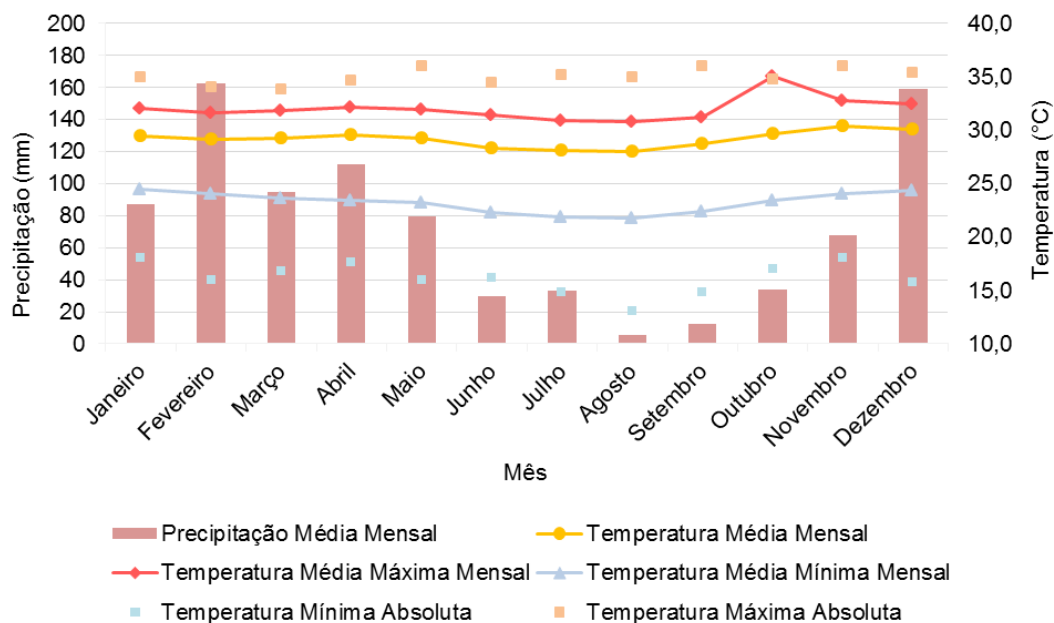


Fig. 3.27 - Climograma de Díli | 2003 -2014

3.5. COMPORTAMENTO DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS NAS CONDIÇÕES DE TEMPERATURA DE DÍLI

Nesta secção, apresenta-se um estudo paramétrico para a análise da temperatura no comportamento de pavimentos flexíveis com potencial utilização no distrito de Díli.

No que se refere ao efeito das condições climáticas no comportamento mecânico dos materiais, os fatores considerados mais relevantes são o efeito das condições hídricas no comportamento das camadas de solos e de materiais granulares e o efeito da temperatura no comportamento das misturas betuminosas. Neste trabalho, analisa-se apenas o efeito de temperatura no comportamento dos pavimentos flexíveis.

3.5.1. DADOS

Os aspetos base considerados no estudo foram:

1. Pavimento constituído por camadas, conforme se mostra na Figura 3.28.

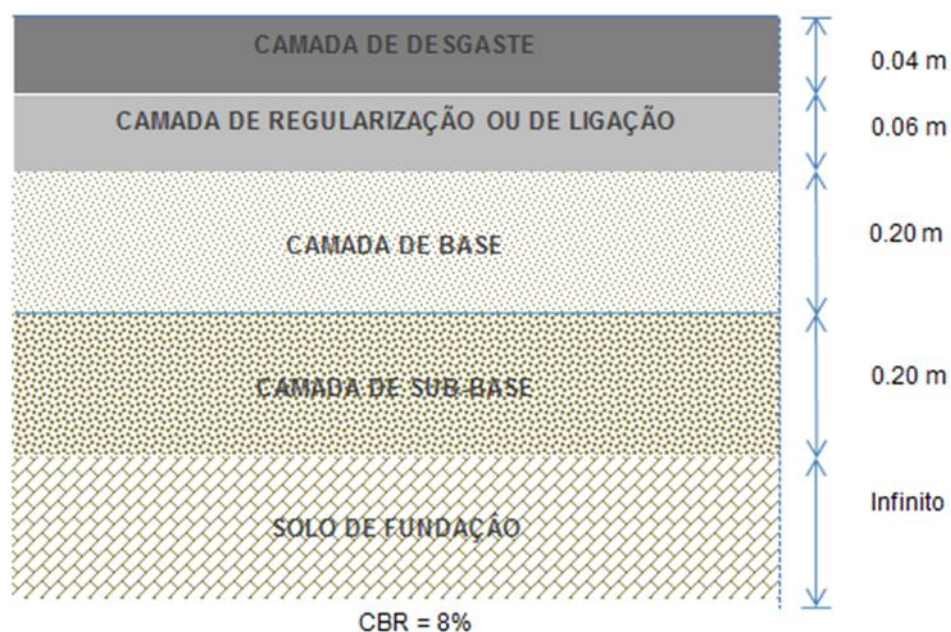


Fig. 3.28 – Estrutura de pavimento

Por simplificação, considerar-se-á que as camadas betuminosas (de desgaste e de regularização ou ligação) serão substituídas por uma única com efeito equivalente.

2. Camadas granulares com espessura constante e igual a 20 cm.
3. Camadas betuminosas representadas por uma camada única de espessura e_b .
4. Solo de fundação com CBR igual a 8%; adotou-se este valor por ser corrente em fundações de pavimentos em Timor-Leste.
5. Velocidade de circulação de pesados igual a 50 km/h.
6. Coeficiente de Poisson constante em cada camada:
 - $\nu = 0,40$ (camadas betuminosas),
 - $\nu = 0,35$ (camadas de base e sub-base),
 - $\nu = 0,45$ (fundação).
7. Eixo padrão de 80 kN com $r = 0,105$ m.

As variáveis do estudo foram:

- espessura de camada betuminosa, e_b
 - $e_b = 10$ cm
 - $e_b = 15$ cm
- parâmetro K do critério de ruína
 - $K = 3,2 \times 10^{-3}$
 - $K = 3,6 \times 10^{-3}$
- betumes das classes 60/70 , 20/30 e 10/20.

Optou-se, como betume base do estudo o 60/70 por ser usual a sua aplicação em países quentes como Timor Leste. No entanto este betume não consta da norma europeia em vigor, EN 12591 (Santos, 2015).

As características do betume 60/70 consideradas estão indicadas no Quadro 3.5.

Quadro 3.5 - Características do betume 60/70

Variável	Valor
T_{ser} (°C)	40
t_c (s)	0,02
Pen25 (dmm)	65
IPen	-1,15
T_{ab} (°C)	48
Pen25 _r (dmm)	42,3
IPen _r	-0,289
$T_{ab,r}$ (°C)	56,3

3.5.2. CÁLCULO DAS CARACTERÍSTICAS DA MECÂNICAS DOS MATERIAIS DE PAVIMENTOS

FUNDAÇÃO

Considera-se que, a fundação apresenta um valor de módulo de deformabilidade de 80 MPa, tendo em conta a expressão (2.3) e o valor de CBR = 8%. Relativamente ao coeficiente Poisson, adota-se o valor de 0,45.

CAMADAS DE SUB-BASE E DE BASE

As características materiais das camadas de sub-base e de base estão indicadas no Quadro 3.6 e resultam da aplicação da expressão (2.4), no caso do módulo de deformabilidade.

Quadro 3.6 – Módulo de deformabilidade de Esb e de Eb

SUB -BASE	BASE
$E_{sb} = 0,2 \times e^{0,45} \times E_f \approx 170 \text{ MPa}$	$E_b = 0,2 \times e^{0,45} \times E_{sb} \approx 375 \text{ MPa}$
$\nu = 0,35$	$\nu = 0,35$

CAMADA BETUMINOSA

Neste estudo, efetua-se uma comparação entre o caso em estudo –Díli (Tmédia anual =29°C) e o caso do Porto (Tmédia anual = 15°C). A rigidez estimada dos três betumes considerados estão indicadas no Quadro 3.7.

Quadro 3.7 – O valor do S_b para betumes 10/20, 20/30 e 60/70

	Díli							
	T_{ser}	Pen 25	Tab	Pen 25 _r	Tab _r	lpen	lpen _r	S_b
Betume 10/20	40	15	69,5	9,75	73,1	0,17	-0,07	38
Betume 20/30	40	25	59	16,3	67,2	-0,7	-0,128	32
Betume 60/70	40	65	48	42,3	56,3	-1,15	-0,289	20
	Porto							
	T_{ser}	Pen 25	Tab	Pen 25 _r	Tab _r	lpen	lpen _r	S_b
Betume 10/20	22	15	69,5	9,73	73,1	-0,17	-0,07	202
Betume 20/30	22	25	59	16,3	67,2	-0,7	-0,128	116
Betume 60/70	22	65	48	42,3	56,3	-1,15	-0,289	34

Para o cálculo do S_b dos betumes considerou-se um tempo de carregamento igual a 0,02s, valor arredondado por excesso (pelo lado da segurança) de 0,015 s, correspondente à velocidade de 50 km/h.

Para o cálculo da rigidez do betume (S_b) optou-se por usar a terceira expressão indicada no Quadro 2.2, dado não ser possível respeitar a gama de aplicação das duas primeiras expressões que estão indicadas no referido quadro.

O módulo de deformabilidade das misturas betuminosas estimado para os dois locais (Díli e Porto) estão indicados no Quadro 3.8. e foram calculados a partir da expressão (2.10), que se indica abaixo.

Quadro 3.8 – A S_b e o E_m do caso em estudo, Díli e Porto

DÍLI	
	Camada de Betuminosa
T_{ser} (°C)	40
S_b (Mpa)	20
E_m (Mpa)	4400
PORTO	
	Camada de Betuminosa
T_{ser} (°C)	22
S_b (Mpa)	34
E_m (Mpa)	5000

$$n = 0,83 \log \frac{4 \times 10^4}{S_b} = 2,723$$

$$E_m = S_b \left[1 + \frac{257,5 - 2,5VMA}{n(VMA - 3)} \right]^n \approx 4400 \text{ MPa.}$$

Veja-se que o módulo de deformabilidade depende da temperatura de serviço: quanto maior é a temperatura de serviço, menor é a rigidez do betume, como se observa no Quadro 3.8.

3.5.3. RESULTADOS: DÍLI VS PORTO

Observando o Quadro 3.8, verifica-se que quanto maior a temperatura de serviço, menor a rigidez do betume (S_b) e, conseqüentemente, menor o módulo de deformabilidade da mistura betuminosa (E_m). Veja-se o valor do E_m do Porto superior ao de Díli, dado que a temperatura de serviço é menor.

No Quadro 3.9, apresenta-se os resultados em termos de extensão transversal na base de camada betuminosa (ϵ_t), extensão de deformação permanente no topo da fundação (ϵ_{dp}), o número de eixos padrão admissível para o caso de pavimento com a estrutura base (Figura 3.10). Os cálculos das grandezas estruturais do pavimento foram feitos com o programa de ALIZE.

Quadro 3.9 – ϵ_t e ϵ_{dp} (Díli e Porto)

	ϵ_t	N_{80, ϵ_t}	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon_{dp}}$	$N_{80, \text{admissível}}$
Díli	0,000193	1253035	0,0000722	3863146964	1253035
Porto	0,000183	1634912	0,0000704	4273654252	1634912

Analisando os resultados, verifica-se que a extensão de tração na base das camadas betuminosas no pavimento localizado no Porto é menor do que a de Díli. Relativamente ao módulo de deformabilidade do Porto, ele é maior, logo também é maior o número de N_{80} . A extensão de tração e de deformação permanente é menor no Porto do que em Díli, para o mesmo pavimento pelo facto da camada betuminosa, no caso do Porto, apresentar um módulo de deformabilidade superior

3.5.4. RESULTADOS: INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DO MÓDULO DE DEFORMABILIDADE DAS MISTURAS BETUMINOSAS NO COMPORTAMENTO DE PAVIMENTO

Na Figura 3.29, mostra-se a variação de logaritmo do número admissível de eixos padrão com o módulo de deformabilidade, para o critério de fadiga e de deformação permanente, no caso de $K = 3,2 \times 10^{-3}$ e espessura da camada betuminosa de 10 cm.

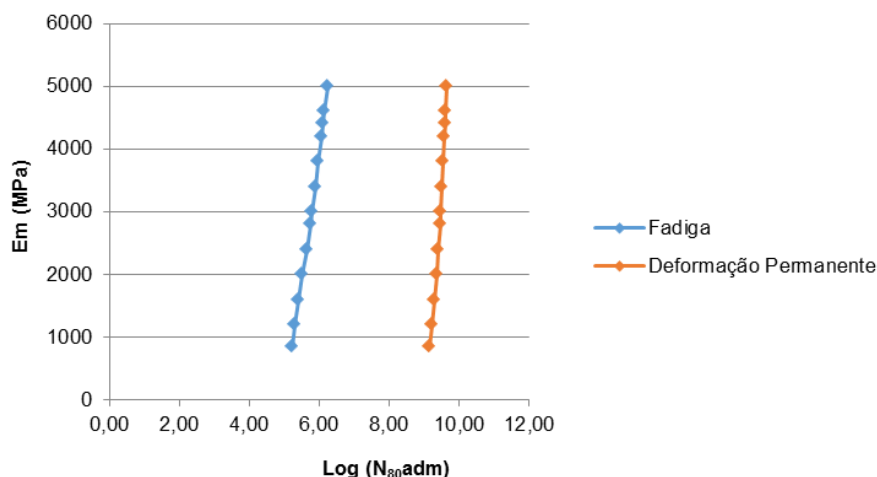


Fig. 3.29 – Variação do logaritmo do número de eixos padrão admissíveis em função do módulo de deformabilidade da mistura betuminosa ($K = 3,2 \times 10^{-3}$)

Verifica-se, pela análise da Figura 3.29, que o critério limitador de dimensionamento do pavimento é o da fadiga na base das camadas betuminosas.

Na Figura 3.30, apresentam-se, para dois valores de K , ($K = 3,2 \times 10^{-3}$ e $K = 3,6 \times 10^{-3}$), a variação do número de eixos padrão de 80 kN com o módulo de deformabilidade da mistura betuminosa.

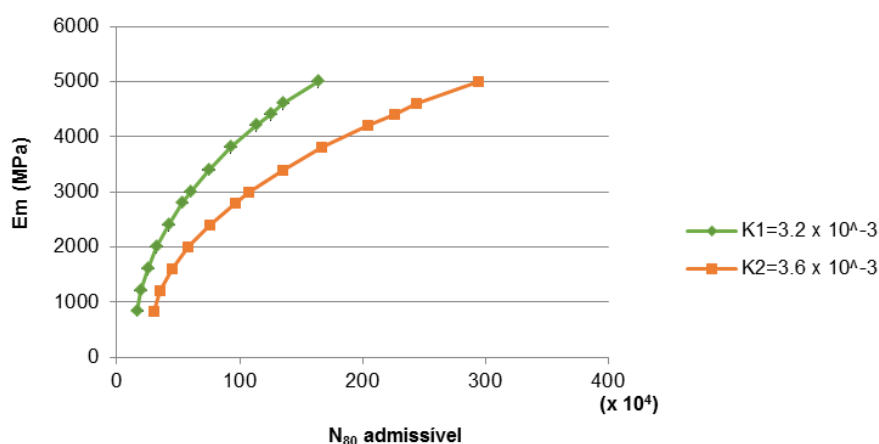


Fig. 3.30 – Variação do número de eixos padrão admissíveis de 80 kN com o módulo de deformabilidade da mistura betuminosa ($e_b = 10$ cm)

Na Figura 3.30, nota-se que quanto maior for K , maior é o número de eixos padrão admissível, para o mesmo módulo de deformabilidade da mistura betuminosa.

Para a análise da influência da espessura da camada betuminosa no comportamento estrutural do pavimento, para efeitos de dimensionamento, fez-se o cálculo da estrutura para duas espessuras de camada betuminosa, 10 cm e 15 cm.

Na Figura 3.31, apresentam-se o número de eixos padrão de 80 kN admissíveis para as duas espessuras referidas, fazendo variar-se o módulo de deformabilidade da mistura de 840 MPa a 5000 MPa. Refere-se que, em ambos os casos, o critério de ruína limitador foi o da fadiga, pelo que o N_{80} admissível apresentado na Figura se refere a este critério.

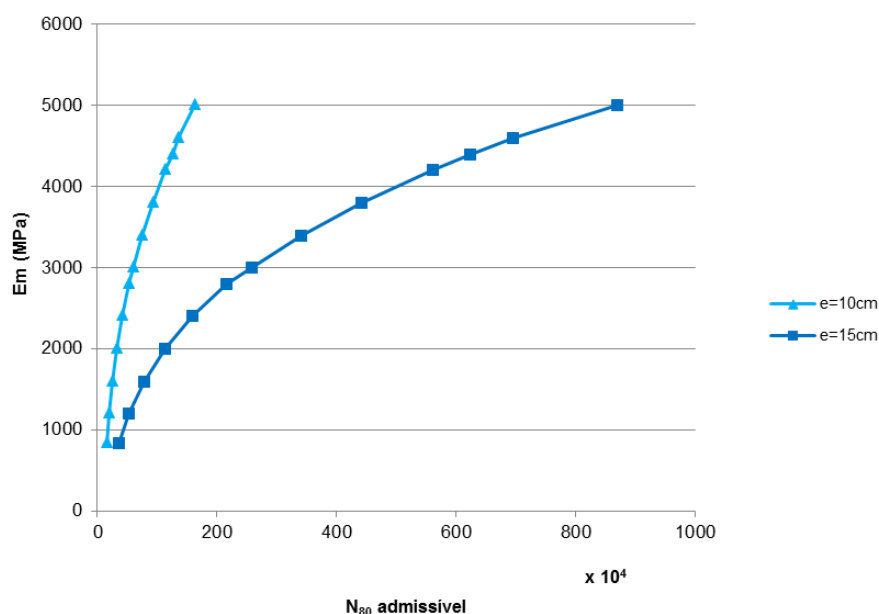


Fig. 3.31 – Variação do número de eixos padrão de 80 kN admissível em função do módulo de deformabilidade da mistura betuminosa para duas camadas de diferentes espessura ($K=3,2 \times 10^{-3}$)

Analisando a Figura anterior, constata-se que um aumento de 5 cm na espessura da camada betuminosa é mais significativo, em termos de dimensionamento, para maiores valores de módulo de deformabilidade da mistura betuminosa. Por exemplo, para $E = 4400$ MPa (valor que corresponde a Díli), o aumento de 5 cm de espessura de camada betuminosa provoca um aumento de 398% no número de eixos padrão, enquanto que para $E = 5000$ MPa (valor que corresponde ao Porto), esta variação de espessura induz um aumento de N_{80} acumulado de 432%.

Ainda neste trabalho, analisou-se a influência do betume no comportamento estrutural do pavimento flexível, para efeitos de dimensionamento.

Na Figura 3.32, apresenta-se a variação de N_{80} acumulado em função do módulo de mistura betuminosa para os betumes 10/20, 20/30 e 60/70, considerando a espessura da camada betuminosa igual a 10 cm, e temperaturas de serviço de 20°C, 30°C e 40°C.

Relativamente à temperatura de serviço e tipo do betume, vê-se, na Figura 3.32, que o betume 60/70 é menos suscetível à temperatura e que os betumes mais duros correspondem a módulos de deformabilidade, em geral, superiores para a mesma temperatura.

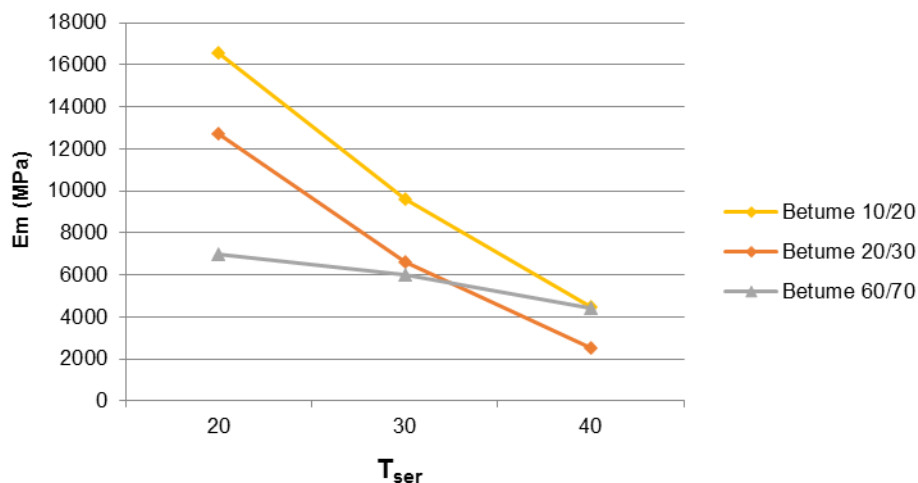


Fig. 3.32 – Variação do módulo de deformabilidade da mistura em função do tipo de betume e da temperatura de serviço

Os resultados indicados na Figura anterior referem-se ao critério de fadiga, o limitador em termos de dimensionamento do pavimento flexível.

Pela análise da Figura 3.33, verifica-se que o módulo de deformabilidade da mistura é maior no betume 10/20 do que no betume 60/70 e 20/30, para a mesma temperatura de serviço.

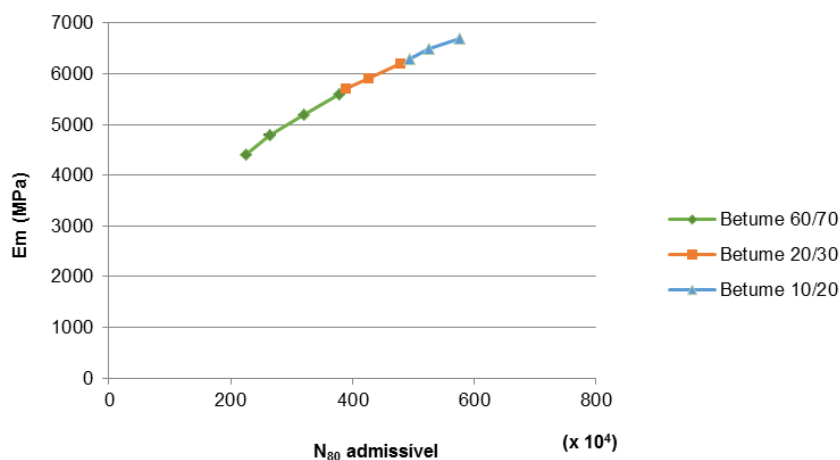


Fig. 3.33 - Variação do número de eixos padrão admissíveis com o módulo de deformabilidade de mistura: betumes 10/20, 20/30 e 60/70 $T_{ser} = 40$

4 CONCLUSÕES E PERSPETIVAS PARA INVESTIGAÇÃO FUTURA

4.1. CONCLUSÕES

Passa-se a apresentar uma síntese e as principais conclusões retiradas em cada um dos capítulos desta tese.

No capítulo 2, "Pavimentos Rodoviários Flexíveis", fez-se uma caracterização dos pavimentos flexíveis, apresentaram-se os critérios que se consideram no seu dimensionamento empírico-mecanicista.

Depois, no capítulo 3, "Caso em Estudo: Díli, Timor-Leste", descreveu-se as condições climáticas em Díli, nomeadamente a temperatura que tem grande influência no comportamento estrutural das camadas betuminosas de pavimentos flexíveis.

A partir da temperatura média anual de Díli, determinou-se a temperatura de serviço de um pavimento flexível base e calcularam-se os módulos de rigidez do betume e de deformabilidade da mistura betuminosa. Para o estudo paramétrico realizado neste trabalho, considerou-se o eixo de padrão de N_{80} .

As principais conclusões do estudo paramétrico realizado são apresentadas de seguida:

- Quanto maior for a temperatura média anual, maior é a temperatura de serviço na camada betuminosa do pavimento e menores são os módulos de rigidez do betume e de deformabilidade da mistura betuminosa.
- Quanto menor for o módulo de deformabilidade da camada betuminosa, maiores são as extensão de tração e de compressão admissíveis.
Com o aumento da espessura e do módulo de deformabilidade, há aumento do número de N_{80} admissível.
- Relativamente à variação do parâmetro K ($K = 3,2 \times 10^{-3}$; $K = 3,6 \times 10^{-3}$), quanto maior for K , maior é o número admissível de N_{80} . Relativamente aos vários tipos de betumes, 10/20, 20/30 e 60/70, constatou-se que a betumes mais duros correspondem módulos de deformabilidade, em geral, superiores para a mesma temperatura.

4.2. PERSPETIVAS PARA INVESTIGAÇÃO FUTURA

Apresenta-se algumas perspectivas de trabalho que poderão dar continuidade, à presente tese:

1. desenvolver a análise das influência condições climáticas da ação térmica no dimensionamento pavimentos flexíveis;
2. desenvolver um manual de dimensionamento adequado à realidade de Timor-Leste.

BIBLIOGRAFIA

- Brás, Margarida. (2012). *Validação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis Indicados no “Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional”*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.
- CEPSA. (2010). *Manual de Pavimentação*, 2ª edição, Barcelona.
- Eugénio, Bruno. (2008). *Reforço de Pavimentos*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.
- Francisco, Ana Paula. (2012). *Comportamento Estrutural de Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Bragança.
- Jacinto, Manuel. (2003). *Caracterização Estrutural de Pavimentos*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.
- JAE. (1995). *Manual de Conceção de Pavimentos para a Rede Rodoviária Nacional*. Junta Autónoma de Estradas (JAE), Almada.
- Luzia, C, Rosa. (2008). *Camadas não Ligadas em Pavimentos Rodoviários – Estudo do Comportamento*. Almedina.
- Lopes Moreira, Óscar Miguel. (2009). *Misturas Betuminosas – Determinação das Características para o Cálculo dos Pavimentos*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.
- Medina, Jacques, e Motta, Laura. (2005). *Mecânica dos Pavimentos*. Rio de Janeiro.
- Branco, Fernando., Pereira, Paulo., Santos, P, Luís. (2011). *Pavimentos Rodoviários*. Almedina.
- Pinto, Joana. (2003) *Caracterização Superficial de Pavimentos Rodoviários*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.
- Santos, Steeve. (2015). *Dimensionamento de Pavimentos em África e na América Latina: Análise de Manuais de Pré-Dimensionamento*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.
- Vale, Cecília. (2004). *Comportamento Estrutural de Pavimentos Rodoviários Flexíveis*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto.
- www.gov.tl, acedido em abril, 2016.
- <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/014/>, acedido em maio, 2016.
- www.statistics.gov.tl, acedido em abril, 2016.
- <http://timor-leste.gov.tl/>, acedido em abril, 2016.
- http://timor-leste.gov.tl/wp-content/uploads/2012/02/Plano-Estrategico-de-Desenvolvimento_PT1.pdf, acedido em abril, 2016.
- http://www.civil.uminho.pt/cpalha/betumes_cpalha.pdf, acedido em maio, 2016.
- <http://economia-tl.blogspot.pt/search?updated-min=2014-01-01T00:00:00Z&updated-max=2015-01-01T00:00:00Z&max-results=46>, acedido em maio, 2016.

ANEXO 1 - Evolução de população em Timor-Leste

Tabela 1.1 - Evolução da população de Timor-Leste (1980-2015)

	Ano					
	1980	1990	2001	2004	2010	2015
População [hab]	555 350	745 557	787 340	923 198	1 066 409	1 167 242
Crescimento Populacional [hab]	-	192 207	39 783	135 858	143 211	100 833
Aumento da População [%]	-	34,61%	5,32%	17,26%	15,51%	9,46%
Taxa de Crescimento Médio Anual da População [%]	-	2,97%	0,47%	5,31%	2,40%	1,81%

Tabela 1.2 - Densidade Populacional de Timor-Leste (2015)

Distritos	População [hab]		População [%]		Área [km ²]	Densidade Populacional [hab/Km ²]	
	2010	2015	2010	2015		2010	2015
Aileu	44 325	48 554	4,16	4,16	737	60	66
Ainaro	59 175	66 397	5,55	5,69	804	74	83
Baucau	111 694	124 061	10,47	10,63	1 506	74	82
Bobonaro	92 049	98 932	8,63	8,48	1 376	67	72
Covalima	59 455	64 550	5,58	5,53	1 203	49	54
Díli	234 026	252 884	21,95	21,67	367	638	689
Ermera	117 064	127 283	10,98	10,90	768	152	166
Lautem	59 787	64 135	5,61	5,49	1 813	33	35
Liquiça	63 403	73 027	5,95	6,26	549	115	133
Manatuto	42 742	45 541	4,01	3,90	1 782	24	26
Manufahi	48 628	52 246	4,56	4,48	1 323	37	39
Oecusse	64 025	72 230	6,00	6,19	814	79	89
Viqueque	70 036	77 402	6,57	6,63	1 877	37	41
Timor-Leste	1 066 409	1 167 242	100	100	14 919	71	78

ANEXO 2 - Caracterização das condições climáticas em Timor-Leste

Tabela 2. 1 - Precipitação Média | 2003 -2014

Precipitação Média (mm) em 12 anos [2003 - 2014]													
Mês	Ano												Média Mensal
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Janeiro	1,2	37,7	56,7	43,6	12,5	145,6	69,0	129,1	114,0	148,1	244,4	46,4	87,4
Fevereiro	117,0	518,3	89,4	25,4	174,5	222,8	115,0	102,2	137,7	113,1	216,9	118,1	162,5
Março	84,0	181,3	224,6	35,5	83,6	111,6	51,4	38,4	53,7	111,6	77,4	84,6	94,8
Abril	30,4	85,3	100,9	78,1	133,4	201,9	38,6	97,9	251,7	95,3	49,4	182,3	112,1
Maio	13,4	155,5	10,4	25,2	19,2	51,0	49,8	215,5	41,7	151,8	155,0	65,5	79,5
Junho	14,4	11,3	11,5	3,0	72,2	32,0	20,1	25,9	12,5	10,8	96,8	49,2	30,0
Julho	3,8	15,7	15,9	0,0	0,0	0,0	15,0	298,5	3,7	0,0	25,9	23,4	33,5
Agosto	17,4	0,0	23,7	0,0	2,1	0,0	0,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,4
Setembro	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,6	127,6	0,0	0,0	0,0	0,0	12,6
Outubro	2,2	28,0	93,8	25,4	20,4	0,0	8,8	184,6	34,9	9,0	0,0	0,0	33,9
Novembro	38,8	-	71,6	0,0	161,0	46,8	11,8	232,5	61,1	5,8	64,8	53,6	68,0
Dezembro	166,0	134,8	196,8	245,0	90,6	222,1	126,4	242,2	200,8	93,8	114,5	80,2	159,4
Total	492,2	1167,9	895,3	481,2	769,5	1033,8	525,5	1716,4	911,8	739,3	1045,1	703,3	
Média Anual	41,0	106,2	74,6	40,1	64,1	86,2	43,8	143,0	76,0	61,6	87,1	58,6	73,52

Tabela 2. 2 - Temperatura Média | 2003 -2014

Temperatura Média (°C) em 12 anos [2003 - 2014]													
Mês	Ano												Média Mensal
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Janeiro	29,7	30,0	29,6	28,3	30,0	29,6	28,5	29,8	29,4	29,1	29,1	29,8	29,4
Fevereiro	28,6	28,5	29,7	28,7	29,8	29,8	28,7	29,8	28,7	29,0	29,2	28,7	29,1
Março	28,6	29,1	29,7	28,9	29,0	29,2	29,6	30,5	29,1	28,7	29,4	29,2	29,3
Abril	29,9	30,2	28,7	28,8	29,1	29,1	30,6	30,2	28,4	30,0	29,7	29,8	29,5
Maio	29,1	29,5	28,7	29,6	29,9	29,7	29,6	29,5	28,0	28,4	29,5	29,5	29,3
Junho	28,3	28,1	26,6	28,2	29,5	28,6	29,0	28,9	27,8	28,0	28,4	28,5	28,3
Julho	28,1	28,0	28,3	27,9	28,1	27,4	29,5	28,2	28,2	27,9	28,3	27,6	28,1
Agosto	28,2	27,4	28,1	27,9	28,0	28,4	28,4	28,7	27,9	27,5	27,7	27,9	28,0
Setembro	28,8	28,4	28,7	28,1	28,5	29,2	29,3	29,5	28,5	28,4	28,9	27,9	28,7
Outubro	29,9	29,3	29,2	29,0	30,0	30,2	30,2	29,3	30,1	29,7	30,2	29,1	29,7
Novembro	30,5	-	29,8	30,5	30,4	30,8	30,6	30,0	30,5	30,9	30,2	30,3	30,4
Dezembro	29,3	30,2	31,5	31,0	30,0	29,2	29,9	29,7	30,0	30,8	29,4	29,7	30,1
Média Anual	29,1	29,0	29,1	28,9	29,4	29,3	29,5	29,5	28,9	29,0	29,2	29,0	29,1

Tabela 2. 3 - Temperatura Média Máxima | 2003 -2014

Temperatura Média Máxima (°C) em 12 anos [2003 - 2014]													
Mês	Ano												Média Máx. Mensal
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Janeiro	32,4	32,5	32,5	30,8	32,5	31,9	32,5	31,8	32,4	32,1	31,4	32,2	32,1
Fevereiro	31,5	31,5	32,3	31,0	32,5	31,3	31,5	30,8	31,9	32,0	31,9	31,0	31,6
Março	30,6	31,8	31,9	31,0	31,8	31,8	32,3	33,1	32,7	31,9	32,0	31,7	31,9
Abril	31,9	32,7	31,0	31,6	32,0	31,8	32,9	33,1	32,0	32,6	32,3	32,3	32,2
Maio	31,2	32,2	30,5	32,0	32,5	32,1	32,3	32,8	32,0	31,4	32,0	32,4	32,0
Junho	31,0	31,8	30,9	31,4	32,1	31,3	31,8	32,0	31,3	30,5	30,9	31,7	31,4
Julho	30,9	31,9	30,7	30,1	31,2	29,7	31,1	31,6	31,3	30,2	31,2	30,7	30,9
Agosto	31,5	29,9	30,1	32,0	30,4	31,1	30,5	31,8	30,7	30,3	30,5	30,6	30,8
Setembro	32,2	32,1	30,5	31,2	30,5	30,8	31,1	32,2	31,3	30,8	31,3	30,2	31,2
Outubro	33,7	32,9	31,4	32,0	31,8	32,6	31,9	31,6	68,0	31,8	32,3	31,4	35,1
Novembro	33,7	-	32,1	32,6	32,7	33,0	32,7	32,8	33,4	33,0	32,7	32,3	32,8
Dezembro	32,0	32,6	31,5	33,1	32,3	32,3	32,7	32,4	33,0	33,5	32,0	32,0	32,5
Média Máx. Anual	31,9	32,0	31,3	31,6	31,9	31,6	31,9	32,2	35,0	31,7	31,7	31,5	32,0

Tabela 2. 4 - Temperatura Média Mínima|2003 -2014

Temperatura Média Mínima (°C) em 12 anos [2003 - 2014]													
Mês	Ano												Média Mín. Mensal
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Janeiro	25,3	25,5	24,3	24,4	25,4	25,6	25,9	26,0	24,2	23,8	21,3	22,5	24,5
Fevereiro	24,8	25,0	24,1	23,3	23,5	26,1	25,1	25,7	23,9	23,1	22,5	22,0	24,1
Março	24,1	24,4	24,1	22,7	24,8	25,4	24,7	25,2	22,3	23,0	22,0	21,0	23,6
Abril	24,4	24,6	22,6	24,0	24,5	24,0	24,6	23,4	24,0	22,9	22,8	19,7	23,5
Maio	25,0	24,3	19,5	24,3	24,7	24,3	24,5	23,5	22,0	22,7	22,0	22,3	23,3
Junho	25,0	23,0	21,0	23,7	24,7	23,1	23,1	21,0	20,8	21,5	21,1	19,8	22,3
Julho	25,1	22,5	23,7	23,9	22,6	21,4	22,7	21,7	21,3	21,1	18,9	17,8	21,9
Agosto	25,3	24,7	19,3	23,8	23,0	22,7	22,9	21,7	20,6	20,4	18,6	18,2	21,8
Setembro	25,2	25,2	22,0	23,2	22,6	23,7	23,9	23,0	21,7	21,5	19,4	17,9	22,4
Outubro	24,1	25,0	24,6	23,5	24,9	25,1	24,0	23,8	23,7	21,3	21,0	20,0	23,4
Novembro	24,9	-	24,9	24,0	25,9	26,0	25,0	24,0	24,2	23,1	21,9	20,9	24,1
Dezembro	25,4	24,3	24,5	23,5	26,1	25,5	26,3	24,3	24,1	24,6	23,6	20,6	24,4
Média Mín. Anual	24,9	24,4	22,9	23,7	24,4	24,4	24,4	23,6	22,7	22,4	21,3	20,2	23,3

Tabela 2. 5 - Temperatura Máxima Absoluta |2003 -2014

Temperatura Máxima Absoluta (°C) em 12 anos [2003 - 2014]													
Mês	Ano												Máx. Absoluta Mensal
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Janeiro	33,4	34,4	33,8	32,8	33,8	34,7	35,0	33,5	33,2	33,4	34,0	34,2	35,0
Fevereiro	33,0	32,8	34,0	31,9	34,0	32,7	33,5	32,7	33,6	33,8	33,4	33,6	34,0
Março	32,0	32,6	32,8	32,8	33,2	32,8	33,0	33,8	33,8	33,4	33,8	32,8	33,8
Abril	33,0	33,4	32,3	33,2	33,0	32,6	33,7	34,6	33,6	33,8	33,8	33,6	34,6
Maio	32,8	33,5	32,0	33,0	33,8	34,1	33,4	36,0	33,2	33,0	33,6	33,0	36,0
Junho	32,8	34,4	31,9	32,2	33,7	33,9	33,2	33,0	32,4	33,6	32,8	33,6	34,4
Julho	32,6	34,0	31,9	33,0	34,0	34,2	34,6	35,2	33,0	31,6	33,8	34,2	35,2
Agosto	33,4	31,8	30,8	35,0	32,2	34,5	34,2	34,2	31,8	32,6	31,6	33,8	35,0
Setembro	33,4	35,4	32,4	32,0	32,5	35,7	32,2	36,0	32,8	32,4	34,8	31,2	36,0
Outubro	34,8	34,0	32,4	32,8	33,2	33,8	32,9	33,0	34,0	33,2	34,0	32,4	34,8
Novembro	34,9	-	32,8	34,0	33,6	34,1	34,1	33,8	36,0	34,2	33,8	33,4	36,0
Dezembro	33,8	33,6	33,0	34,8	33,4	33,3	34,0	33,8	35,4	34,5	33,0	33,0	35,4
Máx. Absoluta Anual	34,8	34,4	34,0	35,0	34,0	35,7	35,0	36,0	36,0	34,5	34,0	34,2	

Tabela 2.6 - Temperatura Mínima Absoluta |2003 -2014

Temperatura Mínima Absoluta (°C) em 12 anos [2003 - 2014]													
Mês	Ano												Mín. Absoluta Mensal
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Janeiro	24,4	24,6	22,1	23,3	22,8	23,8	24,4	24,1	22,6	21,8	18,0	18,0	18,0
Fevereiro	23,9	23,0	22,3	19,9	22,6	23,3	23,6	24,8	23,0	22,0	19,0	16,0	16,0
Março	22,2	23,4	21,2	20,1	23,2	24,0	23,2	23,2	18,4	20,6	17,6	16,8	16,8
Abril	23,1	23,8	19,4	22,4	23,2	22,9	18,0	19,6	22,6	21,6	18,0	17,6	17,6
Maio	23,9	22,8	16,5	23,8	22,6	21,9	21,3	19,6	21,6	20,8	16,0	18,0	16,0
Junho	23,8	21,6	18,2	22,8	23,3	21,0	21,7	17,0	19,0	19,6	16,6	16,2	16,2
Julho	23,2	21,4	21,6	22,0	19,8	18,7	19,6	18,8	19,0	19,0	15,0	14,8	14,8
Agosto	24,0	22,8	14,8	22,6	20,5	19,0	20,6	17,0	19,0	17,0	14,0	13,1	13,1
Setembro	23,8	24,4	16,4	22,0	21,5	22,4	22,5	19,0	20,4	19,8	15,0	14,8	14,8
Outubro	22,6	24,0	21,7	22,8	23,1	24,0	23,3	22,0	22,6	17,8	17,0	17,0	17,0
Novembro	23,8	-	23,3	23,0	24,0	24,8	23,7	22,6	22,4	18,2	18,0	18,0	18,0
Dezembro	24,6	22,5	22,9	23,4	23,9	23,0	24,3	23,0	15,8	23,8	22,2	17,6	15,8
Mín. Absoluta Anual	22,2	21,4	14,8	19,9	19,8	18,7	18,0	17,0	15,8	17,0	14,0	13,1	

Tabela 2. 7 - Humidade Relativa [2003 -2014]

Humidade Relativa Média (%) em 12 anos [2003 - 2014]													
Mês	Ano												Média Mensal
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Janeiro	67	63	-	-	74	73	72	73	73	78	78	72	72
Fevereiro	72	69	-	-	72	77	73	80	78	76	78	78	75
Março	68	68	-	-	76	73	70	70	77	78	77	74	73
Abril	61	59	-	-	73	68	65	70	78	70	70	72	69
Maio	60	63	-	64	66	62	68	75	68	74	74	71	68
Junho	60	56	-	61	60	63	62	69	62	65	76	70	64
Julho	58	55	-	58	59	58	61	72	66	65	67	67	62
Agosto	59	52	-	60	63	60	60	65	61	63	63	61	61
Setembro	60	55	-	64	62	60	64	69	64	67	65	60	63
Outubro	61	59	-	62	65	62	64	74	68	67	66	64	65
Novembro	61	-	-	65	66	68	66	69	68	67	69	67	67
Dezembro	67	-	-	69	72	73	73	73	75	69	75	76	72
Média Anual	63	60	-	63	67	66	67	72	70	70	72	69	67

NOTA:

A simbologia representada nas tabelas como  indica que os registos da estação climatológica de Díli não apresentavam valores para os respetivos meses/anos.

ANEXO 3 - Resultados do Comportamento Estrutural do Pavimento, obtidos com AlizeTabela 3.1 - $K=3,2 \times 10^{-3}$, $e=10$ cm, betume 60/70

E_m (Mpa)	ϵ_t	$N_{80, \epsilon t}$	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon dp}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon t}$	$\log N_{80, \epsilon dp}$
840	0,000289	166441	0,0000938	1356059254	166441	5,22	9,13
1200	0,00028	194966	0,0000892	1658175916	194966	5,29	9,22
1600	0,000266	251966	0,0000856	1955216987	251966	5,40	9,29
2000	0,000253	323703	0,0000827	2244233197	323703	5,51	9,35
2400	0,00024	421399	0,0000804	2512267184	421399	5,62	9,40
2800	0,000229	532810	0,0000784	2778598326	532810	5,73	9,44
3000	0,000224	594990	0,0000775	2909934479	594990	5,77	9,46
3400	0,000214	747620	0,0000758	3179898061	747620	5,87	9,50
3800	0,000205	926788	0,0000743	3444568021	926788	5,97	9,54
4200	0,000197	1130886	0,0000729	3716891700	1130886	6,05	9,57
4400	0,000193	1253035	0,0000722	3863146964	1253035	6,10	9,59
4600	0,00019	1355133	0,0000716	3994274716	1355133	6,13	9,60
5000	0,000183	1634912	0,0000704	4273654252	1634912	6,21	9,63

Tabela 3.2 - $K=3,6 \times 10^{-3}$, $e=10$ cm, betume 60/70

E_m (Mpa)	ϵ_t	$N_{80, \epsilon t}$	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon dp}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon t}$	$\log N_{80, \epsilon dp}$
840	0,000289	299932	0,0000938	1356059254	299932	5,48	9,13
1200	0,00028	351336	0,0000892	1658175916	351336	5,55	9,22
1600	0,000266	454051	0,0000856	1955216987	454051	5,66	9,29
2000	0,000253	583324	0,0000827	2244233197	583324	5,77	9,35
2400	0,00024	759375	0,0000804	2512267184	759375	5,88	9,40
2800	0,000229	960141	0,0000784	2778598326	960141	5,98	9,44
3000	0,000224	1072192	0,0000775	2909934479	1072192	6,03	9,46
3400	0,000214	1347236	0,0000758	3179898061	1347236	6,13	9,50
3800	0,000205	1670103	0,0000743	3444568021	1670103	6,22	9,54
4200	0,000197	2037893	0,0000729	3716891700	2037893	6,31	9,57
4400	0,000193	2258011	0,0000722	3863146964	2258011	6,35	9,59
4600	0,00019	2441993	0,0000716	3994274716	2441993	6,39	9,60
5000	0,000183	2946165	0,0000704	4273654252	2946165	6,47	9,63

Tabela 3. 3 - $K=3,2 \times 10^{-3}$, $e=15$ cm, betume 60/70

E_m (Mpa)	ϵ_t	$N_{80, \epsilon t}$	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon dp}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon t}$	$\log N_{80, \epsilon dp}$
840	0,000247	364977	0,0000745	3407728053	364977	5,56	9,53
1200	0,00023	521328	0,0000694	4525349630	521328	5,72	9,66
1600	0,000212	783557	0,0000653	5773475076	783557	5,89	9,76
2000	0,000197	1130886	0,0000621	7058682044	1130886	6,05	9,85
2400	0,000184	1590966	0,0000595	8375720136	1590966	6,20	9,92
2800	0,000173	2165306	0,0000573	9738039516	2165306	6,34	9,99
3000	0,000167	2583257	0,0000562	10523125700	2583257	6,41	10,02
3400	0,000158	3407724	0,0000544	11986556080	3407724	6,53	10,08
3800	0,00015	4418691	0,0000528	13506857882	4418691	6,65	10,13
4200	0,000143	5611380	0,0000513	15157255101	5611380	6,75	10,18
4400	0,00014	6238924	0,0000506	16013562275	6238924	6,80	10,20
4600	0,000137	6952597	0,0000499	16931203823	6952597	6,84	10,23
5000	0,000131	8697479	0,0000487	18662687136	8697479	6,94	10,27

Tabela 3. 4 - $K=3,6 \times 10^{-3}$, $e=15$ cm, betume 60/70

E_m (Mpa)	ϵ_t	$N_{80, \epsilon t}$	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon dp}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon t}$	$\log N_{80, \epsilon dp}$
840	0,000247	657700	0,0000775	2909934479	657700	5,82	9,46
1200	0,00023	939449	0,0000694	4525349630	939449	5,97	9,66
1600	0,000212	1411995	0,0000653	5773475076	1411995	6,15	9,76
2000	0,000197	2037893	0,0000621	7058682044	2037893	6,31	9,85
2400	0,000184	2866972	0,0000595	8375720136	2866972	6,46	9,92
2800	0,000173	3901953	0,0000573	9738039516	3901953	6,59	9,99
3000	0,000167	4655112	0,0000562	10523125700	4655112	6,67	10,02
3400	0,000158	6140830	0,0000544	11986556080	6140830	6,79	10,08
3800	0,00015	7962624	0,0000528	13506857882	7962624	6,90	10,13
4200	0,000143	10111890	0,0000513	15157255101	10111890	7,00	10,18
4400	0,00014	11242744	0,0000506	16013562275	11242744	7,05	10,20
4600	0,000137	12528806	0,0000499	16931203823	12528806	7,10	10,23
5000	0,000131	15673140	0,0000487	18662687136	15673140	7,20	10,27

Tabela 3. 5 - $K=3,2 \times 10^{-3}$, $e=10$ cm (Díli e Porto), betume 60/70

DÍLI							
E_m (Mpa)	ϵ_t	N_{80, ϵ_t}	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon_{dp}}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon_t}$	$\log N_{80, \epsilon_{dp}}$
840	0,000289	166441	0,0000938	1356059254	166441	5,22	9,13
1200	0,00028	194966	0,0000892	1658175916	194966	5,29	9,22
1600	0,000266	251966	0,0000856	1955216987	251966	5,40	9,29
2000	0,000253	323703	0,0000827	2244233197	323703	5,51	9,35
2400	0,00024	421399	0,0000804	2512267184	421399	5,62	9,40
2800	0,000229	532810	0,0000784	2778598326	532810	5,73	9,44
3000	0,000224	594990	0,0000775	2909934479	594990	5,77	9,46
3400	0,000214	747620	0,0000758	3179898061	747620	5,87	9,50
3800	0,000205	926788	0,0000743	3444568021	926788	5,97	9,54
4200	0,000197	1130886	0,0000729	3716891700	1130886	6,05	9,57
4400	0,000193	1253035	0,0000722	3863146964	1253035	6,10	9,59
4600	0,00019	1355133	0,0000716	3994274716	1355133	6,13	9,60
5000	0,000183	1634912	0,0000704	4273654252	1634912	6,21	9,63
PORTO							
E_m (Mpa)	ϵ_t	N_{80, ϵ_t}	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon_{dp}}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon_t}$	$\log N_{80, \epsilon_{dp}}$
5000	0,000183	1634912	0,0000704	4273654252	1634912	6,21	9,63

Tabela 3. 6 - $K=3,6 \times 10^{-3}$, $e=10$ cm (Díli e Porto), betume 60/70

DÍLI							
E_m (Mpa)	ϵ_t	N_{80, ϵ_t}	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon_{dp}}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon_t}$	$\log N_{80, \epsilon_{dp}}$
840	0,000289	299932	0,0000938	1356059254	299932	5,48	9,13
1200	0,00028	351336	0,0000892	1658175916	351336	5,55	9,22
1600	0,000266	454051	0,0000856	1955216987	454051	5,66	9,29
2000	0,000253	583324	0,0000827	2244233197	583324	5,77	9,35
2400	0,00024	759375	0,0000804	2512267184	759375	5,88	9,40
2800	0,000229	960141	0,0000784	2778598326	960141	5,98	9,44
3000	0,000224	1072192	0,0000775	2909934479	1072192	6,03	9,46
3400	0,000214	1347236	0,0000758	3179898061	1347236	6,13	9,50
3800	0,000205	1670103	0,0000743	3444568021	1670103	6,22	9,54
4200	0,000197	2037893	0,0000729	3716891700	2037893	6,31	9,57
4400	0,000193	2258011	0,0000722	3863146964	2258011	6,35	9,59
4600	0,00019	2441993	0,0000716	3994274716	2441993	6,39	9,60
5000	0,000183	2946165	0,0000704	4273654252	2946165	6,47	9,63
PORTO							
E_m (Mpa)	ϵ_t	N_{80, ϵ_t}	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon_{dp}}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon_t}$	$\log N_{80, \epsilon_{dp}}$
5000	0,000183	2946165	0,0000704	4273654252	2946165	6,47	9,63

Tabela 3. 7 - $K=3,2 \times 10^{-3}$, $e=15$ cm (Díli e Porto), betume 60/70

DÍLI							
E_m (Mpa)	ϵ_t	N_{80, ϵ_t}	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon_{dp}}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon_t}$	$\log N_{80, \epsilon_{dp}}$
840	0,000247	364977	0,0000745	3407728053	364977	5,56	9,53
1200	0,00023	521328	0,0000694	4525349630	521328	5,72	9,66
1600	0,000212	783557	0,0000653	5773475076	783557	5,89	9,76
2000	0,000197	1130886	0,0000621	7058682044	1130886	6,05	9,85
2400	0,000184	1590966	0,0000595	8375720136	1590966	6,20	9,92
2800	0,000173	2165306	0,0000573	9738039516	2165306	6,34	9,99
3000	0,000167	2583257	0,0000562	10523125700	2583257	6,41	10,02
3400	0,000158	3407724	0,0000544	11986556080	3407724	6,53	10,08
3800	0,00015	4418691	0,0000528	13506857882	4418691	6,65	10,13
4200	0,000143	5611380	0,0000513	15157255101	5611380	6,75	10,18
4400	0,00014	6238924	0,0000506	16013562275	6238924	6,80	10,20
4600	0,000137	6952597	0,0000499	16931203823	6952597	6,84	10,23
5000	0,000131	8697479	0,0000487	18662687136	8697479	6,94	10,27
PORTO							
E_m (Mpa)	ϵ_t	N_{80, ϵ_t}	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon_{dp}}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon_t}$	$\log N_{80, \epsilon_{dp}}$
5000	0,000131	8697479	0,0000487	18662687136	8697479	6,94	10,27

Tabela 3. 8 - $K=3,6 \times 10^{-3}$, $e=15$ cm (Díli e Porto), betume 60/70

DÍLI							
E_m (Mpa)	ϵ_t	N_{80, ϵ_t}	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon_{dp}}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon_t}$	$\log N_{80, \epsilon_{dp}}$
840	0,000247	657700	0,0000745	3407728053	657700	5,82	9,53
1200	0,00023	939449	0,0000694	4525349630	939449	5,97	9,66
1600	0,000212	1411995	0,0000653	5773475076	1411995	6,15	9,76
2000	0,000197	2037893	0,0000621	7058682044	2037893	6,31	9,85
2400	0,000184	2866972	0,0000595	8375720136	2866972	6,46	9,92
2800	0,000173	3901953	0,0000573	9738039516	3901953	6,59	9,99
3000	0,000167	4655112	0,0000562	10523125700	4655112	6,67	10,02
3400	0,000158	6140830	0,0000544	11986556080	6140830	6,79	10,08
3800	0,00015	7962624	0,0000528	13506857882	7962624	6,90	10,13
4200	0,000143	10111890	0,0000513	15157255101	10111890	7,00	10,18
4400	0,00014	11242744	0,0000506	16013562275	11242744	7,05	10,20
4600	0,000137	12528806	0,0000499	16931203823	12528806	7,10	10,23
5000	0,000131	15673140	0,0000487	18662687136	15673140	7,20	10,27
PORTO							
E_m (Mpa)	ϵ_t	N_{80, ϵ_t}	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon_{dp}}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon_t}$	$\log N_{80, \epsilon_{dp}}$
5000	0,000131	15673140	0,0000487	18662687136	15673140	7,20	10,27

Tabela 3. 9 – $K=3,2 \times 10^{-3}$, $e=10$ cm, betume 10/20

DÍLI							
E_m (Mpa)	ϵ_t	$N_{80, \epsilon t}$	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon dp}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon t}$	$\log N_{80, \epsilon dp}$
16600	0,0000977	37694421	0,0000515	14923170615	37694421	7,58	20
9600	0,000134	7766510	0,0000604	7887552554	7766510	6,89	30
4500	0,000192	1286008	0,0000719	3928026951	1286008	6,11	40

Tabela 3. 10- $K=3,2 \times 10^{-3}$, $e=10$ cm, betume 20/30

DÍLI							
E_m (Mpa)	ϵ_t	$N_{80, \epsilon t}$	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon dp}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon t}$	$\log N_{80, \epsilon dp}$
12700	0,000114	17427121	0,0000559	10750849664	17427121	7,24	20
6600	0,000161	3101848	0,0000663	5432952484	3101848	6,49	30
2500	0,000237	448754	0,0000799	2575745224	448754	5,65	40

Tabela 3. 11 - $K=3,2 \times 10^{-3}$, $e=10$ cm, betume 60/70

DÍLI							
E_m (Mpa)	ϵ_t	$N_{80, \epsilon t}$	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon dp}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon t}$	$\log N_{80, \epsilon dp}$
7000	0,000157	3517642	0,0000654	5738244210	3517642	6,55	20
6000	0,000169	2433976	0,0000677	4997299122	2433976	6,39	30
4400	0,000193	1253035	0,0000722	3863146964	1253035	6,10	40

Tabela 3. 12 - $K=3,2 \times 10^{-3}$, $e=10$ cm, betume 60/70, betume 20/30 e betume 10/20

E_m (Mpa)	ϵ_t	$N_{80, \epsilon t}$	ϵ_{dp}	$N_{80, \epsilon dp}$	N_{adm}	$\log N_{80, \epsilon t}$	$\log N_{80, \epsilon dp}$
4400	0,000193	2258011	0,0000722	3863146964	2258011	6,35	9,59
4800	0,000187	2644262	0,000071	4131013607	2644262	6,42	9,62
5200	0,00018	3200000	0,0000698	4422504973	3200000	6,51	9,65
5600	0,000174	3791109	0,0000687	4712627055	3791109	6,58	9,67
5700	0,000173	3901953	0,0000685	4767906547	3901953	6,59	9,68
5900	0,00017	4258610	0,000068	4909693371	4258610	6,63	9,69
6200	0,000166	4797026	0,0000672	5147696435	4797026	6,68	9,71
6300	0,000165	4944163	0,000067	5209437232	4944163	6,69	9,72
6500	0,000163	5255021	0,0000665	5367887919	5255021	6,72	9,73
6700	0,00016	5766504	0,000066	5532408988	5766504	6,76	9,74