



Contribuição para a conceção de pavimentos rodoviários em Cabo Verde

Sandra Almeida Dias Fonseca

Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientador: Professor Doutor Luís Guilherme de Picado Santos

Júri

Presidente: Professor João Torres de Quinhones Levy

Orientador: Professor Doutor Luís Guilherme de Picado Santos

Vogal: Professor Doutor José Manuel Coelho das Neves

Dezembro 2016

Agradecimentos

A realização deste trabalho só foi possível devido a um conjunto de condições e meios disponibilizados no Instituto de Estradas de Cabo Verde, à dedicação, ao empenho e vontade de vários intervenientes, a quem gostaria de manifestar, aqui, os meus sinceros agradecimentos.

Ao meu orientador Doutor Luís Guilherme de Picado Santos, Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura do Instituto Superior Técnico, pela orientação científica deste trabalho, pela disponibilidade e pelo tempo despendido ao longo do desenvolvimento do mesmo. Agradeço ainda pelos esforços desenvolvidos no sentido de mobilizar todos os recursos necessários para a realização do mesmo.

Aos meus colegas e amigos, pelo incentivo e pela camaradagem ao longo destes anos de curso.

Para terminar, gostaria de manifestar a minha enorme gratidão, em particular:

À minha família, pela educação e pelos valores transmitidos que fizeram de mim o que sou hoje. Agradeço ainda pelo amor, pelo carinho, pelo apoio e pelo acompanhamento constante ao longo de toda a minha vida.

Aos amigos de longa data, pela amizade e pelo companheirismo demonstrado desde sempre, aos companheiros de luta ao longo de toda esta jornada. Ao Fábio Barbosa e Débora Inocêncio e ao meu companheiro Bruno Barbosa, um especial agradecimento por todo o apoio ao longo de toda esta caminhada.

Contribuição para conceção de pavimentos rodoviários em Cabo Verde

RESUMO

Nos últimos 5 anos, Cabo Verde tem investido cerca de 147 milhões de dólares por ano, quase 8 por cento do produto interno bruto (PIB), às infraestruturas, um dos níveis mais altos de investimento neste setor encontrado no continente africano. Os gastos são maioritariamente dirigidos para as despesas de capital sendo os recursos dedicados ao suporte da atividade de transporte especialmente elevados.

Esta dissertação tem por objetivo a avaliação de novas tecnologias de pavimentação a implementar em Cabo Verde, procurando antes de mais, analisar as várias soluções implementadas até o presente, estudando aspetos como o tráfego e a sua previsão temporal e os materiais atualmente utilizados na sua conceção, comparando em termos de custo direto de construção estas soluções atuais e as novas que foram estabelecidas como possíveis de usar no país.

Foram alvo de análise algumas obras de estrada no território nacional cabo-verdiano, visando dar a conhecer a realidade atual do país, abordando a tecnologia de pavimentação empregue, nomeadamente pavimentos de estrutura flexível com camadas de desgaste em betão betuminoso e pavimentos em pedra, designadas de calçada basáltica no país (solução de pavimentação mais utilizada em Cabo-Verde).

Na segunda parte desta dissertação analisam-se, com base em estudos do tráfego, análise do terreno de fundação e pelo catálogo da SATTC, possíveis estruturas de pavimentos flexíveis a implementar em Cabo Verde. Pelo método da AUSTROADS e pelo método da Shell, faz-se a validação destas estruturas. Para finalizar faz-se uma comparação a nível de custos de execução entre a solução mais usada para tráfego com algum significado que é a de pavimento flexível tradicional e as novas propostas nesta dissertação, nomeadamente pavimentos com camadas de solo estabilizado com cimento.

Os resultados obtidos demonstraram que a nível de custo de execução os pavimentos com solos estabilizados com cimento apresentam melhores resultados. E previsível que num futuro próximo seja viável a sua aplicação com vantagem em relação às convencionais em pavimentos rodoviários, embora sejam necessárias ainda algumas validações.

Palavras-Chave

Pavimentos Rodoviários

Tecnologias de pavimentação

Materiais granulares

Materiais aglutinados com cimento

Desempenho

Contribution to the design of road pavements in Cape Verde

ABSTRACT

Over the past five years, Cape Verde has spent about 147 million dollars a year, almost 8 percent of gross domestic product (GDP), to infrastructure, one of the highest levels of investment in this sector found on the African continent. Expenses are mainly directed to capital expenditures and the resources dedicated to the support of especially high transport activity.

This thesis aims at evaluating new paving technologies to be implemented in Cape Verde, analyzing first of all, the various solutions implemented to date, studying aspects such as traffic and its temporal prediction and the materials currently used in its design comparing in terms of direct current cost of building these new solutions and have been established as potential use in the country.

It was analyzed some road constructions in the Cape Verdean national territory, aiming to inform the current reality of the country, addressing the paving technology employed, in particular flexible structure pavement with wear layers of asphaltic concrete and flooring basaltic pavement (solution paving most used in Cape Verde).

In the second part of this thesis we analyze, based on traffic studies, foundation terrain analysis and the catalog of SATTIC, possible flexible pavements structures to implement in Cape Verde. By the method of AUSTROADS and the Shell method, it makes validation of these structures. Finally it makes a comparison in terms of running costs between the most widely used solution for traffic with a meaning that is the traditional flexible pavement and new proposals in this dissertation, including pavements with soil stabilized with cement.

The results showed that the level of execution cost the pavements with cement stabilized soils have better results. And foreseeable that in the near future is feasible its application advantage over conventional road surface, although they are still needed some validations.

Key-Words

Road pavements
Paving Technologies
Granular materials
Materials bonded with cement
performance

ABREVIATURAS

ABGE- Aglomerado britado de granulometria extensa

AC14 – Asphalt concrete- Betão betuminoso com agregado na mistura de dimensão máxima de 14mm

AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials

BB - Betão Betuminoso

CBR - California Bearing Ratio

EAPA - European Asphalt Pavement Association

ECV – Escudos Caboverdiano

Em – Módulo de deformabilidade

IE - Instituto de Estradas de Cabo Verde

LEC - Laboratório de Engenharia Civil de Cabo Verde

MACOPAV - Manual de Conceção de Pavimentos da Rede Rodoviária Nacional (Portugal)

SC – solo cimento

TMDA- Tráfego Médio Diário Anual.

TS – Temperatura de serviço

Índice

1. Introdução	6
1.1. Enquadramento	6
1.2. Objetivos e metodologia.....	7
1.3. Estrutura da dissertação	7
2. Caracterização e tecnologias de construção de pavimentos utilizados em Cabo Verde	9
2.1. Enquadramento	9
2.2. Tipos de pavimentos rodoviários em Cabo Verde e sua materialização	10
2.2.1. Generalidades	10
2.2.2. Rede rodoviária em Cabo Verde.....	12
2.3. Pavimentos flexíveis e os materiais utilizados na sua conceção	15
2.3.1. Enquadramento.....	15
2.3.2. Estrutura de um pavimento flexível	17
2.3.2.1. Enquadramento	17
2.3.2.2. Conceção e reabilitação da estrada de ligação entre Lém Ferreira e Porto da Praia- Ilha de Santiago	19
2.3.2.3. Conceção e reabilitação da estrada de ligação entre Cidade da Praia e Cidade Velha	27
2.4. Pavimentos em pedra – “ Calçada basáltica” e os materiais utilizados na sua conceção	32
2.4.1. Enquadramento.....	32
2.4.2. Estrutura de um pavimento em pedra.....	32
2.4.2.1. Reabilitação da estrada Nacional – EN3 –SN02 Ribeira Brava/Juncalinho – São Nicolau	33
2.4.3. Vantagens e desvantagens dos pavimentos em Pedra face aos pavimentos flexíveis em “BB”	35
2.5. Estudo do tráfego rodoviário em Cabo Verde	36
2.5.1. Generalidades	36
2.5.2. Metodologia utilizada.....	36
2.5.3. Conclusões e resultados obtidos	39
3. Análise da proposta das tecnologias de pavimentação em Cabo Verde	40
3.1. Enquadramento	40
3.2. Manual da SATCC.....	40
3.3. Metodologia de dimensionamento estrutural	48
3.3.1. Enquadramento.....	48
3.3.2. Modelos de comportamento dos materiais	49
3.3.2.1. Caracterização de materiais para proceder à avaliação estrutural dos pavimentos	52
3.3.3. Soluções de pavimentação avaliadas estruturalmente	55
3.3.3.1. Caso 1 (Estrutura Flexível/Semirígido)	55
3.3.3.2. Caso 2 (Estrutura Flexível/Semi-rígido inverso)	57
3.3.3.3. Caso 3 (Estrutura Flexível)	58
3.3.4. Conclusão acerca das soluções estruturais	60
3.3.4.1. Caso 1 (Estrutura Flexível/Semirígido)	60

3.3.4.2.	Caso 2 (Estrutura Flexível/Semirígido inverso).....	61
3.3.4.3.	Caso 3 (Estrutura flexível).....	61
3.4.	Análise de custos das propostas de pavimentação	62
3.4.1.	Enquadramento.....	62
3.4.2.	Avaliação de custos	62
3.4.3.	Conclusão acerca da análise financeira das 3 soluções estruturais propostas.....	65
4.	Conclusões e trabalhos futuros	67
4.1.	Conclusões gerais	67
4.2.	Trabalhos futuros	67
4.3.	Considerações finais.....	68
5.	Referências bibliográficas	69
Anexos		71
	Anexo I – Localização de postos de contagem de tráfego nas ilhas de Cabo Verde	72
	Anexo II – Soluções estruturais de pavimentação propostas e suas variadas tentativas.....	75
	Caso 1 Estrutura Flexível/Semi-rígido)	76
	Caso 2 (Estrutura Flexível/Semi-rígido inverso)	77
	Caso 3 (Estrutura Flexível)	79

Índice de figuras

Figura 2. 1: Ilhas de Cabo Verde [Cape Verde Faidate]	9
Figura 2. 2: Percentagem de tipos de pavimentos existentes em Cabo Verde.....	13
Figura 2. 3: Extensão de estradas nacionais	13
Figura 2. 4: Extensão de tipo de pavimento por ilha	14
Figura 2. 5: Estrada de ligação entre Cidade da Praia e interior da ilha (Ilha de Santiago)	15
Figura 2. 6: Estrada de acesso a São Francisco (Ilha de Santiago)	16
Figura 2. 7: Pavimentação da estrada Praia- Cidade Velha (Ilha de Santiago).....	16
Figura 2. 8: Av. Cidade de Lisboa (Ilha de Santiago).....	17
Figura 2. 9: Corte esquemático de um pavimento flexível (Antunes et al, 2006)	17
Figura 2. 10: Extensão da estrada Lém Ferreira a reabilitar (Ilha de Santiago).....	19
Figura 2. 11: Corte transversal de nova solução adotada [Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015]	20
Figura 2. 12: Pormenor de corte transversal adotado em zona corrente.....	20
Figura 2. 13: Pormenor de corte transversal em zona de passeio	21
Figura 2. 14: Corte transversal da segunda situação de reabilitação do troço de estrada Lém Ferreira- Porto da Praia	21
Figura 2. 15 Pormenor de corte transversal em zona corrente	22
Figura 2. 16: Pormenor construtivo em zona de passeio.....	22
Figura 2. 17: Andamento da curva da mistura de agregados [Monteadriano, ELEVO Group- 2015]	24
Figura 2. 18: Resultado de ensaio para formulação de mistura betuminosa em função da % de betume [Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015]	26
Figura 2. 19:Troço de estrada reabilitada	27
Figura 2. 20: Mapa do traçado de estrada de Cidade Velha [Instituto de estradas de Cabo Verde]	28
Figura 2. 21: Perfil transversal tipo-1 de troço de estrada de cidade velha.....	31
Figura 2. 22: Perfil transversal tipo-2 de troço de estrada de cidade velha.....	31
Figura 2. 23: Estrutura antiga de pavimento com pedra basáltica	32
Figura 2. 24: Mapa da Ilha de São Nicolau e respetivas vilas de intervenção (Instituto de Estradas, 2010).....	33
Figura 2. 25: Estrada de ligação Ribeira Brava-Juncalinho [Ilha de São Nicolau]	34
Figura 2. 26: Perfil transversal tipo 1 – Ilha de São Nicolau (Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015)	35
Figura 2. 27:perfil transversal tipo 2- Ilha de São Nicolau (Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015)	35
Figura 3. 1: Solução 1 para pavimento em estudo sem camada de desgaste e base e subbase granular	47
Figura 3. 2: Solução 2 para pavimento em estudo com camada de subbase estabilizado com cimento	47
Figura 3. 3: olução 3 para pavimento em estudo com camada de base e subbase estabilizado com cimento	47
Figura 3. 4: Solução 1 para pavimento em estudo com camada de desgaste em betão betuminoso	47
Figura 3. 5: Solução 2 para pavimento em estudo com camada de sub base estabilizada com cimento.....	48
Figura 3. 6: Solução3 para pavimento em estudo com camada de base e subbase estabilizadas com cimento	48
Figura 3. 7: Esquema de tratamento da estrutura do pavimento (FUNDEC-IST, 2014)	49
Figura 3. 8: Modelo de estrutura de pavimento (FUNDEC- IST, 2015).....	50
Figura 3. 9: 1ª tentativa para solução estrutural	55
Figura 3. 10: 1ª tentativa para solução estrutural	57
Figura 3. 11: 1ª tentativa para solução estrutural	59
Figura 3. 12: Percentagem de custo associado a cada camada- caso 1	63
Figura 3. 13: Percentagem de custo associado a cada camada - caso 2	64
Figura 3. 14: Percentagem de custo associado ao caso 3	65
Figura 3. 15: Custos totais por m ² de cada caso [ECV]	66

Índice de anexos

Figura II. 1: Localização de postos de contagem de tráfego em Santiago.....	73
Figura II. 2: Localização de postos de contagem de tráfego em São Nicolau	73
Figura II. 3: Localização de postos de contagem de tráfego em São Vicente	73
Figura II. 4: Localização de postos de contagem de tráfego na ilha do Sal	74
Figura III. 1: 1ª tentativa do caso 1	76
Figura III. 2: 2ª tentativa do caso 1	76
Figura III. 3: 3ª tentativa do caso 1	76
Figura III. 4: 4ª tentativa do caso 1	77
Figura III. 5: 5ª tentativa do caso 1	77
Figura III. 6: 1ª tentativa do caso 2	77
Figura III. 7: 2ª tentativa do caso 2	78
Figura III. 8: 3ª tentativa do caso 2	78
Figura III. 9: 4ª tentativa do caso 2	78
Figura III. 10: 1ª tentativa do caso 3	79
Figura III. 11: 2ª tentativa do caso 3	79
Figura III. 12: 3ª tentativa do caso 3	79
Figura III. 13: 4ª tentativa do caso 3	79
Figura III. 14: 5ª tentativa do caso 3	80
Figura III. 15: 6ª tentativa do caso 3	80
Figura III. 16: Definição das características dos materiais para a primeira tentativa do caso 2	80
Figura III. 17: Introdução de dados referentes à solicitação de tráfego no programa Bisar	81
Figura III. 18: Definição das coordenadas dos pontos a avaliar para a estrutura da 1ª tentativa do segundo caso	82

Índice de quadros

Quadro 2. 1: Extensão de estradas existentes em cada ilha de Cabo Verde por tipo de pavimento (Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015)	12
Quadro 2. 2: Especificações utilizadas para o betão betuminoso (Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015) .	23
Quadro 2. 3: Fuso proposto pelo empreiteiro [Monteadriano, ELEVO Group- 2015]	24
Quadro 2. 4: Resultados obtidos dos ensaios [Instituto de Estradas. 2015].....	26
Quadro 2. 5: Formulação da mistura betuminosa [Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015]	27
Quadro 2. 6: Natureza dos materiais encontrados no estudo geotécnico	29
Quadro 2. 7: Classe de fundação e de plataforma ao longo da estrada de cidade Velha.....	30
Quadro 2. 8: Resultado do dimensionamento para as camadas de pavimento- estrada da cidade velha	31
Quadro 2. 9: Tráfego médio diário anual de todos os veículos que circulam em cada troço de estrada analisado, IE 2014.....	38
Quadro 3. 1: TMDA para várias estradas de várias ilhas de Cabo Verde	41
Quadro 3. 2: Número acumulado de veículos pesados para a via de projeto de cada estrada do Quadro 3.1, para taxas de crescimento de 1% e 3%, e para períodos de vida útil de 10, 15 e 20 anos.....	42
Quadro 3. 3: Número acumulado de veículos pesados para as classes de tráfego descritas e para as mesmas condições de evolução de tráfego e vida útil do Quadro 3.2.....	42
Quadro 3. 4: Número acumulado de eixos-padrão de 80 kN (N_{80}) para as classes de tráfego descritas e para as mesmas condições de evolução de tráfego e vida útil do Quadro 3.2	43
Quadro 3. 5: Classes de tráfego SATCC para o N_{80} mostrado no Quadro 3.4	43
Quadro 3. 6: Classes de tráfego SATCC em função de N_{80} (referência)	43
Quadro 3. 7: Classe de fundação	44
Quadro 3. 8: Região climática e sua precipitação média anual	45
Quadro 3. 9: Categoria das vias segundo o manual Sul Africano, SATCC	46
Quadro 3. 10: Características do solo de fundação e classe de fundação para solução otimista	52
Quadro 3. 11: Módulo de deformabilidade para bases ligadas com cimento [Conceção e Conservação de Pavimentos Rodoviários, IST]	53

Quadro 3. 12: Características dos materiais betuminosos – VMA (vazios da mistura de agregados)	54
Quadro 3. 13: Características dos materiais betuminosos – Sb (Rigidez do betume).....	54
Quadro 3. 14: Características dos materiais betuminosos – Em (Módulo de deformabilidade	54
Quadro 3. 15: Módulo de deformabilidade e coeficiente de poisson das camadas do pavimento.....	55
Quadro 3. 16: Dano à fadiga do caso 1 (método da AUSTROADS)	56
Quadro 3. 17: Dano à deformação permanente do caso 1 (SHELL).....	57
Quadro 3. 18: Dano à fadiga para a segunda solução estrutural (Método da AUSTROADS)	58
Quadro 3. 19: Dano à deformação permanente para a segunda solução estrutural	58
Quadro 3. 20: Dano à fadiga do caso 3 (método da SHELL).....	59
Quadro 3. 21: Dano à deformação permanente do caso 3 (método da SHELL)	60
Quadro 3. 22: Tabela de preços de materiais para pavimentação empregue em Portugal	62
Quadro 3. 23: Custo associado ao caso 1.....	62
Quadro 3. 24: Custo associado ao caso 2.....	64
Quadro 3. 25: Custo associado ao caso 3.....	65

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Desde a segunda metade do século XX tem-se verificado uma crescente evolução no estudo sobre as peculiaridades dos solos tropicais como materiais de construção de estradas. A sua validação como materiais de pavimentação de estradas, pode apresentar vantagens económicas (e eventualmente técnicas) significativas para administrações com menos recursos para obter materiais validados tecnologicamente e tradicionalmente empregues na construção de pavimentos.

Uma obra de estradas é caracterizada pela sua grande diversidade de órgãos e componentes, determinando a intervenção no seu projeto de imensas especialidades tais como topografia, geologia e geotecnia, pavimentação, drenagem, estruturas, segurança rodoviária, ambiente e paisagismo e em alguns casos iluminação e telecomunicações. Estas características visam garantir qualidades a níveis variadas, como comodidade, acessibilidade, segurança, que são características fundamentais para o bom funcionamento de uma cidade e seus arredores.

Devido àquela complexidade, torna-se importante a avaliação da possibilidade de emprego de materiais locais na construção de estradas nomeadamente no que diz respeito a pavimentos rodoviários, de forma a contribuir para soluções mais efetivas que respondam a aspetos particulares referentes ao clima e à intensidade de tráfego, aos recursos disponíveis e às necessidades de cada país.

Neste contexto surge a possibilidade, em Cabo Verde, do uso de materiais não habituais para pavimentação, apostando, por exemplo, em estabilização de solos locais, nomeadamente com cimento, em detrimento de outros materiais normalmente utilizados que ou dependem da importação de ligantes (as misturas betuminosas, por exemplo) ou permitem um conforto de circulação muito baixo, como por exemplo os pavimentos em pedras de origem vulcânica utilizadas nas “calçadas de basálticas”.

Essas novas alternativas visam não só melhorar a qualidade dos pavimentos mas também ter vantagens com significado a nível de custo final do pavimento.

Este trabalho pretende contribuir para o aumento de conhecimento acerca das tecnologias para pavimentação de estradas em Cabo Verde, dando a conhecer ao país soluções e formas alternativas de resolver problemas de maiores ou menores ordem de grandeza avaliando se as alternativas possíveis são viáveis em termos de tecnológicos e de custo. Pretende-se também que este trabalho seja uma forma de expandir o conhecimento nesta área despertando a vontade e a curiosidade no sentido de se pensar em investir nestas novas tecnologias

e especializar técnicos e engenheiros neste sentido, promovendo mudanças viáveis e eficientes para o país e aqueles que se comprometem perante a realidade do mesmo.

1.2. Objetivos e metodologia

Este trabalho tem o seguinte objetivo:

- Avaliar a viabilidade das soluções possíveis para pavimentação de estradas em Cabo Verde, nomeadamente no que diz respeito a materiais disponíveis, de custos e de sustentabilidade dos procedimentos.

Para atingir aquele objetivo este trabalho dividiu-se, metodologicamente, em três fases:

1. A primeira fase, pesquisa bibliográfica, teve como objetivo a síntese e a análise de informação relativa aos tipos de pavimentos e tecnologia de pavimentação habitualmente usados em Cabo Verde;
2. A segunda fase teve como finalidade a consideração de alternativas, levando em conta o conhecimento que se consolidou na 1ª fase, para a materialização de soluções de pavimentos rodoviários em Cabo Verde, dimensionadas com a orientação habitual e também com uma orientação alternativa;
3. Na terceira e última fase elegeram-se as hipóteses viáveis tecnologicamente para a execução de pavimentos em Cabo Verde e avaliaram-se os custos de construção para as soluções tradicionais e para as não habituais, inferindo finalmente sobre a viabilidade de utilização de alternativas de pavimentação na prática tecnológica do país.

1.3. Estrutura da dissertação

Este trabalho está organizado em 4 capítulos, os quais são descritos de seguida:

- Capítulo 1: “Introdução”. O presente capítulo tem o enquadramento do trabalho sendo referidos aspetos mais gerais relativos ao seu tema. São ainda apresentados os objetivos, a metodologia utilizada e a estrutura do trabalho.
- Capítulo 2: “Caracterização e tecnologias de construção de pavimentos utilizados em Cabo Verde”. Neste capítulo faz-se a descrição dos diferentes pavimentos existentes e das suas tecnologias de construção nas estradas em Cabo Verde, fazendo-se referência ao tráfego, às características geológicas dos terrenos, aos materiais utilizados na construção e as suas vantagens e desvantagens.
- Capítulo 3: “Análise da proposta de novas tecnologias de pavimentação em Cabo Verde”. Neste capítulo são avaliadas tecnologias de pavimentação passíveis de serem implementadas em Cabo

Verde e faz-se a sua análise comparativa em termos de custo de construção com as soluções tradicionalmente utilizadas que foram definidas no capítulo anterior.

- Capítulo 4: “Conclusões e trabalhos futuros”. Neste capítulo são apresentadas as principais conclusões resultantes do estudo realizado. São ainda propostas linhas orientadoras para trabalhos futuros
- Anexos: Apresenta-se no anexo 1 anexos os mapas dos vários pontos de estudo de tráfego tratados ao longo do capítulo 2, referentes a cada uma das ilhas em estudo. No anexo 2 é possível observar as estruturas de pavimento em análise do capítulo 3 assim como uma breve descrição de uma das soluções utilizadas pelo software Bisar 3.0.

2. Caracterização e tecnologias de construção de pavimentos utilizados em Cabo Verde

2.1. Enquadramento

O arquipélago de Cabo Verde (Figura 2.1) encontra-se enquadrado no grupo das ilhas Atlânticas ou da Macaronésia, que engloba os arquipélagos dos Açores, da Madeira, das Canárias e as Ilhas Selvagens, devido às fortes semelhanças no que diz respeito à origem vulcânica, flora, fauna e localização no Oceano Atlântico [Assunção, 1968].

Dada a sua origem vulcânica, formaram-se a partir da acumulação de material eruptivo sobre a plataforma marinha entre a costa africana e as grandes profundidades oceânicas.

A origem do vulcanismo caracterizado essencialmente por magmas fortemente alcalinos, relaciona-se com a presença de um hot spot oceânico, no interior da Placa Africana, que é a expressão superficial da “Pluma Mantélica de Cabo Verde” [White, 1989 e Courtney & White, 1986 in Silveira, 2006].

A maior parte das ilhas é dominada por emissões de escoadas lávicas e materiais piroclásticos subaéreos, predominantemente de natureza basáltica [Assunção, 1968].

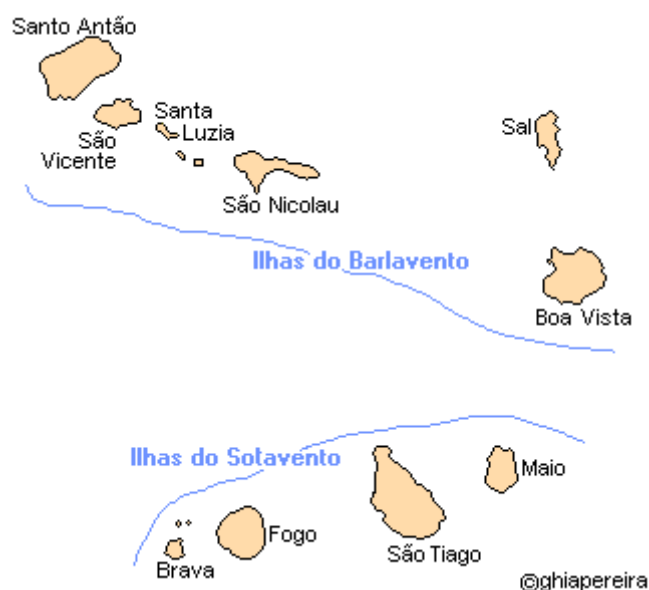


Figura 2. 1: Ilhas de Cabo Verde [Cape Verde Faidate]

Com base nos conhecimentos geológicos atuais, admite-se que as primeiras manifestações vulcânicas submarinas que deram origem ao arquipélago tiveram lugar na Era Terciária (Paleogénico). Estas atividades vulcânicas prolongaram-se até ao Quaternário com alternâncias de períodos de grande atividade vulcânica e períodos de relativa acalmia.

As rochas vulcânicas mais antigas correspondem ao Complexo Filoniano de Base presente praticamente em todas as ilhas. Atualmente este complexo é constituído por basaltos (em escoadas e filões), rochas granulares, brechas vulcânicas, fonólitos e carbonatitos, geralmente muito alterados. As formações mais antigas afloram, habitualmente, nos vales e nas proximidades da foz das grandes ribeiras, em locais aonde a erosão vem escavando as formações mais recentes, colocando em descoberto as mais antigas.

As atividades vulcânicas do Pliocénico deixaram como testemunho grandes volumes de lavas, principalmente basálticas, que na atualidade cobrem a maior superfície das ilhas e desempenham um papel determinante na atual geomorfologia da maioria delas. [Assunção, 1968].

Segundo Assunção 1968, tal como a origem geológica descrita determina os materiais disponíveis localmente, as condições climáticas também representam um fator importante a ter em conta na tecnologia de pavimentação de estradas, afetando o comportamento dos materiais empregues. No que se refere a esse efeito 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, quando esses pavimentos possuem camadas de betão betuminoso.

2.2. Tipos de pavimentos rodoviários em Cabo Verde e sua materialização

2.2.1. Generalidades

Cabo Verde, enquanto pequeno país insular em desenvolvimento, sofre de uma vulnerabilidade natural pela sua pequena dimensão. A dispersão geográfica e o isolamento contribuem para que as ilhas estejam numa posição de desvantagem, em termos de planeamento do território e desenvolvimento. No entanto, é precisamente a beleza natural dessa insularidade e o clima quente e seco que levou esta nação a apostar no setor turístico como alavanca para o desenvolvimento. Deste modo, o turismo contribui para o desenvolvimento socioeconómico geral e potencia a criação de numerosas infraestruturas, incluindo a rede de estradas. No entanto, e no atual contexto de crise económica mundial, a dependência económica do exterior agravada pela limitação de recursos naturais, colocou a economia numa posição de fragilidade, comprometendo os avanços e, conseqüentemente, o potencial de desenvolvimento que vem demonstrando nos últimos anos. [Instituto da dinâmica do espaço, IDE]

Neste contexto, e aproveitando a aproximação e pontos em comum entre povos e culturas e restantes características de vários países localizadas em zonas tropicais, designadamente, Angola, Cabo Verde, Moçambique, Brasil e Guiné Bissau, e as suas ligações com Portugal, o estudo de infraestruturas rodoviárias, coloca um desafio onde se pretende, simultaneamente a adaptação e o contributo a novos mercados, novas realidades, onde o reforço das capacidades técnico-científicas associadas à concretização de instrumentos específicos, funcionarão de suporte essencial para o desenvolvimento social, económico e ambiental.

Promovendo dinâmicas sociais e económicas, e corrigindo as assimetrias regionais utilizando infraestruturas de transportes como instrumento político de desenvolvimento regional e de enquadramento nacional, promove-se a melhoria das características de qualidade de vida, estando este desenvolvimento inevitavelmente interligado ao crescimento do país. A oferta dá lugar, assim, a um conjunto de efeitos indispensáveis ao crescimento, isto é, as novas infraestruturas de transporte melhoram a acessibilidade, permitem o desenvolvimento de economias de aglomeração e de escala nas regiões que passam a ser servidas e contribuem para o aumento da mobilidade espacial. A acessibilidade e mobilidade têm sido cada vez mais fatores de estudo no sentido de otimizar e aumentar as trocas económicas no que diz respeito a bens e serviços, fomentando o intercâmbio social, cultural e económico entre populações, desenvolvendo assim, regiões, cidades e países.

Tudo isso tem sido possível com o crescente desenvolvimento de tecnologias de construção e constante investigação de materiais, métodos e estudos na óptica de otimizar os pavimentos rodoviários de acordo com o país em estudo, o seu nível de tráfego rodoviário, clima, e cada vez mais, com os materiais disponíveis a nível nacional.

Dito isto, os modelos de pavimentos rodoviários são considerados um sistema multiestratificado composto por várias camadas de espessura finita, apoiadas numa fundação constituída por terreno natural que pode ou não ter um coroamento de qualidade melhorada (Branco et al,2011).

Segundo Branco et al (2011) a superfície que resulta de terraplanagens, sendo formada por solos, não exhibe em geral características de resistência adequadas para fazer face às cargas, quer verticais quer tangenciais, dos rodados dos veículos, nem à ação dos agentes atmosféricos (nomeadamente a água das chuvas e o gelo). É nesta ótica que surgiu a necessidade de construir sobre a plataforma resultante das terraplanagens, uma estrutura de materiais mais resistentes que suporte bem as ações dos agentes atmosféricos e as cargas do tráfego, e que transmita estas, após uma certa degradação, ao terreno que fica sob a estrutura.

Como tal (Branco et al,2011), a função primordial de um pavimento rodoviário é garantir uma superfície que permita a circulação de veículos em condições adequadas de segurança, conforto e economia. Para que isso seja possível, as superfícies dos pavimentos devem ter determinadas características agrupadas em: características funcionais (relacionadas com o conforto dos utentes) e características estruturais (relacionadas com o comportamento estrutural de todo o pavimento). Entre as características funcionais destacam-se a regularidade geométrica, a aderência, a capacidade de drenagem de águas superficiais e o ruído induzido pela circulação dos veículos. Em termos estruturais interessa que os pavimentos apresentem características tais como a integridade, a regularidade e o desempenho da superfície, verificadas pela ausência de fendas, pela resistência à deformação permanente, fadiga, reflexão das fendas, resistência ao fendilhamento superficial, ao fendilhamento induzido por ações térmicas e desagregações ao longo do tempo. O pavimento deve suportar as cargas dos veículos sem sofrer alterações para além de determinados valores limite, garantindo-se, desta forma, que não se atinge a condição de ruína estrutural (Branco et al, 2011).

Foi, portanto, desenvolvido um conjunto de métodos para a conceção, o dimensionamento, assim como um conjunto de metodologias tecnológicas para a realização de infraestruturas rodoviárias, as quais são hoje alvo de estudo constante para melhorar a capacidade e a qualidade dos pavimentos.

Atualmente é também dada uma crescente importância aos aspetos de natureza ambiental tais como a mitigação do ruído induzido pela circulação dos veículos, ou os aspetos paisagísticos.

As características dos pavimentos variam consoante o uso que estes terão, sendo por isso possível verificar a existência de diversos tipos de pavimentação.

Apresenta-se de seguida a rede rodoviária de Cabo Verde, o tipo de pavimento existente em cada uma das ilhas e a sua extensão.

2.2.2. Rede rodoviária em Cabo Verde

Pode-se observar através do Quadro 2.1 a extensão de estradas existentes em cada uma das ilhas, repartida pelo tipo de pavimento existente.

Quadro 2. 1: Extensão de estradas existentes em cada ilha de Cabo Verde por tipo de pavimento (Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015)

Ilha	Extensão Estradas Nacionais (m)	Extensão BB (m)	Extensão Pedra (m)	Extensão Betão (m)	Extensão Terra Batida (m)
Santo Antão	213 977,0	33 267,0	134 190,0	1 213,0	45 307,0
São Vicente	54 807,0	24 316,0	30 448,0	43,0	0,0
São Nicolau	94 100,0	30 769,0	50 857,0	1 063,0	11 411,0
Sal	39 063,0	39 063,0	0,0	0,0	0,0
Boa Vista	51 919,0	27 509,0	24 072,0	338,0	0,0
Maio	48 429,0	15 057,0	32 531,0	684,0	157,0
Santiago	389 705,0	185 012,0	190 389,0	3 775,0	10 529,0
Fogo	144 285,0	14 855,0	128 804,0	293,0	333,0
Brava	10 154,0	6 129,0	4 025,0	0,0	0,0
Total Estradas Nacionais:	1 046 439,0	375 977,0	595 316,0	7 409,0	67 737,0

A nível do tipo de pavimento existente no país, os pavimentos mais utilizados em Cabo Verde foram durante muito tempo executadas em Pedra, sendo progressivamente substituídos pelos pavimentos flexíveis de betão betuminoso “BB”. É também possível observar ainda alguma participação da extensão em Terra batida. Esta solução consiste na simples compactação do terreno de modo a ser possível a circulação de veículos. Encontra-se praticamente em desuso, sendo ainda possível observar alguma extensão a nível de estradas rurais no interior do país.

Pela figura 2.2 abaixo indicada, é possível observar, a percentagem existente em Cabo Verde, de cada tipo de pavimento indicado no quadro 2.1 acima.

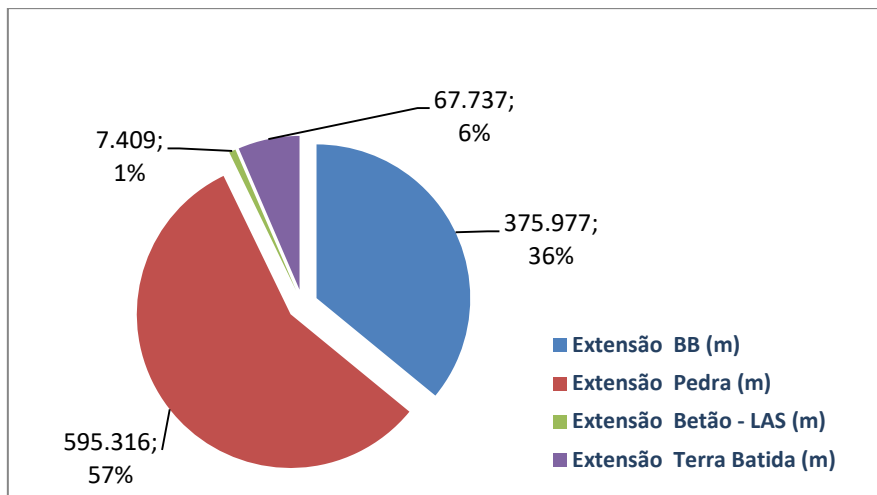


Figura 2. 2: Percentagem de tipos de pavimentos existentes em Cabo Verde

Como já seria expectável, existe ainda a predominância da extensão em Pedra em Cabo Verde. Como se pode observar pela figura 2.2, 57% das estradas nacionais são ainda em Pedra, sendo, 36% de BB, 6% em terra batida e apenas 1% em Betão.

É possível ainda observar pela figura 2.3, que a nível de estradas nacionais, as ilhas de maiores dimensões (Santiago, Santo Antão e Fogo) apresentam maiores extensões de estradas a nível global. Por serem as maiores ilhas, necessitam de maiores extensões de estradas para fazer face às suas necessidades e atingir todas as vilas, cidades e populações. Para além disso existe uma grande discrepância quanto ao uso de financiamento entre as várias ilhas. Santiago, por ser a ilha onde se encontra a Capital do país, acaba por beneficiar mais do que as restantes ilhas, sendo por isso, aquela cujo desenvolvimento é maior, principalmente a nível das infraestruturas de transporte.



Figura 2. 3: Extensão de estradas nacionais

Fazendo uma caracterização sumária do tipo de pavimentos que se está a considerar (figura 2.4):

- O pavimento “BB” é geralmente constituído por camada de desgaste em mistura betuminosa de granulometria contínua (tipo AC 14 na EN13108-1) sobre uma ou duas camadas de agregado britado de granulometria extensa (ABGE) e em que o pavimento assenta sobre uma fundação natural regularizada e compactada;
- O pavimento “Pedra”, muito parecida à solução anterior, difere daquela por ter na sua camada de desgaste a calçada basáltica localmente extraída e não ser composto pela camada de desgaste em betão betuminoso;
- O pavimento “Betão”, designado de pavimento rígido, é geralmente constituído por uma laje de betão de cimento compactado por vibração, desempenhando o papel de camada de desgaste e de camada de base a qual é apoiada numa camada de sub-base que pode ser construída por material granular ou até mesmo material estabilizado com cimento
- O pavimento “Terra Batida” consiste na simples compactação do terreno de forma a garantir a circulação de veículos de forma segura.

Pode-se observar através da Figura 2.4 a parcela de pavimentos “BB” nas várias ilhas de Cabo Verde. Em destaque a ilha de Santiago, onde se encontra a capital do país, com um crescimento bastante superior comparativamente às restantes ilhas. Isto deve-se à concentração maioritária da população de Cabo Verde na ilha de Santiago, maior concentração de atividades económicas e desenvolvimento de forma geral e abrangente da ilha.

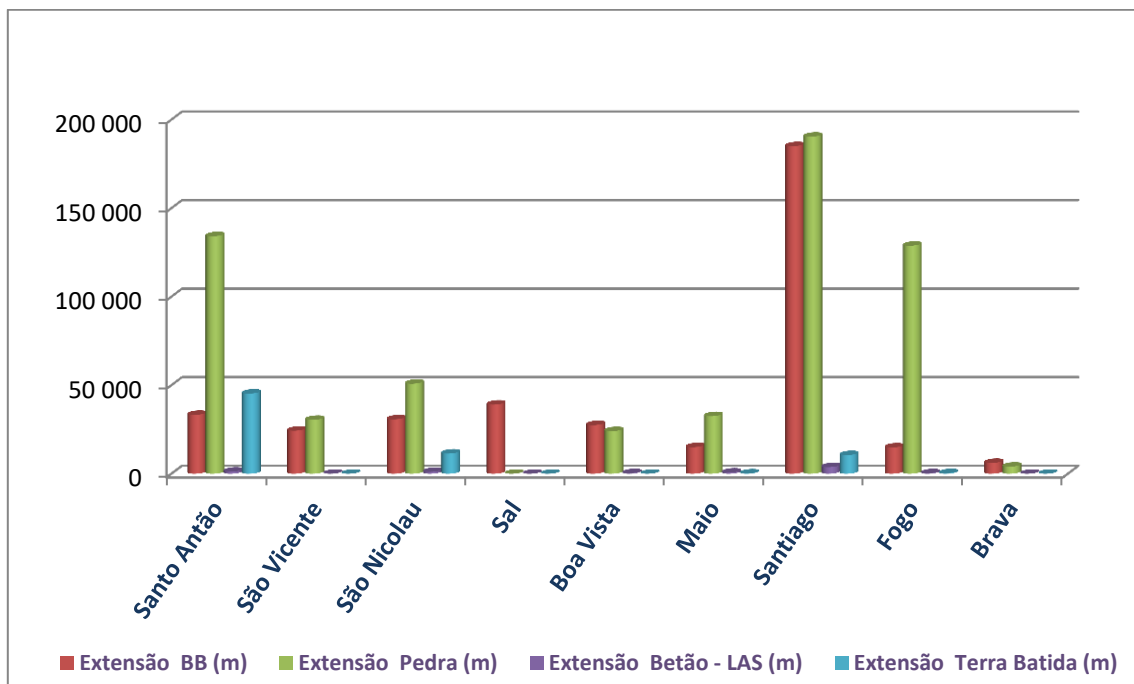


Figura 2. 4: Extensão de tipo de pavimento por ilha

2.3. Pavimentos flexíveis e os materiais utilizados na sua conceção

2.3.1. Enquadramento

Os pavimentos flexíveis têm constituído, nos últimos anos, a principal opção como solução de pavimentação da maioria das estradas da rede rodoviária nacional (Cabo-verdiana).

A introdução do betão betuminoso em Cabo Verde deu início na ilha de Sal em meados do Século XIX. A Estrada que se estende entre o único aeroporto internacional da altura (Aeroporto Amílcar Cabral é a designação atual) e a vila principal, Vila dos Espargos, era constituída simplesmente por 1 faixa de rodagem com 2 vias, uma em cada sentido. Este desempenhou um papel importante no desenvolvimento económico do país.

Apenas muitos anos depois, foi possível observar o crescente desenvolvimento das estradas em Cabo Verde com base em pavimentos do tipo “BB”.

No início do século XXI deu-se então início à construção de estradas com um pavimento tipo “BB”. Iniciando-se na ilha de Santiago, pela estrada que se estende entre os extremos sul (Cidade da Praia) e Norte (Tarrafal), num percurso de 74 km através das localidades no interior da ilha, e regressa pelo litoral este, unido, em sentido inverso, os mesmos extremos tocando as localidades litorais de Calheta São Miguel, Pedra Badejo e Santa Cruz. A primeira pavimentação com um pavimento do tipo “BB”, com cerca de 37 km entre Praia e Assomada, com 7 metros de largura, permite que metade da extensão da estrada interior entre Praia e Tarrafal se faça com maior conforto e segurança(figura 2.5).



Figura 2. 5: Estrada de ligação entre Cidade da Praia e interior da ilha (Ilha de Santiago)

Em Novembro de 2007 inaugurou-se a importante Via Circular da Praia, com 17 km de extensão e 2 faixas de rodagem, apresentada na figura 2.6, cruzando as principais vias de acesso à cidade capital, desde o aeroporto internacional da Praia passando por São Francisco, figura 2.6, terminando perto da cidade Velha. Trata-se de

um tipo de estrutura de pavimento caracterizada por uma considerável flexibilidade e, como tal, muito suscetíveis à variação de comportamento da sua fundação.



Figura 2. 6: Estrada de acesso a São Francisco (Ilha de Santiago)

Em maio de 2012, deu-se o início à reabilitação e pavimentação com pavimento do tipo BB da estrada Praia-Cidade Velha, apresentada na figura 2.7, com um comprimento total do corredor da estrada de 6 km.

A reabilitação desta Estrada Nacional, realizada pelo instituto de estradas de Cabo Verde, tem como objetivo a contribuição para a melhoria de circulação na Cidade Velha (património imaterial mundial), alvo de um forte crescimento turístico, facilitando também a movimentação de produtos agrícolas para a cidade da Praia.



Figura 2. 7: Pavimentação da estrada Praia- Cidade Velha (Ilha de Santiago)

Para além destas estradas de maior importância, foram realizadas na cidade da Praia, obras de reabilitação de algumas das vias locais mais açadas na ilha. Uma avenida marginal (Av. dos combatentes da liberdade da pátria), com uma extensão de 3,5 km, que liga o aeroporto à zona da Prainha, onde se situam os principais hotéis da cidade da praia, algumas zonas consideradas nobres devido à história do país, ao centro da cidade (Plateau) contemplada com a pavimentação com pavimento em “BB” e também algumas importantes artérias

circundantes. Também salientar que obra rodoviária de alguma referência é a Avenida Cidade de Lisboa, Figura 2.8, financiada pela União das Cidades Capitais de Língua Portuguesa (UCCLA).



Figura 2. 8: Av. Cidade de Lisboa (Ilha de Santiago)

2.3.2. Estrutura de um pavimento flexível

2.3.2.1. Enquadramento

De seguida apresenta-se a estrutura mais geral dum pavimento flexível (Figura 2.9), na qual se encaixa o pavimento de “BB” referido.

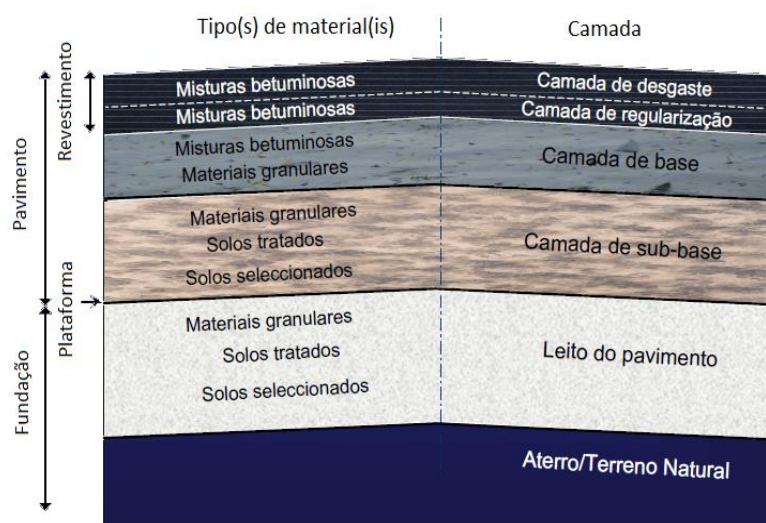


Figura 2. 9: Corte esquemático de um pavimento flexível (Antunes et al, 2006)

A camada de desgaste é a primeira camada e é aquela que está sujeita à ação direta do tráfego e dos agentes atmosféricos. Esta camada é responsável por assegurar as características funcionais da superfície tais como a cor e outras qualidades óticas. Para além de ter que garantir a circulação dos utentes com conforto e segurança, esta camada tem ainda a função de impermeabilizar o pavimento, evitando a entrada de água para as camadas subjacentes e para o solo de fundação (Branco et al, 2011).

A camada de regularização, tal como o próprio nome indica, tem como função garantir uma boa regularidade superficial para a execução da camada de desgaste. Visa ainda impermeabilizar as camadas subjacentes e transmitir as cargas à camada de base (Crucho, 2011). É constituída por agregados britados de granulometria extensa, sendo que é possível recorrer ao seu tratamento através de ligantes hidráulicos ou betuminosos. Pode assim ter-se, por exemplo, bases de macadame betuminoso.

A camada de base tem como principal função a degradação das cargas provenientes das camadas superiores, transmitindo-as para as camadas inferiores com valores compatíveis com a capacidade destas. Nos casos em que as vias apresentam tráfego intenso é comum a utilização de materiais granulares tratados com ligantes hidráulicos ou betuminosos nas camadas de base, permitindo, desta forma, aumentar a sua capacidade de suporte (Picado-Santos et al, 2000).

A camada de sub-base, à semelhança da camada sobrejacente, tem como função a degradação das cargas. Possui também características de drenagem, por forma a impedir que as águas ascensionais ou águas capilares atinjam a camada de base garantindo-lhe, assim, boas características resistentes. Esta camada assume ainda um papel importante na uniformidade da plataforma, garantindo uma superfície de trabalho adequada e facilitando a compactação da camada de base. Em relação às sub-bases, utilizam-se materiais mais nobres, de melhor qualidade, recorrendo-se para tal a solos selecionados, agregados britados de granulometria extensa ou a solos ou agregados com adição de ligantes hidráulicos (Martins, 2007).

A camada de leito de pavimento, parte da fundação do pavimento, tem como função aumentar a capacidade de suporte da fundação e homogeneizar a suas características resistentes (Branco et al, 2011). Visa, portanto, adaptar as características aleatórias e dispersas dos materiais existentes nas camadas superiores dos aterros, ou dos materiais “in situ” nas escavações, às características mecânicas, geométricas, hidráulicas e térmicas, consideradas como hipóteses no projeto da estrutura do pavimento (Neves, 2009). No que diz respeito aos materiais constituintes da fundação do pavimento, o leito do pavimento é, em geral, constituído por solos ou materiais granulares.

A camada de aterro, que também faz parte da fundação, é constituída pelo produto final das terraplenagens, devendo a sua superfície ser regular e desempenada, devendo apresentar também capacidade de suporte,

quer a longo prazo, quer a curto prazo, de modo a permitir a circulação do equipamento para a construção do pavimento (Martins, 2007).

Pretende-se no seguimento deste capítulo da dissertação, fazer um levantamento das tecnologias e materiais utilizados em obras de infraestruturas, mais concretamente as obras de estradas com pavimentos flexíveis, executadas nos últimos anos nas ilhas e que maior impacto tiveram ao nível do crescimento económico. De entre elas, destacam-se 2 obras relativamente recentes, de carácter importante para o país:

- Conceção e reabilitação da estrada de ligação entre Lém Ferreira e o porto da Praia – Ilha de Santiago
- Conceção da estrada de ligação entre a cidade da Praia e a Cidade Velha

2.3.2.2. Conceção e reabilitação da estrada de ligação entre Lém Ferreira e Porto da Praia- Ilha de Santiago

A presente obra realizada na cidade da Praia na ilha de Santiago (Figura 2.10) enquadra-se no conceito da extensão da circular da cidade, servindo de ponto de ligação do porto às restantes partes da cidade. A estrada em questão já existia anteriormente, sendo o pavimento constituído maioritariamente pelo tipo de pavimento “Pedra”. A presente obra foi iniciada no último trimestre do passado ano 2015 e encontra-se ainda em curso.



Figura 2. 10: Extensão da estrada Lém Ferreira a reabilitar (Ilha de Santiago)

Os trabalhos a executar na presente empreitada compreendem:

- Movimentação de terras;
- Execução de lancis e passeios;
- Reabilitação da estrada em “BB”.
- Sinalização

Relativamente à sua reabilitação, foi possível observar duas soluções distintas. Uma primeira solução, onde procedeu-se à remoção total do anterior pavimento existente, sendo por isso necessário o dimensionamento

das camadas do pavimento flexível a executar, e uma segunda solução, na qual foi feita uma sobreposição de camadas betuminosas no pavimento em “Pedra” já existente no local.

Para a primeira solução, foi feita a escavação e regularização do terreno seguido de compactação. Usou-se duas camadas de 20 cm de espessura de agregado britado de granulometria extensa (ABGE). Seguidamente, e depois de rega de impregnação para melhorar a aderência da camada betuminosa, executou-se uma camada de betão betuminoso com 5cm de espessura, do tipo AC14 (EN13108-1). Relativamente à camada de betão betuminoso, os ensaios sobre misturas betuminosas e seus constituintes foram realizados na Central de Britagem em Pedra Badejo- Santiago.

Ainda neste subcapítulo será abordado com maior detalhe a camada de desgaste utilizada nesta obra.

Na figura 2.11 é possível observar o corte transversal desta solução.

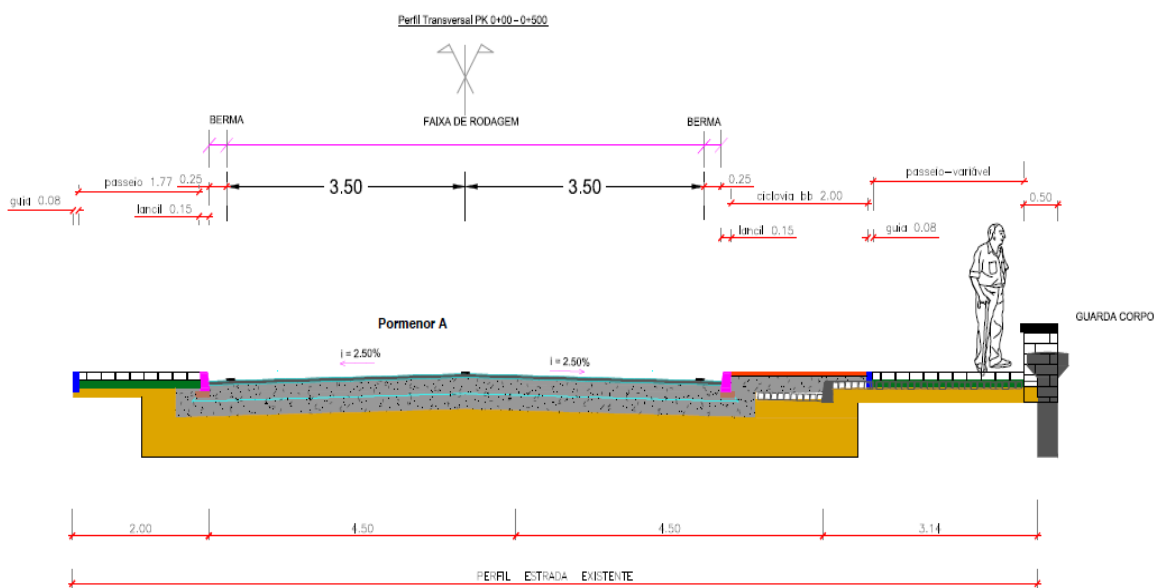


Figura 2. 11: Corte transversal de nova solução adotada [Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015]

Pelas figuras 2.12 e 2.13 é possível observar os pormenores construtivos desta solução, referentes à zona corrente de estrada e à zona de passeio respectivamente

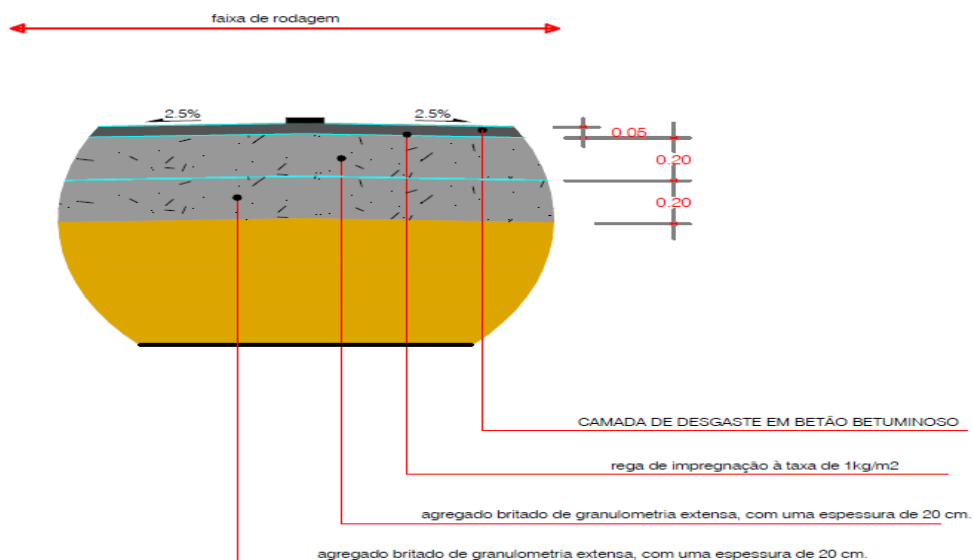


Figura 2. 12: Pormenor de corte transversal adotado em zona corrente passeio [Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015]

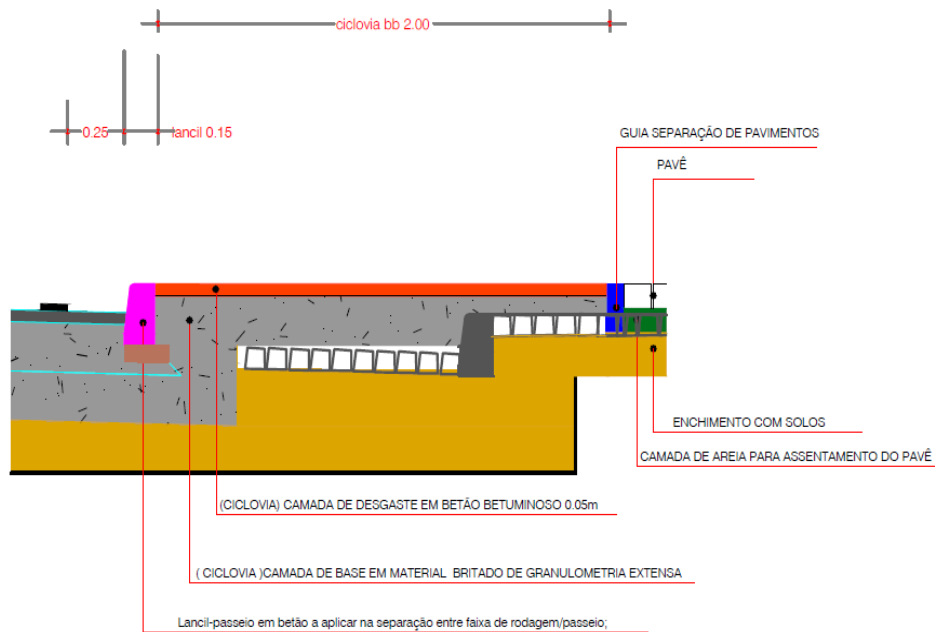


Figura 2. 13: Pormenor de corte transversal em zona de passeio [Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015]

A segunda situação relativamente à reabilitação deste troço indica-se na figura 2.14 abaixo. Esta diferencia-se da anterior por se ter usado uma camada de regularização betuminosa tipo AC20 (EN13108-1), designada na figura 2.15 por macadame betuminoso, sobre a calçada de basalto e só depois se ter colocada a camada de desgaste em betão betuminoso. Neste caso não foram feitas as camadas de base e/ou sub-base como da solução anterior.

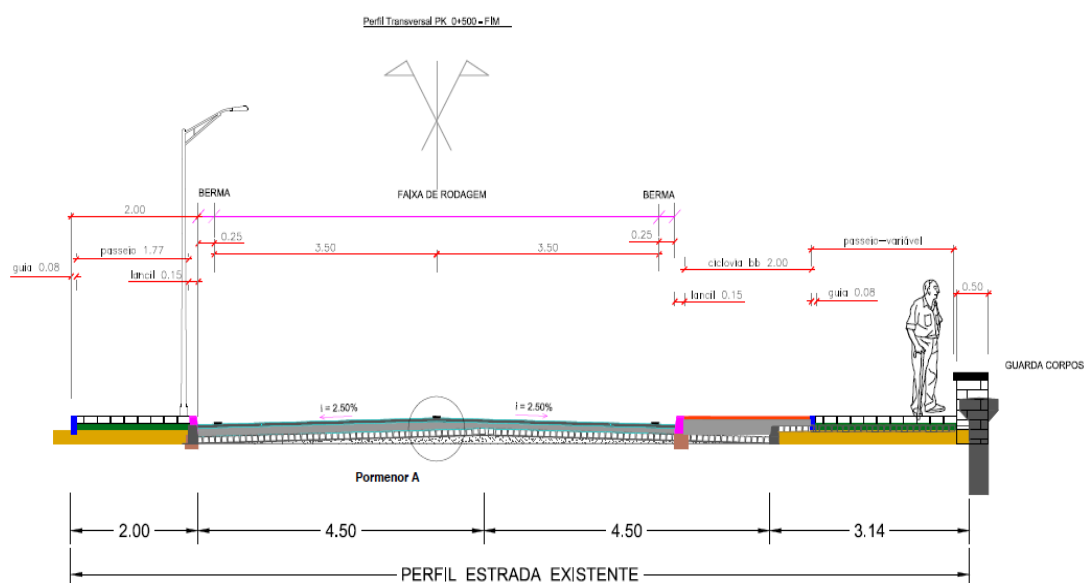


Figura 2. 14: Corte transversal da segunda situação de reabilitação do troço de estrada Lém Ferreira- Porto da Praia passeio [Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015]

Através das figuras 2.15 e 2.16 é possível observar a diferença do pormenor construtivo face à anterior situação apresentada nas figuras 2.14 e 2.13. Temos aqui presente a necessidade de se fazer a rega de colagem entre os blocos de basalto e a camada de regularização para posterior aplicação da camada de betão betuminoso que, é também ligada à camada de regularização através da rega de colagem.

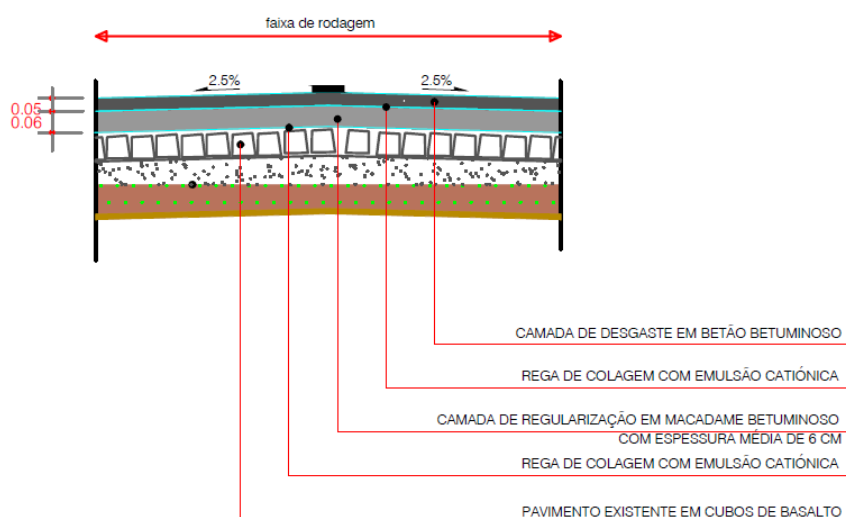


Figura 2. 15 Pormenor de corte transversal em zona corrente passeio [Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015]

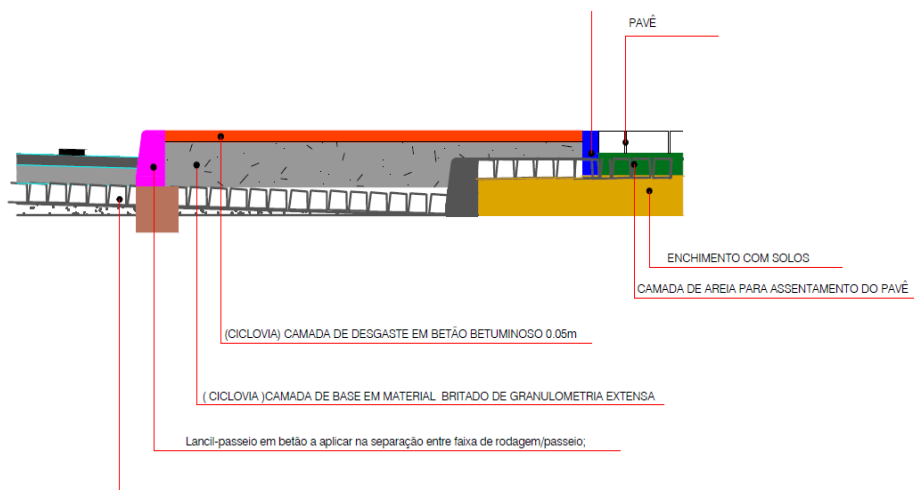


Figura 2. 16: Pormenor construtivo em zona de passeio passeio [Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015]

Para a camada de desgaste em betão betuminoso, as características necessárias para que os agregados possam constituir camadas do pavimento foram expressas no caderno de encargos do Instituto de Estradas de Cabo Verde: dois agregados britados basálticos, uma brita 5-12 e pó-de-pedra 0/5, e ainda fíler recuperado. Foi ainda utilizado betume do tipo 50/70 (segundo especificação LNEC E80), fornecido pela Galp.

Procedeu-se à caracterização dos agregados britados basálticos relativamente às seguintes características: análise granulométrica (todos os materiais), determinação da massa volúmica e absorção de água (Pó 0-5 e Brita 5-12), determinação do equivalente de areia para avaliação da qualidade dos finos (Pó 0-5), ensaio de desgaste Los Angeles (Brita 5-12), ensaio de determinação dos índices de lamelação e alongamento (Brita 5-12). As especificações utilizadas nestas determinações e os resultados obtidos são apresentados no quadro 2.2.

Quadro 2. 2: Especificações utilizadas para o betão betuminoso (Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015)

Caraterística / Especificação		(Pó 0/5)	(Brita 5-12)	Filler Recup.	
Análise Granulométrica/ LNEC E 233	% acumulada passada no peneiro	16,0mm	100	100	100
		12,5mm	100	94	100
		9,5mm	100	66,8	100
		4,75mm	99,4	6,4	100
		2,00mm	68,1	0,7	100
		0,841mm	37,3	0,7	99,6
		0,425mm	23,9	0	98,2
		0,180mm	14,5	0	90,9
0,075mm	9,6	0	63,1		
Equivalente de areia / LNEC E 199	%	0/4,75mm	72	NA	NA
Índices de lamelação e alongamento / BS 812	%	Lamel.	NA	15	NA
	%	Along.	NA	14	NA
Desgaste Los Angeles /E 237	%	Gran. B	NA	23	NA
Massa volúmica e absorção água NP 954 e NP 581	g/cm^3	ρ_{ssd}	2,95	2,91	NA
	%	Absorção	1,4	2	

O Caderno de Encargos da empreitada não apresenta qualquer fuso granulométrico, e nesse sentido foi proposto pelo empreiteiro o indicado no Quadro 2.2 proveniente do Caderno de Encargos da Empreitada Assomada – Tarrafal (Fuso 1), tendo-se também avaliado a curva com o fuso da ASTM D3515 extraído do “The Asphalt Handbook MS-4, 7th edition (pag. 137, Tabela 3.6) para uma dimensão máxima do agregado de 12,5mm e 2 a 10% passando pelo peneiro ASTM #200. No Quadro 2.3 apresenta-se o fuso referenciado da especificação ASTM D3515 (fuso 2).

Quadro 2. 3: Fuso proposto pelo empreiteiro [Monteadriano, ELEVO Group- 2015]

Abertura da malha	Fuso 1 (CE)	Fuso 2 (ASTM D3515)
16,0mm	100	100
12,5mm	80-95	90-100
9,51mm	72-87	--
4,75mm	50-65	44-74
2,36mm	--	28-58
2,00mm	35-50	--
0,425mm	13-23	--
0,300mm	--	5-21
0,180mm	7-15	--
0,075mm	5-9	2-10

A composição da curva de mistura de agregados utilizando os agregados britados basálticos que permite melhor enquadramento nos fusos apresentados no quadro anterior contempla 57% de 'Pó 0/5', 40% de Brita 5-12 e 3 % de fíler recuperado. No quadro 2.3 é apresentada a construção da curva de mistura de agregados resultante.

Observa-se na Figura 2.17 que a curva de mistura de agregados cumpre com a quase totalidade do fuso 1 (apenas não respeitando marginalmente o fuso da dimensão 12,5mm). Pode ainda avaliar-se como se comporta com o fuso 2, verificando-se com os valores do Quadro 2.3 que se encaixa na totalidade deste. O andamento da curva é um pouco quebrado com charneira no peneiro 10 mas tem um andamento aceitável.

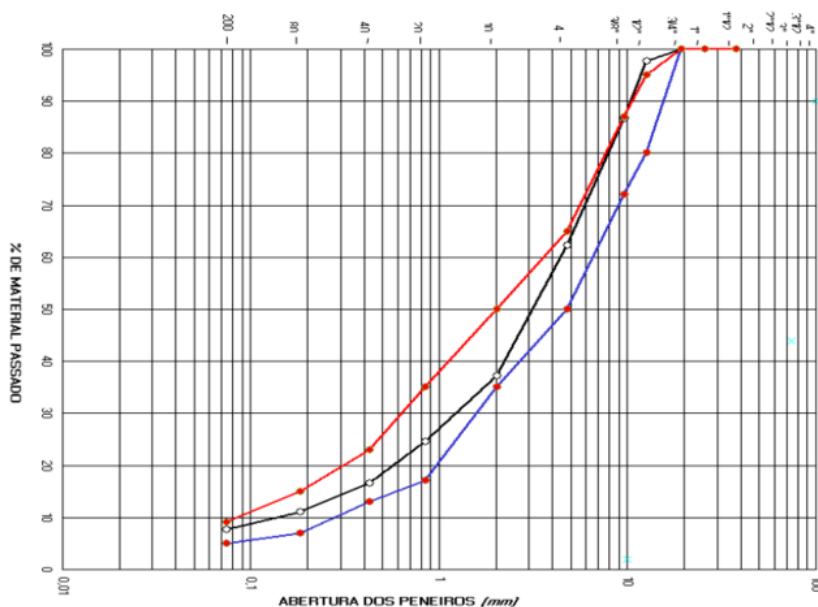


Figura 2. 17: Andamento da curva da mistura de agregados [Monteadriano, ELEVO Group- 2015]

Com vista à determinação da percentagem ótima de betume da mistura betuminosa, procedeu-se à realização de um estudo Marshall tendo como base as ponderações de agregados definidas no ponto anterior, e percentagens de betume 50/70 entre os 4,0% e os 6,0% de conteúdo em ligante.

Para o estudo Marshall foram fabricadas em laboratório misturas para cada uma das cinco percentagens de betume, com vista à moldagem com 75 pancadas em cada face sob condições normalizadas. Os provetes foram numerados 1-3 para cada percentagem de betume, sendo utilizados na determinação da baridade, pelo método da especificação ASTM D2726, e na determinação da estabilidade e deformação Marshall, pelo método da especificação ASTM D1559.

Procedeu-se ainda ao fabrico de mistura betuminosa solta para determinação da baridade máxima teórica, pelo procedimento volumétrico (método do picnómetro).

Os resultados obtidos nestes ensaios são dispostos graficamente na Figura 2.18, sendo a evolução de cada característica disposta em função da evolução da percentagem de betume na mistura.

Dados os resultados obtidos, estabelece-se a percentagem ótima de betume da mistura nos 5,3%, sendo esta a percentagem de betume para a qual se maximizam a baridade compactada e a estabilidade, sendo expectável o cumprimento de requisitos estabelecidos no Caderno de Encargos da empreitada quanto à porosidade (4,0% a 6,0%).

Para determinação dos valores das diversas características correspondentes a esta percentagem, foram moldados mais 6 provetes que foram condicionados de modo a serem utilizados no ensaio de determinação da resistência conservada da mistura, segundo a especificação MIL-STD-520.

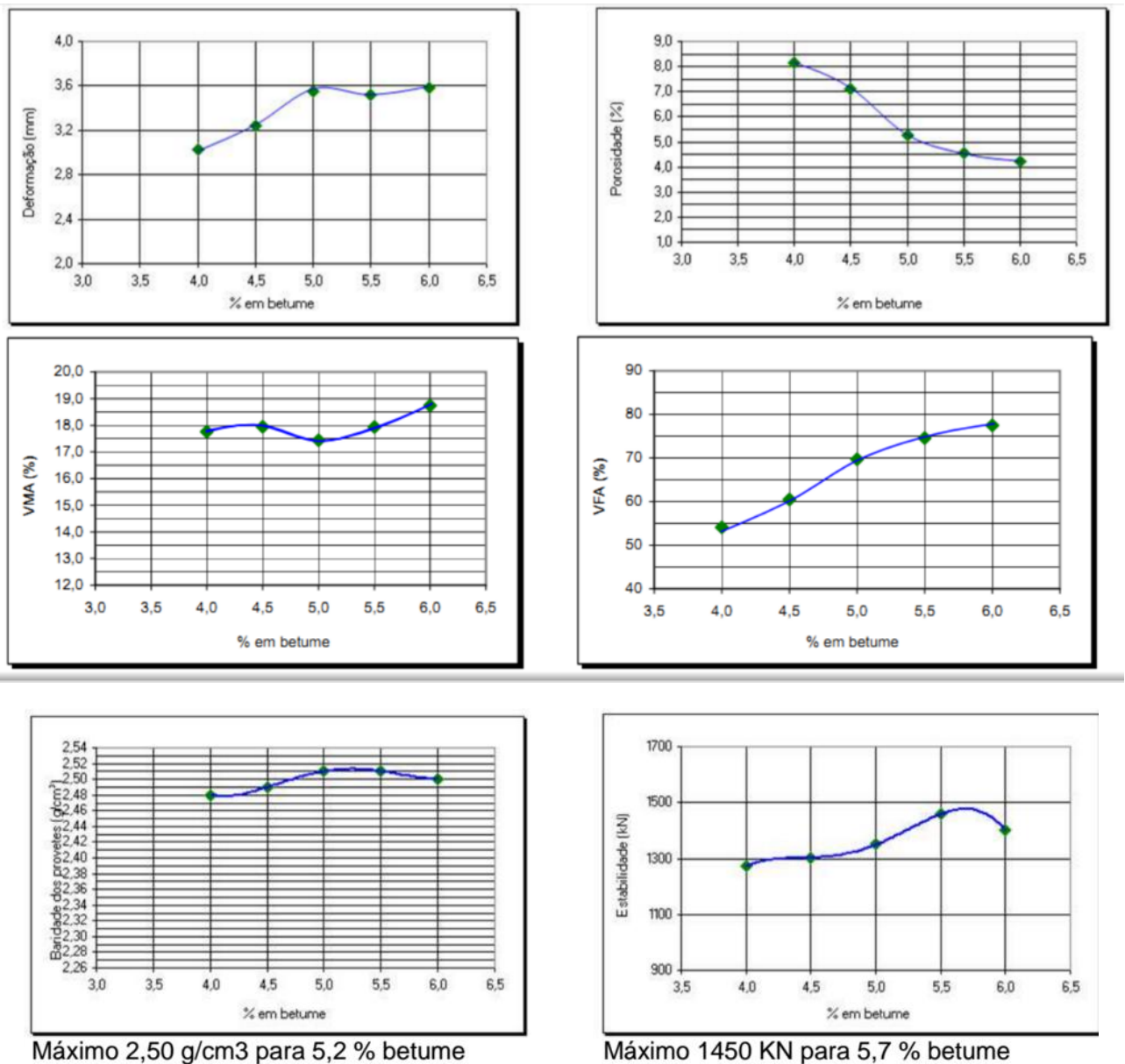


Figura 2. 18: Resultado de ensaio para formulação de mistura betuminosa em função da % de betume [Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015]

Verifica-se através da informação descrita e dos procedimentos indicados, para a percentagem ótima de betume de 5,3%, os valores apresentados no quadro 2.4:

Quadro 2. 4: Resultados obtidos dos ensaios [Instituto de Estradas. 2015]

Caraterística	Ponto ótimo (5,3%)
Baridade (ASTM D 2726)	2,504 g/cm ³
Porosidade (LNEC E 26)	4,80%
VMA (LNEC E 26)	16,80%
Estabilidade Marshall (ASTM D1559)	1450kN
Deformação Marshall (ASTM D1559)	3,5mm
Resistência Conservada (MIL-STD-620)	81%

No quadro 2.5 apresenta-se a formulação da mistura betuminosa proposta para a camada de desgaste utilizada para a empreitada.

Quadro 2. 5: Formulação da mistura betuminosa [Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015]

Componente	Tipo	%
Agregado britado basáltico	Pó 0-5	54
	Brita 5-12	37,9
Recuperado	Filler	2,8
Betume	50/70	5,3

Na figura 2.19 é possível observar um troço de estrada reabilitada, após a execução da camada betuminosa.



Figura 2. 19: Troço de estrada reabilitada

2.3.2.3. Conceção e reabilitação da estrada de ligação entre Cidade da Praia e Cidade Velha

O Governo de Cabo Verde recebeu um crédito para a elaboração do Projeto Setorial dos transportes pelo Banco Mundial. Como parte deste projeto sectorial, esteve prevista a reabilitação de estradas secundárias da ilha de Santiago.

No contexto do Programa prioridade estratégica para a Infraestrutura e programa nacional de luta contra a pobreza, esta via que faz ligação entre a Cidade da Praia e a Cidade Velha foi identificada como de interesse para a reabilitação realizada devido à sua criticidade para garantir a continuidade das redes de serviços, na ilha de Santiago e o desenvolvimento da indústria turística do país.

Sob os termos de referência, o consultor realizou estudos técnicos, económicos e ambientais para a reabilitação da estrada variante à Cidade Velha. Este estudo técnico inclui os seguintes componentes:

- Um inventário rodoviário;
- Um levantamento topográfico;
- Um estudo da drenagem (envolvendo estudos hidrológicos e definição dos componentes hidráulicos do sistema);
- Um estudo geotécnico.

A obra em questão refere-se a uma estrada de cerca de 10 km de comprimento, (Figura 2.20) começando em Km 0 + 000 (na junção de São Martinho, no eixo-Praia Cidade Velha) e terminando no Km 10 + 300 à direita na bifurcação para Caniço (Cidade Velha). A obra foi iniciada em março de 2012 e inaugurada em julho de 2013. Esta esteve a cargo do consórcio Tecnovia, empresa portuguesa, e Construção de Cabo Verde (CVC), com fiscalização a cargo da empresa Norvia Cabo Verde.

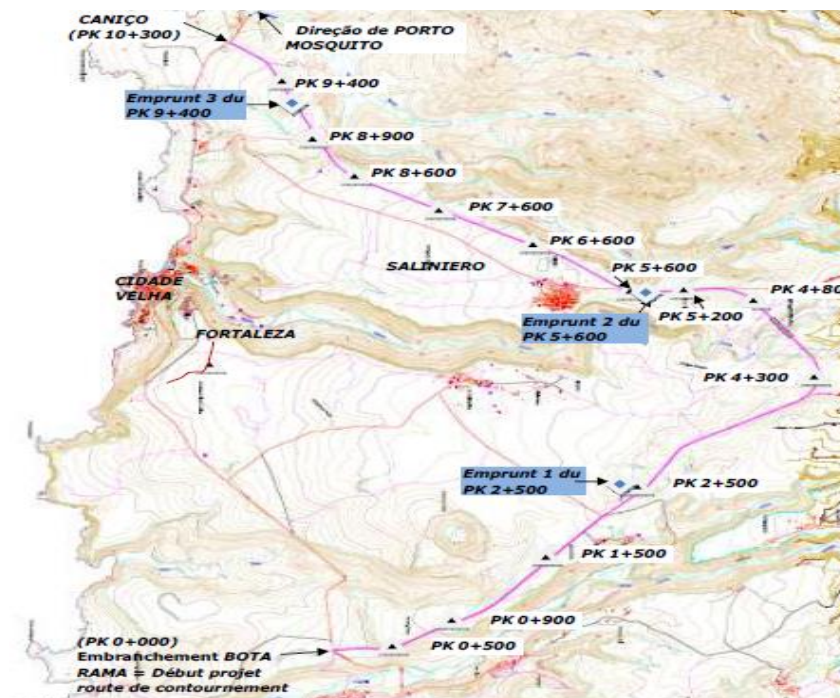


Figura 2. 20: Mapa do traçado de estrada de Cidade Velha [Instituto de estradas de Cabo Verde]

A análise dos resultados das investigações geotécnicas no terreno mostra que o mesmo é composto essencialmente por material arenoargiloso, cascalho. Excepcionalmente, foi possível identificar para os Km 0 + 500 rocha basáltica a 45 cm de profundidade.

De forma sintetizada, pôde-se observar que o índice de plasticidade (IP) ronda entre 16,2% e 29,2%. Alguns solos têm uma plasticidade alta (KP 0 + 900 4 + 800 7 + 600 8 + 600 8 + 900 9 + 400) com valores variando 22,4-29,2%, podendo-se concluir com isso que algumas medidas de prevenção, nomeadamente substituição e/ou alterações de solo são necessárias, assim como a garantia de uma boa drenagem.

No quadro 2.6 abaixo indica-se um resumo dos materiais encontrados no estudo realizado de prospeção geotécnica para a construção da obra da estrada em estudo.

Quadro 2. 6: Natureza dos materiais encontrados no estudo geotécnico

Secção (Km)	Natureza dos materiais existentes
0+000 - 0+200	Argila arenosa com elementos escuros basálticas (pedras, seixos, etc.) sobre a superfície.
0+200 - 0+800	Basalto alterado com formato de cascos de cebola utilizado em terraplanagens
0+800 - 2+400	Terra avermelhada desagregada com rochas basálticas de vários tamanhos (pedras, seixos blocos)
2+400 - 4+400	Basalto alterado em várias frentes mas no geral utilizáveis nos trabalhos de terraplenagem.
4+400 - 4+650	Materiais diversos, com domínio de basalto alterado
4+650 - 5+100	Solo avermelhado, com um leito de seixos e pedras niveladas com a superfície
5+100 - 5+450	Rocha basáltica alterada em cascas de cebola alternada com solo avermelhado para uso em trabalhos de terraplenagem
5+450 - 8+300	Solo avermelhada ou acastanhada com camada de cascalho e /ou rochas de superfície. A natureza da rocha vem do afloramento de basalto e seções endurecidas, especialmente ao longo do penhasco adjacente
8+300 - 8+400	Zona de transição de material para rocha basáltica
8+400 - 9+100	Solo avermelhado, com concreções. Materiais que podem ser interessantes para a terraplenagem
9+100 - 10+100	Solo marrom com uma grande cama de seixos e pedras niveladas com a superfície; abrange uma grande área da estrada constituindo um empréstimo

É possível observar através da tabela anterior o uso de grande parte de materiais escavados ao longo da obra. Estes materiais que servem como materiais para a terraplenagem da estrada, têm como objetivo essencial uma boa base para a estrutura do pavimento de modo a que mantenha, com o tempo, estabilidade dimensional suficiente, permitindo a passagem, em segurança, de máquinas e equipamentos pesados no local.

O Centro Experimental de construção e obras públicas (CEBTP, 1984) classificou o solo em 5 (cinco) categorias função do CBR para a plataforma:

- S1: CBR <5
- S2: 5 < CBR <10
- S3: 10 < CBR <15
- S4: 15 < CBR <30
- S5: CBR > 30

Pelo Quadro 2.7 indicada abaixo, é possível observar através dos ensaios realizados, que a classes de solo da rota de trabalho em causa correspondem maioritariamente à classe S5, havendo um caso de S4 e outro de S1.

Quadro 2. 7: Classe de fundação e de plataforma ao longo da estrada de cidade Velha

Secção	CBR (%)	E (Mpa)	Classe	F
Km 0+000 - 0+900	55	275	S5	F4
Km 0+900 - 2+500	52	260	S5	F4
Km 2+500 - 5+600	22	110	S4	F2
Km 5+600 - 8+900	60	300	S5	F4
Km 8+900 - 9+400	3	15	S1	F1

As recomendações dadas pela Terrassements Routiers (SETRA-LCPC, 1994), classificam as classes de plataformas (PF) em função do módulo de Young (E) :

- F1: módulo entre 20 e 50 MPa;
- F2: Módulo entre 50 e 120 MPa;
- F3: Módulo entre 120 e 200 MPa;
- F4: módulo maior do que 200 MPa.

Usando a relação $E = K \times \text{CBR}$ ($K = 50$ e E em bar), e considerando os valores de CBR por zona homogénea indicados no Quadro 2.7, é possível classificar o terreno da forma mostrada no mesmo quadro.

Terminado a análise do terreno em estudo, foram feitas algumas recomendações de terraplanagem que se seguem abaixo:

Terminado a análise do terreno em estudo, foram feitas algumas recomendações de terraplanagem que se seguem abaixo:

- Km 0+300 - 0+800: O material sob o pavimento constituído por basalto um pouco alterado serve de base estável para a plataforma, de uso para terraplanagem, alargamentos de estrada e nivelamento do mesmo;
- Km 0+002 - 0+300: O material encontrado sob o pavimento é de má qualidade, necessitando-se por isso da sua substituição, utilizando materiais provenientes de outras secções.
- Km 2+400 - 6+350: Esta secção contém materiais de suficiente qualidade que pode ser utilizada como aterro e de camada moldada. Encontra-se ainda nesta secção a necessidade de grandes aterros devido a existência de construção de ponte-barragem;
- Km 6+350 - 8+650: O solo existente é de má qualidade. No entanto, um aterro com espessura de 80 a 100 cm pode ser solução para esta secção, usando um empréstimo dos Km 5+500 e possivelmente dos Km 9+400;
- Km 8+650 – 9+400: o material in situ é de boa qualidade, mas um aterro substancial provavelmente seria necessário onde se observou uma calha de transição entre a placa e um montículo existente no local;

- Km 9+400 – 10+100: o terreno é plano mas de má qualidade havendo necessidade de aterro ou substituição de material.

Nas figuras 2.21 e 2.22, mostram-se dois exemplos de tipos de perfis transversais adotados para a estrada em causa, onde se pode observar o uso dos materiais atrás referidos como aterro:

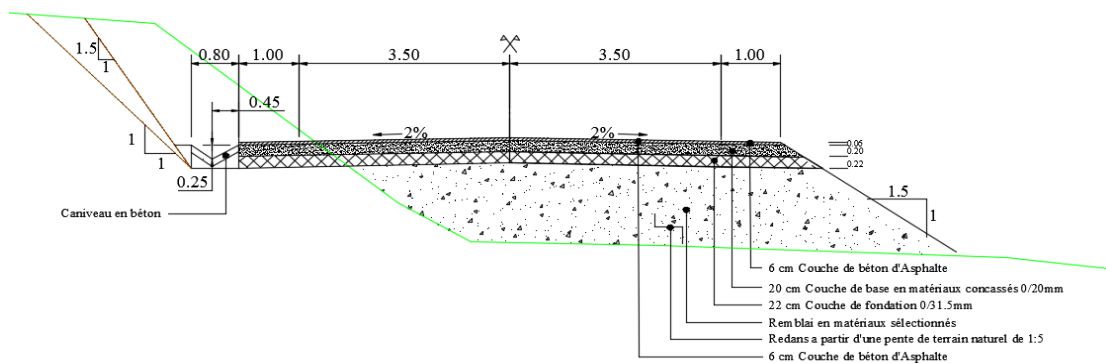


Figura 2. 21: Perfil transversal tipo-1 de trecho de estrada de cidade velha

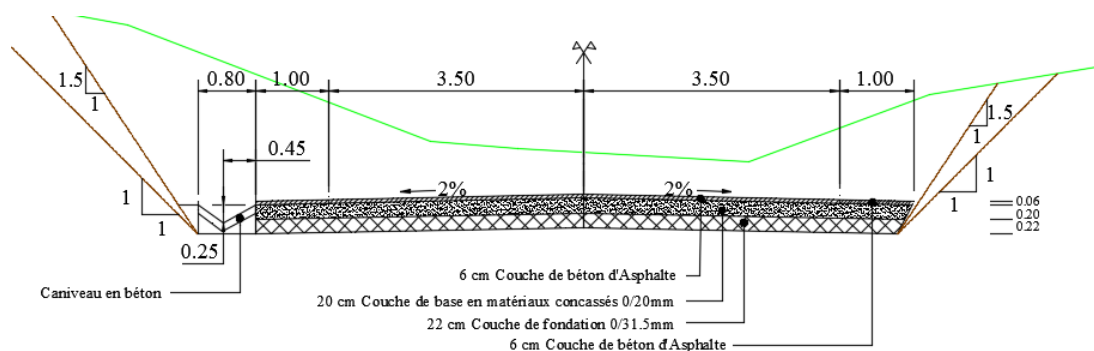


Figura 2. 22: Perfil transversal tipo-2 de trecho de estrada de cidade velha

Após a análise realizada sobre o terreno, foi determinada a estrutura do pavimento da estrada de Cidade Velha em estudo. Os resultados do seu dimensionamento encontram-se no Quadro 2.8.

Quadro 2. 8: Resultado do dimensionamento para as camadas de pavimento- estrada da cidade velha

Camadas	Parâmetros	v	E (Mpa)	Valores admissíveis dos materiais	Valores dados pelo programa Ecoroute	Espessuras obtidas
Camada de desgaste	ϵ_{Tadm} ($10^{(-6)}$ mm)	0,35	1300	259,74	254,3	6
Camada de base	σ_z adm (bars)	0,35	600	4,81	1,32	20
	ϵ_{Tadm} ($10^{(-6)}$ mm)			1052,97	213,9	
Camada de fundação	σ_z adm (bars)	0,35	600	4,81	1,32	22
	ϵ_{Tadm} ($10^{(-6)}$ mm)			1052,97	213,9	
Solo de suporte	σ_z adm (bars)	0,35	120	1,32	0,48	-
	ϵ_{Tadm} ($10^{(-6)}$ mm)			1052,97	407,1	

Assim, a estrutura do pavimento é formada por:

- Camada de base em betão betuminoso 0/10 (6 cm)
- Camada de base em cascalho britado 0/20 (20 cm)
- Camada de fundação em cascalho britado 0 / 31,5 (22 cm)

2.4. Pavimentos em pedra – “ Calçada basáltica” e os materiais utilizados na sua conceção

2.4.1. Enquadramento

São os Romanos quem iniciam o uso da pedra como material ao serviço dos exércitos no crescimento e defesa do seu Império, explorando um manancial de oportunidades do seu uso como material de construção e decoração. Povo guerreiro e conquistador, os Romanos criaram uma vasta rede viária para melhor desenvolverem as suas atividades comerciais, bem como para facilitar o transporte de material de guerra e soldados ligando o seu vasto império por pontes e caminhos construídos com pesadas lajes, colocadas contiguamente.

O método de extração e de produção da pedra para calçada, inicialmente, deu-se com o desmonte da rocha, o que com o decorrer do desenvolvimento de tecnologias já é feito à base de giratórias e máquinas de maior potência.

2.4.2. Estrutura de um pavimento em pedra

Os engenheiros romanos dimensionavam suas estradas tendo em conta uma série de fatores que garantiam segurança as vias. Para dotar a estrada de drenagem longitudinal eram escavadas pequenas valas nas laterais da infraestrutura e a base do pavimento era construído com pequenas inclinações (Figura 2.23) para permitir o escoamento da água sobre o pavimento. Para ajudar na compactação e evitar a erosão da calçada eram construídos nas laterais pequenos muros

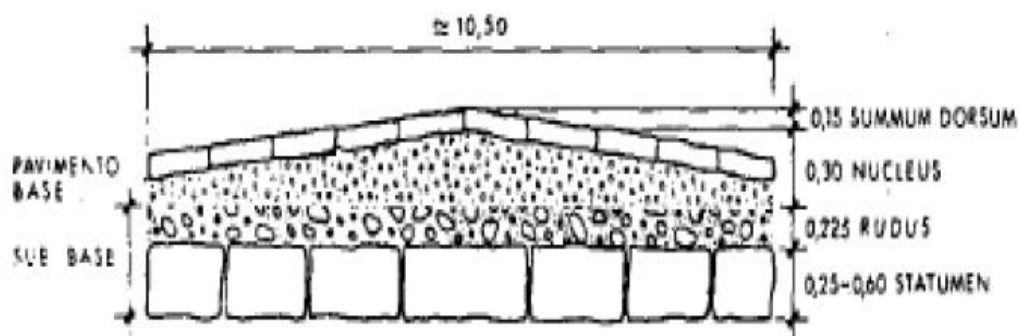


Figura 2. 23: Estrutura antiga de pavimento com pedra basáltica

Quanto à estrutura, os pavimentos em calçada podem ser rígidos ou flexíveis, dependendo da camada de fundação do seu assentamento, no entanto, até a atual data, o uso de estruturas de assentamento de calçada em pavimentos rígidos não se verifica em Cabo Verde.

Tendo em conta os recursos naturais presentes em Cabo Verde, é possível ainda observar, maioritariamente, a utilização da calçada basáltica como revestimento principal das estradas do país.

De entre as soluções deste tipo existentes em Cabo Verde, destaca-se:

- Reabilitação da estrada nacional - EN3-SN02 RIBEIRA BRAVA / JUNCALINHO – Ilha de São Nicolau

2.4.2.1. Reabilitação da estrada Nacional – EN3 –SN02 Ribeira Brava/Juncalinho – São Nicolau

A presente descrição e análise desta infraestrutura de transporte tem em vista apresentar a solução preconizada para a reabilitação funcional da estrada Nacional que desenvolve-se praticamente em toda a sua extensão junto à costa Norte da Ilha, ligando a Vila da Ribeira Brava à povoação de Juncalinho. A via serve ainda, sensivelmente a meio do seu traçado, as localidades de Belém e de Morro Brás. Possui uma extensão total aproximada de 21.900m, com o seu trecho inicial, entre os km 2+000 e 10+000, a desenvolver-se em zonas de traçado bastante retilíneo e com uma orografia suave e espaiada, e o seu trecho final, desde o km 10+000 até ao final, em zonas de traçado bastante sinuoso em orografia de forte pendente e atravessando sucessivas linhas de água em vales muito “encaixados”.

Com efeito na sequência das chuvas intensas de Outubro e Novembro de 2009, que originaram fortes enxurradas, verificaram-se de um modo geral danos consideráveis nas vias de comunicação de toda a ilha de S. Nicolau. Na Figura 2.24 encontra-se o mapa da ilha de São Nicolau assinalado com as respetivas vilas de execução da manutenção/reabilitação das estradas em Pedra- calçada basáltica.



Figura 2. 24: Mapa da Ilha de São Nicolau e respetivas vilas de intervenção (Instituto de Estradas, 2010)

Para a reabilitação da estrada que une as duas vilas acima referidas, foram feitos estudos e análises da situação atual das infraestruturas danificadas pelo Instituto de Estradas de Cabo Verde onde se procedeu então à sua reabilitação acompanhada pela empresa Norvia Cabo Verde.

Para além da reconstrução das zonas cortadas, (figura 2.25), foi feita a correção das insuficiências detetadas ao longo dos traçados. No estudo das soluções de reposição dos diversos elementos afetados, foi feito o dimensionamento tendo por base não só a adequação às características específicas da infraestrutura, como também a capacidade de minimizar os efeitos associados à ocorrência de situações danificações verificadas e que levaram a tal reabilitação.



Figura 2. 25: Estrada de ligação Ribeira Brava-Juncalinho [Ilha de São Nicolau]

A Norma de Traçado da Estradas de Portugal S.A. considera para velocidades de base de 40 Km/h um raio mínimo absoluto em planta de 55 m e inclinação longitudinal máxima de 8%. Tendo em conta a orografia existente, excepcionalmente optou-se por um trainel com uma inclinação superior ao da norma e de igual modo para a última curva do traçado com valores de inclinação de 9.78% e Raio de 34.32 graus respetivamente.

O pavimento a adotar na faixa de rodagem em toda da via é constituído por:

- Camada de base em agregado de granulometria extensa com 0,20m de espessura;
- Camada de areão com 0,10m de espessura;
- Pedra - Calçada de pedra basáltica

O perfil transversal tipo do traçado, apresentado nas figuras 2.26 e 2.27, é composto por uma faixa de rodagem com duas vias de 3,00m, uma valeta lateral de 0,50m e uma faixa lateral de 0,5m para o passeio em ambos os lados, perfazendo uma largura total de 8,00m.

Ao longo dos alinhamentos retos considerou-se uma inclinação transversal de 2,5% para o exterior a partir do eixo.

Nos alinhamentos curvos serão considerados uma sobrelevação de 7% para as curvas de raios não inferiores a 55, de acordo com a norma, mas tratando-se de uma via sem grandes movimentações de trânsito será adotado este valor para todas as curvas.

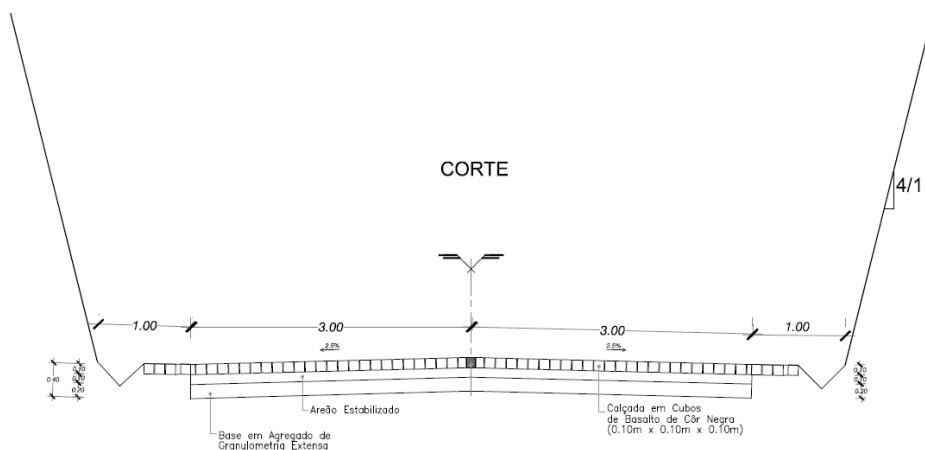


Figura 2. 26: Perfil transversal tipo 1 – Ilha de São Nicolau (Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015)

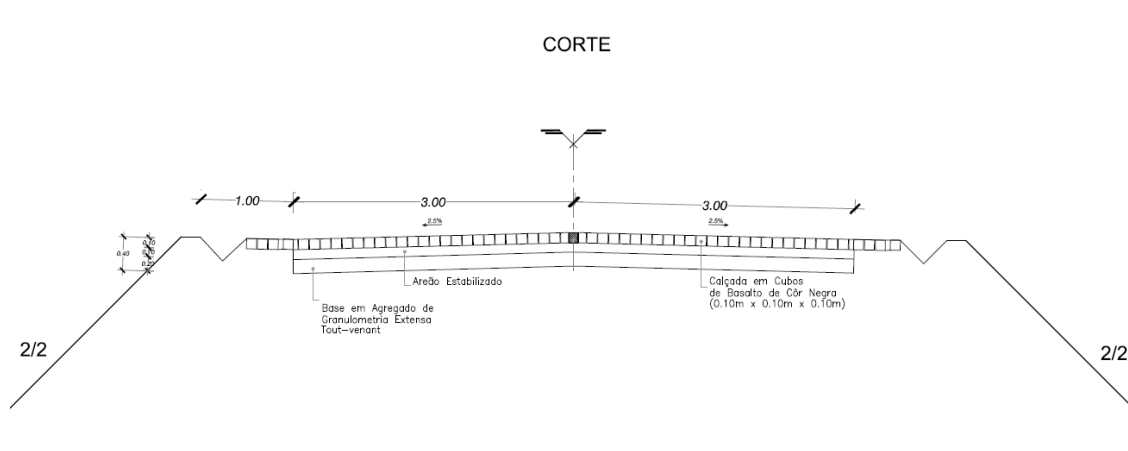


Figura 2. 27:perfil transversal tipo 2- Ilha de São Nicolau (Instituto de Estradas de Cabo Verde, 2015)

Esta obra representa grande parte da realidade cabo-verdiana. Durante muitos anos a solução de pavimentos em pedra era muito utilizada, sendo atualmente substituída pelos pavimentos de BB. De seguida apresenta-se as vantagens e desvantagens desta solução face à de pavimentos em “BB”.

2.4.3. Vantagens e desvantagens dos pavimentos em Pedra face aos pavimentos flexíveis em “BB”

O pavimento em Pedra – Calçada basáltica apresenta uma série de vantagens relativamente ao pavimento revestido com BB - betão betuminoso, nomeadamente ao que se refere ao seu período de vida útil.

- A vida útil do pavimento em BB é bastante inferior da vida dos pavimentos em Pedra.
- O pavimento betuminoso provoca um aquecimento considerável, gerando calor nos perímetros urbanos que deve ser considerado em tempos de aquecimento global (o aumento da temperatura pode chegar a 3º e a sensação térmica pode aumentar em até 5º, segundo pesquisas).
- Todo o material removido pela erosão, chuvas e outros efeitos da natureza, do pavimento asfáltico, de origem orgânica e inorgânica encaminham-se para os cursos de água, provocando poluição e

contaminação. Este mesmo material inorgânico sólido, a brita e a areia, provocam desgastes nas manilhas do sistema de drenagem pluvial pelo atrito durante o escoamento.

- Os pavimentos em pedra são considerados ecologicamente boas soluções de pavimentação uma vez que permitem a infiltração da água de chuva permitindo a recarga do lençol freático e minimização de efeitos de enchentes.
- Os pavimentos de pedra, para além de absorverem menos calor, permitem o crescimento de determinadas gramíneas que, além de ajudar a diminuir a temperatura, captam CO₂ que é expelido pelos carros, partículas coloidais carregadas de nutrientes que poluem os cursos de água.
- A recuperação dos pavimentos de pedra é bastante eficiente quando bem executado. Há uma infinidade de cidades milenares com pavimentações de paralelepípedos preservada até os dias de hoje.

Relativamente às suas desvantagens, o pavimento em pedra apresenta uma rugosidade superficial fazendo com que haja maior desconforto a nível de ruído, e também de segurança. Exige uma elevada manutenção, e quando se tem em linha de conta aspetos ambientais, a exploração deste recurso natural é uma técnica que degrada o ecossistema da zona de exploração.

2.5. Estudo do tráfego rodoviário em Cabo Verde

2.5.1. Generalidades

O estudo de previsões de tráfego rodoviário tem vindo a assumir um papel essencial no desenvolvimento de estradas não apenas em Cabo Verde mas também por todo o mundo, quer na fase de planeamento, quer na fase de implementação ou de operação de novas infraestruturas rodoviárias.

Através do Instituto de Estradas de Cabo Verde e dos seus estudos efetuados até à data, foi possível conhecer o volume de veículos que passa numa determinada estrada. O valor representativo usualmente utilizado para a caracterização do tráfego é o TMDA, tráfego que em média passa por dia durante um ano, numa determinada secção de estrada.

2.5.2. Metodologia utilizada

As contagens que o Instituto de Estradas de Cabo Verde realizou foram divididas em duas categorias de veículos que o equipamento adquirido permite distinguir:

- Veículos Ligeiros (excluem-se os veículos de duas rodas);
- Veículos Pesados (veículos de tara superior a 3.000 kg).

Foram então realizadas ao longo de sensivelmente quatro semanas, e por várias ilhas, as contagens de tráfego:

- 6 Postos de contagem em Santiago;
- 2 Postos de contagem em São Nicolau;
- 2 Postos de contagem em São Vicente;
- 3 Postos de contagem na ilha do Maio;
- 4 Postos de contagem em Santo Antão

Com um contador automático, realizaram-se as contagens necessárias, permitindo registar, ainda, categorias de veículos, densidade e as velocidades dos veículos. O aparelho possui uma tecnologia semelhante à do radar e deteta comprimentos de veículos partindo deste parâmetro para obter a classificação das viaturas e registar velocidades.

A sua colocação é sempre feita em altura, de preferência num poste existente, e fixado por amarração expedita. Os valores exatos da altura, da lateralidade em relação à faixa de rodagem, o ângulo de incidência, a inclinação, são parâmetros calibrados previamente ao início da contagem.

O registo é feito em computador e a transmissão dos dados é realizada por tecnologia Bluetooth se se pretender visualizar online, o que o aparelho está a detetar.

No anexo 1 apresentam-se os mapas com as estradas das Ilhas de Santiago, São Nicolau, São Vicente e Maio assim como a localização dos postos de contagem de tráfego instalados ao longo das ilhas.

Da média semanal (TMDs) é possível estimar-se o tráfego médio diário anual (TMDA). Alguns estudos têm demonstrado a existência de uma relação entre o Tráfego Médio Diário semanal, isto é calculado com base numa semana de contagens (ou apenas alguns dias representativos da semana) e o tráfego Médio Diário Anual.

A relação aceitável é normalmente dada pela equação 2.1 seguinte:

$$TMA = \frac{TMDs}{1.07} \quad [2.1]$$

Sendo:

TMDA o tráfego médio diário anual

TMDs o tráfego médio diário semanal

Assim e com base nos dados obtidos relativos a 24 horas de contagem no ano 2012 foram colocados 21 postos e foram estimados os valores do TMDA de acordo com Highway Performance Monitoring System (HPMS) segundo a equação que acima se referiu.

Os valores estimados estão representados no Quadro 2.12.

A equação 2.1 traduziu-se nas equações 2.2 e 2.3 seguintes, face à especificidade do número de dias contados: Quando existem 2 dias de contagem:

$$TMDA = \frac{2A+4,4B}{7,49} \quad [2.2]$$

$$TMDs = \frac{2A+4,4B}{7} \quad [2.3]$$

Com,

A- Contagem de tráfego de 2ª/3ª feira

B- Contagem de tráfego 5ª/6ª feira

Quando apenas existe 1 dia de contagem, e esse dia à 2ª ou 6ªfeira, resulta, pelas equações 2.4 e 2.5 :

B=0,9A

$$TMDs = \frac{5,33A}{7} \quad [2.4]$$

$$TMDA = \frac{5,33A}{7,49} \quad [2.5]$$

Quadro 2. 9: Tráfego médio diário anual de todos os veículos que circulam em cada troço de estrada analisado, IE 2014

Ilha	Posto	Localização	Contagens de tráfego de 2ª/3ª Feira (A)	Contagens de tráfego (restantes dias) (B)	Tráfego médio diário semanal (TMDs)	Tráfego médio diário anual (TMDA)
Santiago	1	Praia- Cidade Velha	1310	1179	997	932
	2	Órgão/Pedra badejo	690	621	525	491
	3	Fonte Lima/João Bernardo	386	347	294	275
	4	Assomada/Rincão	822	740	626	585
	5	Cruz Grande/Calheta	838	754	638	596
	6	Volta Monte/Ribeira Prata	220	198	168	157
São Nicolau	1	Ribeira Brava/Tarrafal	256	230	195	182
	2	Ribeira Brava- Juncalinho	157	141	120	112
Santo Vicente	1	Salamansa - Norte Baía	89	80	68	63
	2	Mindelo – Aeroporto	955	860	727	680
Santo Antão	1	Ponte R. Grande/ Coculi/Ponta do Sol	834	751	635	593
	2	Ponte Eito	277	249	211	197
	3	Ponte Paúl	532	479	405	379
	4	Ponte R. Grande/ Paúl	480	432	365	342
Maio	1	Figueira – Alcatraz	36	32	27	26
	2	Vila – Calheta	144	130	110	102
	3	Entrada - Ribeira D. João	28	25	21	20

2.5.3. Conclusões e resultados obtidos

Para o estudo de tráfego presente, foram analisados dados referentes ao ano 2012 e 2014. É possível observar-se grande diferença de tráfego ao longo das diversas ilhas em análise. Para as ilhas de Maio, Santo Antão (com exceção da Ponte R. Grande/Coculi/Ponta do Sol) e São Nicolau, o volume de tráfego médio diário anual é em média inferior a 400 veículos por dia (ligeiros e pesados), sendo ainda possível serem consideradas subcategorias de TMDA (< 100, 100-250, 250-400). Através do estudo realizado pelo Instituto de Estradas, foi também possível concluir que a velocidade média dos veículos é de 50 Km/h. Tratando-se do tráfego de pesados, a distribuição de classes de velocidades variam entre 30 a 60 Km/h, enquanto os veículos ligeiros apresentam velocidades entre 40 e 70 Km/h.

Através do guia para o projeto do traçado de EBVT (estradas de baixo volume de tráfego) publicado pela AASHTO, pode-se concluir que para essas ilhas as estradas são consideradas de baixo volume de tráfego, o que, já seria espectável uma vez que são ilhas com baixo fluxo populacional. Não obstante as ilhas serem Santiago e São Vicente apresentarem maiores valores do TMDA, sendo possível observar fluxos de tráfego superiores a 400 veículos por dia, estas também são consideradas estradas de baixo volume de tráfego.

Em alguns dos postos de contagens verifica-se uma diminuição do volume de tráfego em 2014, relativamente a 2012. Tal situação, deve-se ao facto de as contagens terem sido feitas em apenas 2 dias em 2014 (menor rigor), sendo em algumas ilhas, as contagens terem sido efetuadas no final de semana e num feriado (menor tráfego).

No capítulo que se segue será realizada com base nos dados de tráfego propostos pelo Instituto de Estradas de Cabo Verde e apresentadas anteriormente, o estudo da previsão do crescimento de tráfego de modo a, posteriormente, serem analisadas possíveis estruturas de pavimento flexível propostas pelo catálogo SATCC e validadas posteriormente, para a realidade de Cabo Verde, pelo software de cálculo Bisar 3.0. onde se verificam suas características

3. Análise da proposta das tecnologias de pavimentação em Cabo Verde

3.1. Enquadramento

Cabo Verde dedica cerca de 147 milhões de dólares por ano, cerca de 8 por cento do produto interno bruto (PIB) - às infraestruturas, um dos níveis mais altos de despesa encontrados no continente africano. Os gastos são maioritariamente dirigidos para as despesas de capital e os recursos dedicados ao suporte da atividade de transporte são especialmente elevados. Além do mais, estima-se que são perdidos cerca de 50 milhões de dólares por ano devido a ineficiências de vários tipos, principalmente devido um domínio deficiente de soluções e procedimentos tecnológicos, [AICD, 2010].

Um dos desafios do país vai no sentido de melhorar a eficiência com que os recursos se encontram a ser utilizados e de procurar novas abordagens para a redução dos custos, também no caso das redes de infraestruturas de transporte.

Neste capítulo pretende analisar-se quais as alternativas face aos processos existentes podem ser usadas em Cabo Verde para a conceção de pavimentos rodoviários. Para tal, recorre-se no manual SATCC (Southern Africa Transport and Communications Commission, SATCC, 1988- Code of Practice for the Design of Road Pavements). Este manual justifica-se porque também foi desenvolvido para ser aplicado a regiões com climas secos, tal como acontece com Cabo Verde. Noutro sentido, as soluções que indica são nalguns casos estranhas à tecnologia cabo-verdiana, pelo que se pretende avaliar se faz sentido serem aplicadas, nomeadamente através da avaliação do seu custo de implementação comparado com o custo das soluções mais tradicionais.

As soluções que resultarem da aplicação do manual indicado vão ser ainda avaliadas recorrendo a uma metodologia estrutural de dimensionamento (calculando o estado de tensão-deformação recorrendo a um programa de cálculo estrutural e com recurso a critérios de ruína aplicáveis) no sentido de encontrar as estruturas mínimas a aplicar de forma a poder, por um lado, adaptar melhor a análise às condições locais e, por outro lado, comparar com as soluções tradicionais aquelas que efetivamente se podem usar e não as respeitantes a uma abordagem mais geral com condições de partida (tráfego e resistência da fundação tratadas por classes, como é o caso do manual SATCC).

3.2. Manual da SATCC

Em Cabo Verde pela ligação histórica e razões contratuais seguem-se as disposições normativas da ex-Junta Autónoma de Estradas de Portugal e critérios indicados pelo IE - Instituto de Estradas de Cabo Verde, mas, é impossível ignorar as relações entre as dimensões e posicionamentos geográficos, as características geológicas, as conjunturas económicas e os impulsores de desenvolvimento, face às directrizes das estratégias de desenvolvimento adotadas em vários países africanos comparativamente a Cabo Verde.

O manual da SATCC - Draft Code of Practice for the Design of Road Pavements (1998) é um manual de dimensionamento de pavimentos rodoviários novos que inclui um catálogo de estruturas com soluções de pavimentos alternativas (de tipologias diferentes). As estruturas são dimensionadas em função do tráfego, da classe de fundação e das condições climáticas. Os catálogos de dimensionamento da SATCC são usados para estradas com tráfego menor que 30 milhões de ESA (equivalent standard axles em terminologia anglo-saxónica o que pode ser traduzido por “eixos padrão”) de 80 kN

O processo de dimensionamento neste manual exige que se percorram cinco etapas, que serão seguidamente descritas:

- i) Estimativa do tráfego acumulado esperado durante a vida do pavimento;

No Quadro 3.1 apresenta-se para várias estradas de várias ilhas de Cabo Verde a estimativa do tráfego médio diário anual (TMDA) de veículos motorizados.

Quadro 3. 1: TMDA para várias estradas de várias ilhas de Cabo Verde

Ilha	Posto	Localização		Contagens de tráfego de 2 ^a /3 ^a Feira (A)	Contagens de tráfego (restantes dias) (B)	Tráfego médio diário semanal (TMDS)	Tráfego médio diário anual (TMDA)
		Código	Designação				
Santiago	1	a	Praia- Cidade Velha	1310	1179	997	932
	2	b	Órgão/Pedra badejo	690	621	525	491
	3	c	Fonte Lima/João Bernardo	386	347	294	275
	4	d	Assomada/Rincão	822	740	626	585
	5	e	Cruz Grande/Calheta	838	754	638	596
	6	f	Volta Monte/Ribeira Prata	220	198	168	157
São Nicolau	1	g	Ribeira Brava/Tarrafal	256	230	195	182
	2	h	Ribeira Brava- Juncalinho	157	141	120	112
Santo Vicente	1	i	Salamansa - Norte Baía	89	80	68	63
	2	j	Mindelo – Aeroporto	955	860	727	680
Santo Antão	1	k	Ponte R. Grande/ Coculi/Ponta do Sol	834	751	635	593
	2	l	Ponte Eito	277	249	211	197
	3	m	Ponte Paúl	532	479	405	379
	4	n	Ponte R. Grande/ Paúl	480	432	365	342
Maio	1	o	Figueira – Alcatraz	36	32	27	26
	2	p	Vila – Calheta	144	130	110	102
	3	q	Entr - Ribeira D. João	28	25	21	20

A estimativa genérica mais aproximada da realidade para o tráfego de pesados é de 10% dos motorizados e sendo naturalmente todas as estradas de dois sentidos e duas vias (uma em cada sentido), admite-se que o tráfego se reparte igualmente por cada via. Só como exemplo, na estrada “a” o tráfego de pesados na via de projeto (a que se dimensiona e, portanto, a que recebe mais tráfego pesado), no ano da contagem, será dado pelo produto $932 \times 10\% \times 50\% = 47$ veículos pesados.

Admitindo que o crescimento do tráfego estará no intervalo entre 1% e 3% ao ano e admitindo períodos de vida útil de 10, 15 e 20 anos, o tráfego acumulado de veículos pesados para essas situações é mostrado no Quadro 3.2.

Quadro 3. 2: Número acumulado de veículos pesados para a via de projeto de cada estrada do Quadro 3.1, para taxas de crescimento de 1% e 3%, e para períodos de vida útil de 10, 15 e 20 anos

Código de Localização	TMD pesados ano inicial via de projeto	Taxa de crescimento de 1% ao ano			Taxa de crescimento de 3% ao ano		
		Vida útil					
		10 anos	15 anos	20 anos	10 anos	15 anos	20 anos
a	47	177952	273792	374521	584967	949047	1371115
b	25	93749	144240	197307	308175	499981	722336
c	14	52507	80786	110508	172603	280030	404567
d	29	111697	171854	235080	367174	595700	860625
e	30	113797	175086	239501	374078	606901	876807
f	8	29977	46122	63090	98541	159872	230971
g	9	34750	53466	73136	114232	185329	267750
h	6	21385	32902	45007	70297	114049	164769
i	3	12029	18507	25316	39542	64152	92683
j	34	129836	199762	273256	426800	692438	1000384
k	30	113225	174205	238295	372195	603846	872394
l	10	37614	57872	79164	123647	200603	289817
m	19	72365	111338	152300	237878	385932	557567
n	17	65300	100469	137432	214655	348255	503134
o	1	4964	7638	10448	16319	26476	38250
p	5	19475	29964	40988	64020	103866	150058
q	1	3819	5875	8037	12553	20366	29423

Por semelhança com o Manual de Conceção de Pavimentos da Rede Rodoviária Nacional (MACOPAV) português (referência) e para a realidade medida em Cabo Verde, admitiram-se para os crescimentos de tráfego de 1% (previsão pessimista) e 3% (previsão otimista) e as classes de tráfego (CT1 a CT4) mostradas no Quadro 3.3. Neste quadro também se incluem o número de pesados para as vidas úteis consideradas no Quadro 3.2 correspondentes ao máximo de cada classe de tráfego considerada.

Quadro 3. 3: Número acumulado de veículos pesados para as classes de tráfego descritas e para as mesmas condições de evolução de tráfego e vida útil do Quadro 3.2

Classes (TMD pesados ano inicial via de projeto)	Taxa de crescimento de 1% ao ano			Taxa de crescimento de 3% ao ano		
	Vida útil					
	10 anos	15 anos	20 anos	10 anos	15 anos	20 anos
CT1 [$>50 - \leq 75$]	286403	440653	602770	941471	1527436	2206730
CT2 [$>25 - \leq 50$]	190935	293768	401847	627647	1018291	1471153
CT3 [$>10 - \leq 25$]	95468	146884	200923	313824	509145	735577
CT4 [<10]	38187	58754	80369	125529	203658	294231

De acordo com o tráfego de pesados mostrado no Quadro 3.2, todas as estradas encontram-se entre as classes CT2 e CT4 do Quadro 3.3.

No Quadro 3.4 mostra-se o número de eixos padrão de 80kN para os coeficientes de agressividade (número de eixos de 80kN por veículo pesado) também aí indicados e tudo referente ao número de pesados do Quadro 3.3. Os coeficientes de agressividade foram decididos numa base mais conservadora em relação aos indicados pelo

MACOPAV, indo de encontro a algumas indicações recentes quanto à agressividade dos veículos pesados (Almeida A., 2014. “A Methodological Framework for Pavement Damage Estimation Considering Simulated Axle Load Spectra”. Tese de doutoramento, Universidade de Coimbra).

Quadro 3. 4: Número acumulado de eixos-padrão de 80 kN (N_{80}) para as classes de tráfego descritas e para as mesmas condições de evolução de tráfego e vida útil do Quadro 3.2

Coeficiente de agressividade	Classes (TMD pesados ano inicial via de projeto)	Taxa de crescimento de 1% ao ano			Taxa de crescimento de 3% ao ano		
		Vida útil					
		10 anos	15 anos	20 anos	10 anos	15 anos	20 anos
4	CT1 [$>50 - \leq 75$]	1145612	1762610	2411081	3765884	6109743	8826918
3	CT2 [$>25 - \leq 50$]	572806	881305	1205540	1882942	3054872	4413459
3	CT3 [$>10 - \leq 25$]	286403	440653	602770	941471	1527436	2206730
2	CT4 [<10]	76374	117507	160739	251059	407316	588461

Basicamente para se chegar a este número acumulado de eixos-padrão de 80kN usou-se a equação (3.1):

$$N_{80} = TMDA \times c \times \alpha \quad [3.1]$$

em que,

α – Fator de agressividade (adimensional)

t – taxa de ento anual de tráfego de pesados (valor)

c – fator de crescimento de tráfego dado por:

$$c = \frac{(1 + t)^p - 1}{t} \times 365$$

p – período de vida útil (anos)

Tendo obtido o valor de N_{80} obteve-se, segundo a classificação do catálogo da SATCC, as classes de tráfego listadas no Quadro 3.5 segundo a classificação que se mostra no quadro 3.6:

Quadro 3. 5: Classes de tráfego SATCC para o N_{80} mostrado no Quadro 3.4

Classes (TMD pesados ano inicial via de projeto)	Taxa de crescimento de 1% ao ano			Taxa de crescimento de 3% ao ano		
	Vida útil					
	10 anos	15 anos	20 anos	10 anos	15 anos	20 anos
CT1 [$>50 - \leq 75$]	T3	T4	T4	T5	T6	T6
CT2 [$>25 - \leq 50$]	T2	T3	T3	T4	T5	T5
CT3 [$>10 - \leq 25$]	T2	T2	T2	T3	T4	T4
CT4 [<10]	T1	T1	T1	T1	T2	T2

Quadro 3. 6: Classes de tráfego SATCC em função de N_{80} (referência)

Classes SATCC (N_{80})	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
		<0,3	0,3-0,7	0,7-1,5	1,5-3	3-6	6-10	10-17

As classes de tráfego SATCC mostradas no Quadro 3.6 e para CT2 a CT4, onde se integram todas as estradas do estudo, variam entre T1 (tráfego leve) e T5 (tráfego médio). Considerando para uma previsão pessimista com taxa de crescimento de 1% ao ano com baixa evolução de tráfego, e um período de vida útil de 15 anos, adota-se uma classe T1 (SATCC), com 0,12 milhões de eixos padrão (Classe CT4 adotada no âmbito deste estudo, ver Quadro 3.5), para uma previsão de tráfego leve na evolução temporal em análise. Para uma previsão otimista e mais realista, com taxa de crescimento de 3% ao ano e uma evolução elevada do tráfego, também com período de vida útil de 15 anos, adota-se uma classe T5 (SATCC) com 3,05 milhões de eixos padrão, para uma previsão de tráfego mais significativo (Classe CT2 adotada no âmbito deste estudo, ver Quadro 3.5).

- ii) Definição da resistência da fundação (solo) sobre a qual o pavimento será construído;

Em conjunto com a classe de tráfego, a classe de fundação é outro dado de entrada no catálogo de estruturas do manual da SATCC. A fundação é classificada em função do seu valor de CBR, seguindo o exposto no Quadro 3.7:

Quadro 3. 7: Classe de fundação

Classe de fundação						
Intervalo do valor de CBR da fundação (%)	S1	S2	S3	S4	S5	S6
	2	3-4	5-7	8-14	15-29	30 ou +

O valor de CBR deverá ser determinado consoante as condições de humidade expectáveis durante a vida útil do pavimento, seguindo o disposto no manual da SATCC.

A análise dos resultados das investigações geotécnicas no terreno da estrada de Cidade Velha mostra a predominância de materiais arenosos e cascalho argiloso. Excepcionalmente, foi possível observar nos Km 0+500 a existência da rocha basáltica a 45cm de profundidade. Os valores de CBR (California Bearing Ratio) registados nos ensaios realizados pela *Austrroads Ltd.*, empresa de origem estrangeira, foram todos acima de 10%, podendo-se assim adotar, segundo a SATCC, uma classe de fundação S4, servindo o material como uma boa base para a estrutura do pavimento. Não obstante tal conclusão, através de dados fornecidos pelo Instituto de Estradas, é possível perceber que existente grande diversidade de materiais entre as várias ilhas existentes no país. Ilhas montanhosas como Santiago, Santo Antão, Fogo e São Nicolau apresentam maioritariamente classes de fundação até S4, melhores bases de fundação devido a existência de materiais vulcânicos, enquanto que ilhas como Boavista, Sal, Maio, ilhas caracterizadas pelas suas belas praias, apresentam classe de fundação maioritariamente S3, onde as bases de fundação constituem materiais arenoargilosos, areias siltosas com cascalho, areias mal graduadas com cascalho, entre outros materiais, que se enquadram numa fundação S3 atendendo grande variabilidade existente. Esta classe vai ser a usada nas análises seguintes por razões de querer ser o mais abrangente possível, cobrindo todas as situações que se colocam no país.

iii) Definição de condições climáticas;

As condições climatéricas influenciam a seleção da estrutura proposta no catálogo para cada situação, mesmo para condições iguais de tráfego e fundação, pois o catálogo de estruturas do manual da SATCC prevê estruturas diferentes para situações consideradas nominalmente húmidas e situações consideradas nominalmente secas. As regiões nominalmente secas caracterizam-se por uma precipitação média anual geralmente inferior a 250 mm e pela inexistência de probabilidade de aparecimento de humidade devido a situações de cheias ou de nascentes subterrâneas. É altamente improvável que regiões com precipitação média anual superior a 500 mm possam ser consideradas nominalmente secas.

O manual sul-africano distingue estruturas de pavimento específicas para regiões húmidas e secas, que são definidas em função da precipitação média anual, observa-se pelo quadro 3.8 que para uma precipitação anual inferior a 250mm por ano, considera-se na presença de uma região climática seca.

Quadro 3. 8: Região climática e sua precipitação média anual

Região climática	Precipitação média anual (mm)	Observações
Seca	<250	Não se consideram situações de humidade devido a inundações significativas, fontes subterrâneas ou poços.
Húmido	> 500	Consideram-se todas as situações que não se enquadrem no que foi anteriormente exposto

A temperatura anual média do país é de 25°C, dados fornecidos pelo Instituto de Estradas, com clima de tipo subtropical árido, com precipitação média de 230 mm / ano.

Cabo Verde é, portanto, um país que pode ser considerado como estando incluído na região climática seca (Quadro 3.8). Há, no entanto, para alguns locais, alturas de chuva com considerável abundância, sendo por isso necessário a previsão duma drenagem planeada e bem executada.

iv) Determinação de aspetos práticos complementares que irão influenciar a seleção do pavimento;

O período espectável para que a estrada mantenha um nível de serviço satisfatório sem necessitar de ser reabilitado ou reparado vai depender da importância/nível de serviço que se pretenda para o mesmo. Geralmente, o período de dimensionamento deverá estar compreendido entre 10 ou 25 anos. No Quadro 3.9 abaixo indica-se, segundo o manual SATCC da especialidade Structural Design of Flexible Pavements for Interurban and Rural Roads, como definir o período de dimensionamento em função da categoria, da importância e do nível de serviço em causa

Quadro 3. 9: Categoria das vias segundo o manual Sul Africano, SATCC

Categoria da via				
	A	B	C	D
Descrição	Autoestradas e itinerários principais	Vias coletoras, estradas rurais	Estradas rurais com tráfego médio, caminhos estratégicos	Estradas de acesso rural
Importância	Muito importante	Importante	Pouco importante	Pouco importante
Nível de serviço	Muito elevado	Elevado	Moderado	Moderado a baixo
Período de dimensionamento recomendado (anos)	25	20	15	10

Em Cabo Verde, a conceção de infraestruturas de transporte rodoviário são dimensionadas para um período de vida útil de 15 a 20 anos, não obstante a necessidade da sua manutenção e/ou reabilitação destas, ao longo dos anos. Para o presente trabalho, considerou-se um período de vida de 15 anos, devido ao médio a baixo tráfego existente no país e à previsão moderada para a evolução do tráfego no futuro.

v) Seleção de possíveis estruturas de pavimento.

Das estruturas alternativas equivalentes propostas para o pavimento, a seleção final é normalmente realizada com base em critérios económicos e de disponibilidade dos materiais.

Após a definição da classe de tráfego, da classe de fundação e das condições climáticas da região onde será construído o pavimento, tem de definir-se a tipologia de estrutura pretendida, ou seja, o tipo de materiais que constituirão as camadas do pavimento. Esta escolha será sempre condicionada pela disponibilidade e/ou adequabilidade dos materiais, mas importa referir que, de acordo com o manual, nem todos os tipos de materiais podem ser aplicados para todas as classes de tráfego.

- **Solução para previsão pessimista com taxa de crescimento de 1%/ ano**

Considerando a classe de fundação S3 e uma classe de tráfego pessimista T1 para a taxa de crescimento de 1 %, foi possível adotar (Quadro 3.5), segundo o manual SATCC, três soluções possíveis de serem analisadas:

- Uma primeira solução constituída por 2 camadas de ABGE (agregado britado de granulometria extensa) de 15 e 20cm para base e subbase respetivamente, e um revestimento superficial de emulsão betuminosa

SD	Revestimento superficial duplo
15cm ABGE	Camada de base granular
20cm ABGE	Camada de sub-base granular
oo	Fundação

Figura 3. 1: Solução 1 para pavimento em estudo sem camada de desgaste e base e subbase granular

- Uma segunda solução constituída por uma camada de base granular de 12,5cm, uma camada de subbase tratada com cimento de 15cm de espessura e por fim um revestimento superficial em emulsão betuminosa;

SD	Revestimento superficial duplo
12,5cm ABGE	Camada de base granular
15cm SC	Camada de Solo-cimento
oo	Fundação

Figura 3. 2: Solução 2 para pavimento em estudo com camada de subbase estabilizado com cimento

- Por último, uma solução com duas camadas aglutinadas com cimento para a base e subbase, ambas com 15cm de espessura, seguido de revestimento superficial em emulsão betuminosa.

SD	Revestimento superficial duplo
15cm SC	Camada de Solo-cimento
15cm SC	Camada de Solo-cimento
oo	Fundação

Figura 3. 3: Solução 3 para pavimento em estudo com camada de base e subbase estabilizado com cimento

- **Solução para previsão otimista com taxa de crescimento de 3%/ ano**

Considerando a classe de fundação S3 e uma classe de tráfego otimista T5 para a taxa de crescimento de 3 %, é possível adotar, segundo o manual SATCC as seguintes soluções:

- Uma primeira solução constituída por 2 camadas de ABGE de 20 e 30cm para base e sub-base respetivamente, e uma camada de desgaste de 5cm em betão betuminoso;

5cm BB	Camada de desgaste em Betão Betuminoso
20cm ABGE	Camada de base granular
30cm ABGE	Camada de base granular
oo	Fundação

Figura 3. 4: Solução 1 para pavimento em estudo com camada de desgaste em betão betuminoso

- Uma segunda solução constituída por 1 camada de base granular ABGE de 15cm e uma camada de sub-base de solo-cimento com 22,5cm, uma camada de solo selecionado de 15cm e um revestimento superficial em emulsão betuminosa;

SD	Revestimento superficial duplo
15 ABGE	Camada granular ABGE
22,5 SC	Solo-cimento
15 SS	Solo seleccionado
oo	Fundação

Figura 3. 5: Solução 2 para pavimento em estudo com camada de sub base estabilizada com cimento

- Por último, uma solução com duas camadas aglutinadas com cimento para a base e sub-base, ambas com 20cm de espessura, seguido de camada de solo seleccionado de 12,5cm e por fim, revestimento superficial em emulsão betuminosa

SD	Revestimento superficial duplo
20 SC	Camada de Solo-cimento
20 SC	Camada de Solo-cimento
12,5 SS	Solo seleccionado
oo	Fundação

Figura 3. 6: Solução3 para pavimento em estudo com camada de base e subbase estabilizadas com cimento

Para uma classe de tráfego T5, é possível observar a necessidade de aumentar as camadas de pavimento de base e sub-base acima do solo de fundação. Observa-se também, para a solução otimista no que respeita ao tráfego, a inclusão de mais uma camada, designada camada de solo seleccionado, garantindo maior resistência à fundação do pavimento. Essa conclusão já seria expectável uma vez que se está na presença de maiores solicitações quando comparadas com a solução anteriormente referida em que a previsão de tráfego refere-se a uma solução pessimista com classe T1, em que a evolução de tráfego não requer estruturas de resistências tão valorizados como acontece as situações de classes T5, T6 ou T7.

Para concluir, importa referir que sendo o catálogo da SATCC um catálogo que tem como entrada classes , de tráfego e de resistência da fundação, não é por si só uma forma de dimensionar para condições específicas dos dados de entrada. Assim sendo, aborda-se de seguida cada uma das estruturas indicadas pelo SATCC através duma abordagem estrutural (empírico-mecanicista) de dimensionamento de modo a estar mais próximo das condições definidas para o funcionamento de cada estrutura de pavimento.

3.3. Metodologia de dimensionamento estrutural

3.3.1. Enquadramento

O cálculo de estado de tensão-deformação necessário será efetuado pelo software BISAR (*SHELL PAVEMENT DESIGN SOFTWARE FOR WINDOWS*).

O BISAR utiliza na sua fundamentação uma metodologia muito simples baseada na teoria de Burmister, que considera, para representar as estruturas de pavimentos, um sistema multicamada composto por camadas horizontais semi-infinitas, contínuas, homogéneas, de espessura constante e constituídas por materiais

isotrópicos com comportamento elástico-linear, assentes sobre um meio espaço semi-infinito [Burmister,D. 1945].

Quanto aos modelos de carregamento, o software BISAR apenas permite adotar uma tensão de contacto uniforme, aplicada sobre uma (ou duas) área circular, com distribuição temporal uniforme, isto é, não tem em conta o carácter dinâmico da carga. Na Figura 3.7 é possível observar um esquema do tratamento da estrutura do pavimento com referência às quantidades que têm de ser introduzidas para o cálculo do estado de tensão-deformação: h , espessura das camadas em m; E , módulo de deformabilidade (de rigidez) das camadas em MPa; ν , coeficiente de Poisson das camadas adimensional.

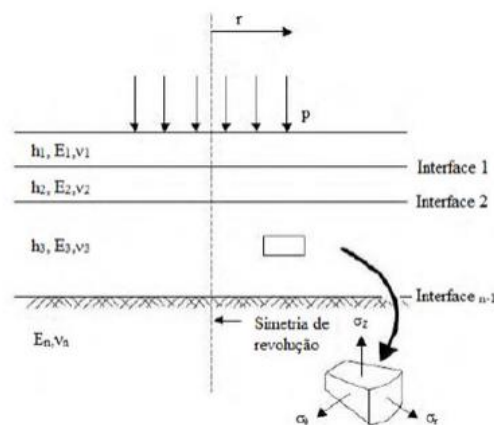


Figura 3. 7: Esquema de tratamento da estrutura do pavimento (FUNDEC-IST, 2014)

3.3.2. Modelos de comportamento dos materiais

Os pavimentos rodoviários estão sujeitos, ao longo da sua vida útil, a ações de características variadas que afetam as propriedades mecânicas das várias camadas do pavimento (principalmente o módulo de deformabilidade). Com este efeito, em cada ponto do pavimento são gerados picos de tensão e de deformação, que geram assim mecanismos de degradação das camadas betuminosas, ou seja, progressivas alterações e conseqüente redução da qualidade dos materiais constituintes do pavimento.

Os principais esforços habitualmente analisados no dimensionamento de um pavimento flexível são:

- Extensões horizontais de tração na parte inferior das camadas betuminosas – critério de Fadiga das misturas betuminosas
- Extensões verticais de compressão no topo do solo de fundação – critério de deformação permanente da totalidade da estrutura.
- Quando aplicável, em caso de materiais estabilizados com cimento, extensões horizontais de tração na parte inferior das camadas com aqueles materiais – critério de fadiga das misturas estabilizadas com cimento.

Na figura 3.8 mostra-se onde se analisam as extensões de tração (ϵ_t , na base das camadas ligadas, com betume asfáltico ou com cimento) para a verificação do critério de fadiga, e as de compressão (ϵ_z , no topo do solo de fundação) para verificação do critério de deformação permanente.

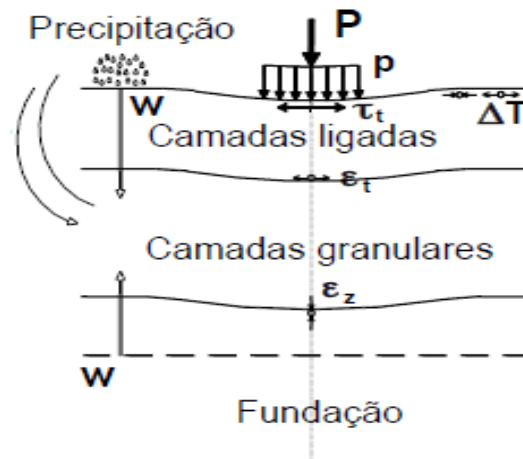


Figura 3. 8: Modelo de estrutura de pavimento (FUNDEC- IST, 2015)

O estudo do comportamento à fadiga, relaciona a extensão máxima de tração induzida com o número de aplicações de carga que conduz à ruína do material por este critério de rotura.

A lei de fadiga proposta pelo método da AUSTROADS [Conceção e Consevação de Pavimentos Rodoviários, Luis Picados Santos] é aplicada a camadas aglutinadas com cimento. Este modelo pode ser expresso pela equação 3.2 que se segue:

$$N = r \left(\frac{k}{\mu \epsilon} \right)^{12} \quad [3.2]$$

na qual,

N é o número de repetições de carga admissíveis ;

r, fiabilidade da análise à fadiga (adimensional que toma o valor de 1,0 para 95% de fiabilidade e de 3,3 para 85%);

k, constante representando as condições de serviço à fadiga (adimensional que toma o valor indicado no Quadro 3.11)

$\mu \epsilon$, deformação de tracção na base da camada ($\mu\text{m}/\text{m}$);

A lei de fadiga proposta pela Shell, é uma das mais conhecidas e utilizadas. A vida útil duma camada betuminosa à fadiga é função do nível de extensão, da quantidade de betume e do módulo de deformabilidade da mistura. Este modelo pode ser expresso pela equação 3.3 que se segue:

$$\epsilon_z = (0,856 \times V_b + 1,08 \times E^{-0,36} \times N^{-0,2}) \quad [3.3]$$

Na qual,

N é o número de carregamentos de eixos padrão até à ocorrência de rotura por fadiga;

V_b , a percentagem volumétrica de betume;

ε_z , a extensão de tração aplicada [adimensional];

E, o módulo de deformabilidade da mistura betuminosa [Pa].

O critério de ruína por deformação permanente pelo método da Shell é expressa através da relação entre a extensão vertical de compressão, medida no topo do solo de fundação, com o número de eixos padrão (N) [Conservação de Infraestruturas de Transportes, IST2013] de acordo com a expressão 3.4 seguinte:

$$\varepsilon_z = K_s \times N_{80}^{-0,25} \quad [3.4]$$

onde,

ε_z é a extensão vertical de compressão no topo do solo de fundação [adimensional];

N_{80} , o número de eixos padrão;

K_s , o parâmetro de que depende a probabilidade de sobrevivência, sendo que o seu valor pode variar dependendo das situações seguintes:

· $K_s = 1,8 \times 10^{-2}$ (probabilidade de sobrevivência de 95%)

· $K_s = 2,1 \times 10^{-2}$ (probabilidade de sobrevivência de 85%)

· $K_s = 2,8 \times 10^{-2}$ (probabilidade de sobrevivência de 50%)

No presente caso, foi adotado o valor $1,8 \times 10^{-2}$ para uma probabilidade de sobrevivência de 95%

As estruturas propostas obtidas pelo catálogo SATCC são representadas por duas situações distintas que se subdividem em duas outras situações:

- Uma alternativa em que existe estabilização do solo com cimento:
 - Apenas para a camada de sub-base, com base granular e sem camada de desgaste em betão betuminoso, havendo apenas um revestimento superficial normalmente executado com emulsão betuminosa
 - Para as camadas de base e sub-base e sem camada de desgaste em betão betuminoso, recorrendo-se também a um revestimento superficial de emulsão betuminosa
- Uma alternativa sem estabilização do solo com cimento, utilizando camadas de material granular, dividindo-se em duas soluções alternativas:
 - Camada granular para a base e sub-base, sem camada de desgaste em betão betuminoso, onde se incorpora no modelo de pavimento um revestimento superficial de emulsão betuminosa
 - Camada granular para a base e sub-base, com camada de desgaste em betão betuminoso

3.3.2.1. Caracterização de materiais para proceder à avaliação estrutural dos pavimentos

Admite-se para a cidade da Praia, que é a capital do país, uma solução otimista, considerando a taxa de crescimento de tráfego de 3% por ano. No quadro 3.10 indicam-se as características de partida.

Quadro 3. 10: Características do solo de fundação e classe de fundação para solução otimista

Classe de Fundação	S3	CBR=6% v=0,35 E= 55 MPa
Classe de tráfego (SATCC, 2011)	T5	eixo de 80KN (15 anos) N80: 3,06x10 ⁶

Para o solo de fundação recorre-se a uma fórmula empírica para a estimativa do módulo de deformabilidade dada pela equação 3.5:

$$E = 17,6 \times CBR^{0,64} \quad [3.5]$$

Onde,

E – Módulo de deformabilidade [Mpa]

CBR - Califórnia Bearing Ratio [valor percentual]

Para as camadas de solos granulares recorre-se às fórmulas previsionais dada pela equação 3.6 para o módulo de deformabilidade:

$$E_{granulares} = K \times E_{subjacente} \quad [3.6]$$

$$K = 0,2 \times h^{0,45}$$

Onde:

K - coeficiente relacionado com a probabilidade de sobrevivência de um pavimento

$E_{subjacente}$ - Módulo de deformabilidade da camada subjacente (solo de fundação) (Mpa)

h- Espessura da camada (mm)

Considerou-se para as estruturas a analisar, através do catálogo da SATCC, duas situações distintas para as camadas granulares (solo selecionado):

- Solução com camada de 12,5 cm de espessura
- Solução de camada com 15cm de espessura

Para as camadas estabilizadas com cimento recorre-se à indicação da AUSTROADS [Conceção e Consevação de Pavimentos Rodoviários,Luis Picados Santos], para o módulo de deformabilidade de bases e sub-bases tratadas com cimento. Admitiu-se para as camadas de base e sub-base 3% - 4% de material aglutinante (cimento) pelo que se pode ver no Quadro 3.11 que o valor do módulo de deformabilidade a adotar é de 2000 MPa.

Quadro 3. 11: Módulo de deformabilidade para bases ligadas com cimento [Conceção e Conservação de Pavimentos Rodoviários, IST]

Propriedade	Base 4-5% Cimento	Subbase 3-4% Cimento	Subbase 4-5% Cimento	Base/ sub base de cSC 3-4% qualidade média baixa
Modo de deformabilidade (MPa)	5000	4000	3000	2000
Resistência à flexão (Mpa) Rf	1.4	1.0	1.0	0.8
Constante de fadiga em serviço (K)	272	270	304	427

Quando se está na presença de uma camada estabilizada com cimento, a camadas granular (ABGE) acima com espessuras de 15 a 20 cm mobilizam um módulo de deformabilidade que se pode admitir como variando entre 300 a 500 Mpa. Para o presente trabalho admitiu-se o valor de 500 Mpa, considerando que se está perante um material (ABGE) geralmente de boas características.

Por fim, consideram-se as camadas de betão betuminoso. Para a camada de desgaste, considerando o uso de misturas betuminosas, determina-se pelo método da Shell o valor dos módulos de deformabilidade. Para tal usa-se a expressão 3.7.

$$E = 10^A \quad [3.7]$$

Onde:

E – Módulo de deformabilidade [Mpa]

$$A = \frac{S_{89} + S_{68}}{2} \times (\log S_b - 1) + \frac{S_{89} + S_{68}}{2} \times |\log S_b - 8| + S_m 108 \quad []$$

- $S_{89} = 1,2 \times \frac{S_{m3109} + S_{m108}}{\log 30}$
- $S_{68} = 10,6 \times \log \frac{v_b^2 - 1}{1,33 \times v_b - 1}$
- $S_{m3019} = 10,82 - \frac{1,342 \times (10 - v_a)}{v_a + v_b}$
- $S_{m108} = 8 + 5,68 \times 10^{-3} \times v_b + 2,135 \times 10^{-4} \times v_a^2$

Considerando as características dos materiais apresentadas nos quadros 3.12 e 3.13, para a camadas de betão betuminoso, obtém-se pelas fórmulas de Shell, os valores do módulo de deformabilidade, que estão no Quadro 3.14.

Quadro 3. 12: Características dos materiais betuminosos – VMA (vazios da mistura de agregados)

Designação	Observações	Yb (kN/m ³)	Ya (kN/m ³)	pb(%)	tb (%)	n (%)	Vb	Va	VMA
Camada de desgaste	Betão betuminoso	10,30	26,00	5,30	5,60	4,00	0,1188	0,8412	0,1588
Camada de base	Betão betuminoso	10,30	23,50	5,00	5,26	5,00	0,1018	0,8482	0,1518

Quadro 3. 13: Características dos materiais betuminosos – Sb (Rigidez do betume)

Designação	Observações	TS - (oC)	P25 - (0,1 mm)	Tab - (oC)	P25r - (0,1 mm)	Tabr - (oC)	IPen	V (km/h)	t - (s)	Sb - (MPa)
Camada desgaste	Betão betuminoso	30,00	60,00	50,00	39,00	57,21	0,12 2	50,00	0,0 2	8,2
Camada de base	Betão betuminoso	29,00	60,00	52,00	39,00	57,21	- 0,12 2	50,00	0,0 2	9,8

Quadro 3. 14: Características dos materiais betuminosos – Em (Módulo de deformabilidade)

Designação	Observações	Vb - (%)	Va - (%)	Sm108	Sm3109	S68	S89	A	Em - (Pa)	Em - (MPa)
Camada de desgaste	Betão betuminoso	11,88	84,12	9,99	10,60	0,67	0,46	9,26	183250953 4	1833
Camada de base	Betão betuminoso	10,18	84,82	10,02	10,61	0,63	0,45	9,38	241323267 2	2413

Deste modo, para a camada de desgaste o módulo de deformabilidade definido é de 1833 MPa e de base de 2413 MPa.

Considerando-se para o caso de estudo o módulo de deformabilidade de 2413 MPa para toda a espessura em mistura betuminosa porque se admite que será preciso usar uma espécie de AC20 (para base) e assim simplifica-se o cálculo (em lugar de considerar na análise duas camadas, base mais desgaste, considera-se uma só).

Para as camadas de SC, e considerando o quadro 3.11, onde considera-se para o caso de estudo a incorporação de 3-4% de cimento na camada estabilizada, considera-se um módulo de deformabilidade de 200 Mpa para uma iteração inicial.

No Quadro 3.15 podem ver-se as características dos demais materiais, módulo de deformabilidade, o coeficiente de poisson e espessuras iniciais das camadas para o uso do programa de cálculo Bisar 3.0, obtidas de acordo com as orientações expressas anteriormente e com as práticas habituais nestas situações.

Quadro 3. 15: Módulo de deformabilidade e coeficiente de poisson das camadas do pavimento

	Espessura (m)	E (MPa)	v (coef. Poisson)	K (E/E _{subjacente})
Fundação	∞	55	0,35	-
leito de pavimento (Sselecc)	0,125	99	0,30	1,8
leito de pavimento (Sselecc)	0,150	105	0,30	1,9
G (ABGE) quando em conjunto com Solo cimento	0,150	500	0,30	-
Camada granular (G) (ABGE)	variável	$(0,2 \cdot h^{0,45}) \times E_{\text{subjacente}}$	0,30	-
SC (solo-cimento)	0,200	2000	0,20	-
SC (solo-cimento)	0,225	2000	0,20	-
BB (Betão betuminoso)	0,050	2413	0,35	-

3.3.3. Soluções de pavimentação avaliadas estruturalmente

Para a análise estrutural, serão consideradas as três soluções descritas anteriormente e indicadas pela abordagem SATCC. Para cada estrutura foram avaliadas 4 a 5 tentativas que se descreverão.

3.3.3.1. Caso 1 (Estrutura Flexível/Semirígido)

Este caso corresponde à solução proposta pelo catálogo SATCC indicada na Figura 3.9. Constitui a utilização do solo estabilizado com cimento (SC) em base e sub-base com um revestimento superficial duplo (SD) como camada de desgaste e tudo sobre uma camada de solo seleccionado (SS), como mostrado na Figura 3.10, onde também se indicam os módulos de deformabilidade e a espessura (em cm, indicada antes da abreviatura da designação) das camadas. O coeficiente de Poisson das camadas é o mostrado no Quadro 3.15.

		E (MPa)
SD	Revestimento superficial duplo	
20 SC	Solo-cimento	2000
20 SC	Solo-cimento	2000
12,5 SS	Solo seleccionado	99
oo	Fundação	55

Figura 3. 9: 1ª tentativa para solução estrutural

Vai admitir-se em todos os casos a orientação habitual para dimensionamento das Infraestruturas de Portugal (IP): o valor percentual do dano à fadiga e à deformação permanente deve estar entre os valores 60 a 80%, para o horizonte temporal considerado.

Nos quadros 3.16 e 3.17 mostra-se a evolução da análise para os critérios de ruína à fadiga (AUSTROADS) e deformação permanente (SHELL). O resultado da 1ª tentativa foi para a estrutura mostrada na Figura 3.9 e é dado para uma probabilidade de sobrevivência de 95% ($r=1,0$) e de 85% ($r=3,3$), onde r corresponde à fiabilidade de análise das estruturas à fadiga. Na 2ª tentativa mudou-se a espessura das camadas de SC para 15 cm. Na 3ª tentativa, retirou-se a camada de SS mantendo as espessuras das camadas de SC com 15cm. Para a 4ª tentativa, optou-se por uma camada única de SC de 25cm e camada de SS de 15cm. A 5ª e última tentativa corresponde a uma variante à 2ª tentativa no que diz respeito às características das camadas de SC. Optou-se por variar o módulo de deformabilidade destas camadas de 200 MPa para um valor correspondente a 2500MPa. Isto deve-se à consideração de um aumento ligeiro da percentagem de cimento na sua constituição

Quadro 3. 16: Dano à fadiga do caso 1 (método da AUSTROADS)

DANO DE FADIGA (AUSTROADS - mat. tratados hidraulicamente)								
Designação	Observações	et (x10 ⁶)	K	R	N - (x 10 ⁶)	Np - (x 10 ⁶)	DANO	Fiabilidade
	1ª tent	95	427	1,00	69	3,06	4%	95% Sobrv.
	1ª tent	95	427	3,30	227	3,06	1%	85% Sobrv.
	2ª tent	144	427	1,00	0	3,06	635%	95% Sobrv.
	2ª tent	144	427	3,30	2	3,06	192%	85% Sobrv.
	3ª tent	158	427	1,00	0	3,06	1970%	95% Sobrv.
	3ª tent	158	427	3,30	1	3,06	597%	85% Sobrv.
	4ª tent	167	427	1,00	0	3,06	3919%	95% Sobrv.
	4ª tent	167	427	3,30	0	3,06	1188%	85% Sobrv.
2º est_2	5ª tent	123	427	1,00	3	3,06	100%	95% Sobrv.
	5ª tent	123	427	3,30	10	3,06	30%	85% Sobrv.

Quadro 3. 17: Dano à deformação permanente do caso 1 (SHELL)

DANO DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE (Shell)						
Designação	Observações	edp	N - (x 10 ⁶)	Np - (x 10 ⁶)	DANO	Fiabilidade
	1ª tent	0,000181	97,81	3,06	3%	95% Sobrv.
	1ª tent	0,000181	181,20	3,06	2%	85% Sobrv.
	2ª tent	0,000330	8,81	3,06	35%	95% Sobrv.
	2ª tent	0,000330	16,32	3,06	19%	85% Sobrv.
	3ª tent	0,000397	4,23	3,06	72%	95% Sobrv.
	3ª tent	0,000397	4,23	3,06	72%	85% Sobrv.
	4ª tent	0,000276	18,09	3,06	17%	95% Sobrv.
	4ª tent	0,000276	33,52	3,06	9%	85% Sobrv.
2 est_2	5ª tent	0,000293	14,24	3,06	21%	95% Sobrv.
	5ª tent	0,000293	26,39	3,06	12%	85% Sobrv.

3.3.3.2. Caso 2 (Estrutura Flexível/Semi-rígido inverso)

Este caso corresponde à solução proposta pelo catálogo SATCC indicada na Figura 3.11. Constitui a utilização do ABGE como camada de base e solo estabilizado com cimento (SC) como sub-base com um revestimento superficial duplo (SD) como camada de desgaste e tudo sobre uma camada de solo selecionado (SS), como mostrado na Figura 3.11, onde também se indicam os módulos de deformabilidade e a espessura (em cm, indicada antes da abreviatura da designação) das camadas. O coeficiente de Poisson das camadas é o mostrado no Quadro 3.15.

Admite-se como primeira análise a solução proposta pelo catálogo SATCC e constituída, conforme se indica na figura 3.10 abaixo, por um revestimento superficial, uma camada de base granular (ABGE), uma camada de solo-cimento e uma camada de solo selecionado.

SD	Revestimento superficial duplo	MPa
15 ABGE	ABGE	500
25 SC	Solo-cimento	2000
15 SS	Solo selecionado	105
oo	Fundação	55

Figura 3. 10: 1ª tentativa para solução estrutural

Nos quadros 3.18 e 3.19 mostra-se a evolução da análise para os critérios de ruína à fadiga (AUSTROADS) e deformação permanente (SHELL). O resultado da 1ª tentativa foi para a estrutura mostrada na Figura 3.10 e é dado para uma probabilidade de sobrevivência de 95% (r=1,0) e de 85% (r=3,3). Na 2ª tentativa mudou-se a

espessura das camadas de SC para 25 cm, e eliminou-se a camada de base granular, ABGE. Na 3ª tentativa, optou-se por uma camada de base granular (ABGE) de 15cm sobre duas camadas de SC com 15cm cada, tudo, sobre uma camada de 15 de SS. Para a 4ª tentativa, optou-se por uma camada de ABGE de 15cm sobre uma camada única de SC de 20cm na qual foi alterada as suas características a nível de módulo de deformabilidade para um valor de 2500Mpa correspondentes ao aumento da percentagem de cimento na sua constituição, e camada de SS de 15cm.

Quadro 3. 18: Dano à fadiga para a segunda solução estrutural (Método da AUSTROADS)

DANO DE FADIGA (AUSTROADS - mat. tratados hidraulicamente)								
Designação	Observações	et (x106)	K	R	N - (x 10 ⁶)	Np - (x 10 ⁶)	DANO	Fiabilidade
	1ª tent	159	427	1,00	0	3,06	2174%	95% Sobrv.
	1ª tent	159	427	3,30	0	3,06	659%	85% Sobrv.
	2ª tent	119	427	1,00	5	3,06	67%	95% Sobrv.
	2ª tent	119	427	3,30	15	3,06	20%	85% Sobrv.
	3ª tent	108	427	1,00	15	3,06	21%	95% Sobrv.
	3ª tent	108	427	3,30	48	3,06	6%	85% Sobrv.
	4ª tent	135	427	1,00	1	3,06	305%	95% Sobrv.
	4ª tent	135	427	3,30	3	3,06	92%	85% Sobrv.

Quadro 3. 19: Dano à deformação permanente para a segunda solução estrutural

DANO DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE (Shell)						
Designação	Observações	Edp	N - (x 10 ⁶)	Np - (x 10 ⁶)	DANO	Fiabilidade
	1ª tent	0,000387	4,68	3,06	65%	95% Sobrv.
	1ª tent	0,000387	8,67	3,06	35%	85% Sobrv.
	2ª tent	0,000299	13,19	3,06	23%	95% Sobrv.
	2ª tent	0,000299	24,43	3,06	13%	85% Sobrv.
	3ª tent	0,000332	8,64	3,06	35%	95% Sobrv.
	3ª tent	0,000332	16,01	3,06	19%	85% Sobrv.
	4ª tent	0,000348	7,16	3,06	43%	95% Sobrv.
	4ª tent	0,000348	13,26	3,06	23%	85% Sobrv.

3.3.3.3. Caso 3 (Estrutura Flexível)

A terceira/última solução estrutural é considerada a mais comum e usual no que diz respeito aos pavimentos flexíveis. A proposta feita pelo catálogo SATCC consiste em um pavimento com camada de desgaste em betão betuminoso e duas camadas granulares (ABGE) para as camadas de base e subbase, como se pode observar

pela figura 3.12. De modo a obter uma solução otimizada, à semelhança das soluções anteriores, foram testadas várias tentativas/iterações através do programa Bisar, alterando algumas variantes ao método da Shell, como se poderá no Anexo II.

O resultado da 1ª tentativa foi para a estrutura mostrada na Figura 3.11 e é dado para uma probabilidade de sobrevivência de 95% ($r=1,0$) e de 85% ($r=3,3$).

5 BB	Betão betuminoso	2413
20 ABGE	ABGE	311
30 ABGE	ABGE	143
oo	Fundação	55

Figura 3. 11: 1ª tentativa para solução estrutural

Nos quadros 3.20 e 3.21 mostra-se a evolução da análise para os critérios de ruína à fadiga (SHELL) e deformação permanente (SHELL). O resultado da 1ª tentativa foi para a estrutura mostrada na Figura 3.12 e é dado para uma probabilidade de sobrevivência de 95% ($F=1$) onde F representa o fator de aproximação à realidade. A 2ª, 3ª, 4ª e 5ª tentativa diferem da primeira devido à diminuição da espessura de uma das camadas granulares para igual valor à superior de 20cm e ao aumento de espessura da camada de desgaste, passando, respetivamente para, 5, 10 e 13 cm para as duas últimas. A 4ª e 5ª tentativa diferem uma da outra pelo fator F apresentado no quadro 3.20. Para a 6ª tentativa, com camadas granulares de 20cm e 30cm e camada de desgaste de 13cm, modificou-se também o fator de aproximação F de modo a observar a possibilidade de utilização desta solução.

Quadro 3. 20: Dano à fadiga do caso 3 (método da SHELL)

DANO DE FADIGA (Shell)								
Designação	Observações	e_t	Vb - (%)	F	Em-(Pa)	N - (x 10 ⁶)	Np - (x 10 ⁶)	DANO
5cm;50/70 (50)	1ª tentativa	0,000200	10,18	1,00	2413232672	3,65	3,06	84%
5cm;50/70 (40)	2ª tentativa	0,000296	10,18	1,00	2413232672	0,51	3,06	596%
5cm;50/70 (40)	3ª tentativa	0,000264	10,18	1,00	2413232672	0,92	3,06	333%
13cm;50/70 (40)	4ª tentativa	0,000220	10,18	5,00	2413232672	11,32	3,06	27%
13cm;50/70 (40)	5ª tentativa	0,000220	10,18	2,00	2413232672	4,53	3,06	68%
13cm;50/70 (50)	6ª tentativa	0,000195	10,18	1,00	2413232672	4,15	3,06	74%

Quadro 3. 21: Dano à deformação permanente do caso 3 (método da SHELL)

DANO DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE (Shell)						
Designação	Observações	edp	N - (x 10 ⁶)	Np - (x 10 ⁶)	Fiabilidade	DANO
5cm;50/70 (40)	1ª tent	0,000480	1,98	3,06	95% Sobrv.	154%
5cm;50/70 (40)	1ª tent	0,000480	3,68	3,06	85% Sobrv.	83%
5cm;50/70 (40)	2ª tent	0,000638	0,63	3,06	95% Sobrv.	483%
5cm;50/70 (40)	2ª tent	0,000638	1,17	3,06	85% Sobrv.	261%
5cm;50/70 (40)	3ª tent	0,000521	1,42	3,06	95% Sobrv.	215%
5cm;50/70 (40)	3ª tent	0,000521	2,64	3,06	85% Sobrv.	116%
13cm;50/70 (40)	4ª tent	0,000444	2,71	3,06	95% Sobrv.	113%
13cm;50/70 (40)	4ª tent	0,000444	5,03	3,06	85% Sobrv.	61%
13cm;50/70 (40)	5ª tent	0,000444	2,71	3,06	95% Sobrv.	113%
13cm;50/70 (40)	5ª tent	0,000444	5,03	3,06	85% Sobrv.	61%
13cm;50/70 (40)	6ª tent	0,000335	8,36	3,06	95% Sobrv.	37%
13cm;50/70 (40)	6ª tent	0,000335	15,48	3,06	85% Sobrv.	20%

3.3.4. Conclusão acerca das soluções estruturais

3.3.4.1. Caso 1 (Estrutura Flexível/Semirígido)

Pode-se observar que, para o caso 1 e para uma primeira tentativa, para uma fiabilidade de 95%, esses valores se encontram afastados da percentagem pretendida, atingindo apenas 4% de dano à fadiga e 3% de dano à deformação permanente o que, nos remete à conclusão de se estar a sobredimensionar o pavimento.

Para as 2ª, 3ª e 4ª tentativas foi possível verificar que as soluções propostas ultrapassam o valor percentual admitido, permitindo concluir que as estruturas propostas não suportam as cargas a que estão sujeitas no horizonte temporal considerado, não sendo, por isso, estruturas viáveis.

A quinta/última tentativa para este primeiro caso representa uma variante à segunda quanto à qualidade do material.

Aumentando o módulo de deformabilidade das camadas de solo cimento para 2500 MPa, admite-se que estamos na presença de camadas de solo de qualidade inferior à anterior, aumentando com isso a percentagem de cimento no solo (até 4,5%) e consequentemente tendo o aumento do módulo de deformabilidade do mesmo de forma ponderada.

Nota-se que o aumento das características do solo cimento da 2ª tentativa fez com que uma solução que, à priori, não seria de boa prática devido ao mau comportamento à fadiga das camada passe a ser uma solução aceitável, com taxa de 100% de dano à fadiga no período de vida útil da estrada. Embora esta solução não seja uma solução ótima, uma vez que esta gama de valores não se encontra entre os 60 a 80% de dano, ou seja, chegar ao fim de vida útil do pavimento com um dano de 60 a 80% da estrutura, esta, constitui uma boa aproximação daquilo que se pretende analisar, considerando por isso esta como sendo a melhor solução encontrada. Todas as soluções testadas encontram-se no anexo 2.

3.3.4.2. Caso 2 (Estrutura Flexível/Semirígido inverso)

Procede-se à análise do caso 2, composta por camadas de solo-cimento, camada granular ABGE, solo selecionado e revestimento superficial.

Pode-se observar que, para a primeira tentativa e para uma fiabilidade de 95%, esses valores se encontram bastante superiores à percentagem pretendida, o que, nos leva a concluir que esta solução é inviável, dando danos de cerca de 2000%, ou seja a estrutura não suporta as cargas a que está sujeita.

A segunda tentativa representa a solução que melhor se adaptou às características impostas por esta solução. Com dano à fadiga de 67% e dano à deformação permanente de 23%, esta apresenta, não uma solução ótima, mas considerada bastante interessante no ponto de vista tecnológico.

A terceira tentativa consiste em acrescentar mais uma camada de SC à segunda tentativa. Esta apresenta danos inferiores como já seria espectável.

Tendo em conta a presença do solo estabilizado com cimento, à semelhança da primeira solução estrutural, a quarta tentativa consiste em alterar a percentagem de cimento na sua constituição relativamente à terceira tentativa, fazendo com que o módulo de deformabilidade aumente para 2500MPa. Embora os danos associados a essa nova tentativa tenham diminuído consideravelmente para cerca de 300% à fadiga, esta solução não é viável.

3.3.4.3. Caso 3 (Estrutural flexível)

Quanto à terceira e última solução estrutural, é possível observar que a sexta tentativa é a única solução que respeita os critérios de ruína à fadiga e deformação permanente, com 74% e 37% respetivamente, sendo que as restantes extrapolam os valores aceitáveis. Relembre-se que esta estrutura é das mais comuns em Cabo Verde, não sendo necessariamente a mais económica e nem a mais eficiente. Embora os critérios de ruína estejam mais próximos da gama de valores que se pretende, considerar uma camada de betão betuminoso de 13cm de espessura não é o mais comum em Cabo Verde. Regra geral, camadas de desgaste de 5 a 8cm são as mais utilizadas, mas é também possível observar que, embora não se verifique a ruína dos pavimentos, os pavimentos que chegam ao fim do seu período de vida útil sem a necessidade de uma intervenção devido à sua incapacidade de suportar as cargas a que estão sujeitas, ao efeito das chuvas e não menos importante das altas temperaturas a que estão sujeitos.

No subcapítulo que se segue, apresenta-se uma pequena análise dos custos destas três casos, considerados mais atraentes do ponto de vista estrutural.

3.4. Análise de custos das propostas de pavimentação

3.4.1. Enquadramento

Ao longo deste subcapítulo pretende-se avaliar os custos associados a cada tipo de solução validada em dimensionamento e considerada exequível no que diz respeito à facilidade de execução. Pretende-se ainda comparar com as soluções hoje usadas em Cabo Verde, as quais são muito influenciadas pela tecnologia Portuguesa.

3.4.2. Avaliação de custos

A análise de custos feita neste trabalho será baseada em custos estabelecidos para a tecnologia Portuguesa uma vez que não houve possibilidade de recolher custos reais para as mesmas atividades em Cabo Verde. Como se trata de comparar soluções pensa-se que a abordagem representa uma boa aproximação, ainda que para Cabo Verde se deveriam considerar custos adicionais para materiais importados, nomeadamente betume asfáltico.

Consideraram-se para a análise os valores indicativos de custos mostrado no Quadro 3.22.

Quadro 3. 22: Tabela de preços de materiais para pavimentação empregue em Portugal

Material	Unidade de medição	Custo
Camada solo selecionado	€/m ² /15cm	1,80€/m ² /15cm
Camada granular (ABGE)	€/m ² /20cm	4,00€/m ² /20cm
Camada Granular (ABGE) aglutinada com cimento	€/m ² /20cm	4,80€/m ² /20cm
revestimento superficial duplo	€/m ²	2,5€/m ²
BB (Betão betuminoso)	€/m ² /cm	1€/m ² /cm de espessura

Para a solução proposta para o Caso 1, constituída por 15m de camada de solo selecionado, 30cm de solo-cimento, divididas em duas camadas de 15cm cada e camada dupla de revestimento superficial, os custos associados encontram-se no Quadro 3.23.

Quadro 3. 23: Custo associado ao caso 1

Material	Espessura (cm)	Unidade de medição	Custo unitário	Custo Total (€/m ²)	Custo Total (Escudos/m ²)
revestimento superficial duplo	-	€/m ²	2,5€/m ² x 2	5€/m ²	550
Camada Granular (ABGE) aglutinada com cimento	15	€/m ² /20cm	4,80€/m ² /20cm	3,6€/m ²	396
Camada Granular (ABGE) aglutinada com cimento	15	€/m ² /20cm	4,80€/m ² /20cm	3,6€/m ²	396
Camada de solo selecionado	15	€/m ² /15cm	1,80€/m ² /20cm	1,8€/m ²	198
Total	45	-	-	14,0 €/m ²	1540

Para esta solução pode-se observar que o custo do pavimento por m² de construção encontra-se à volta de 14,0 €/m². Em termos de moeda Cabo-verdiana corresponde a cerca de 1540 escudos por m² de pavimento construído.

A figura 3.12 apresentada abaixo indica a percentagem de material utilizado em termos de custo associado para a solução proposta. Pode-se verificar que 33% do valor total desta proposta é devido ao revestimento superficial, 47% devido às camadas aglutinadas com cimento e 20% devido ao solo seleccionado, ou seja, a camada de solo cimento acarreta maiores custos para esta solução.

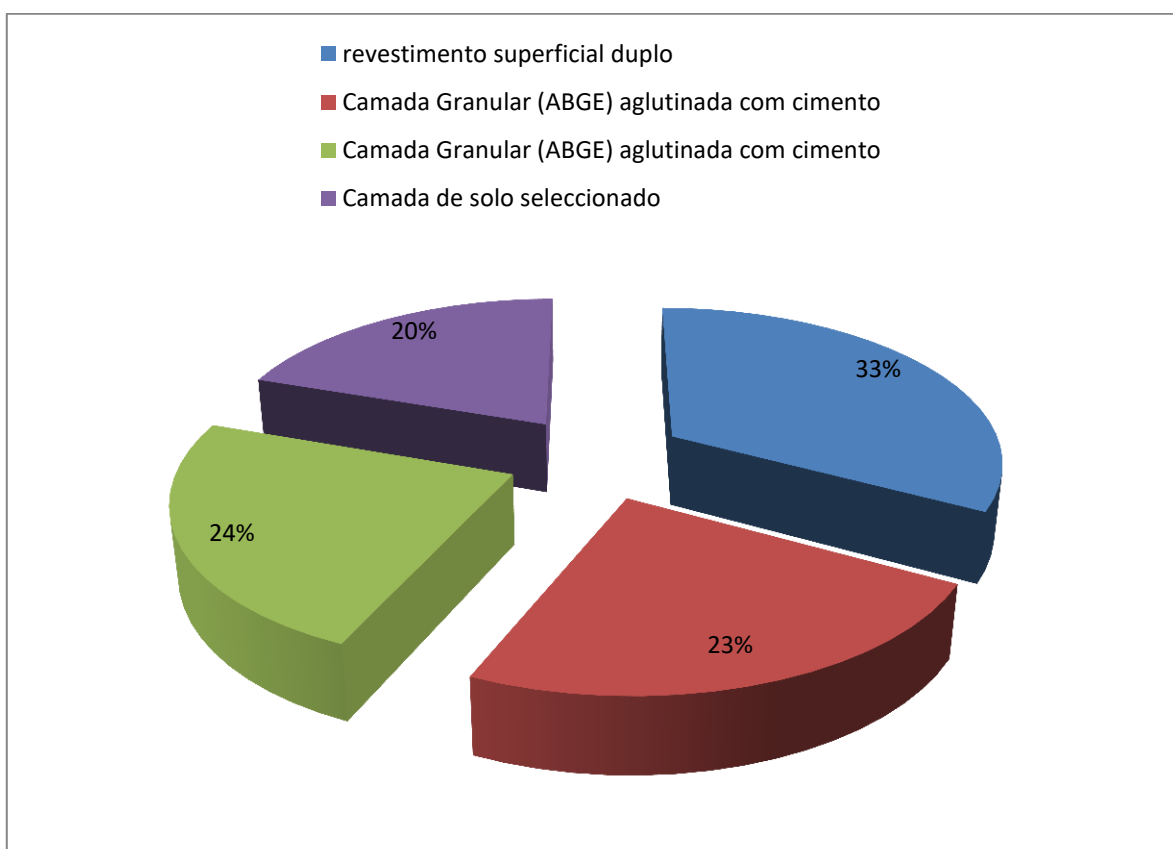


Figura 3. 12: Percentagem de custo associado a cada camada- caso 1

De seguida apresenta-se no quadro 3.24 a proposta para o caso 2. Esta é constituída como se pode ver pelo quadro, por revestimento superficial duplo, camadas granulares, camadas de solo-cimento e solo seleccionado.

Quadro 3. 24: Custo associado ao caso 2

Material	Espessura (cm)	Unidade de medição	Custo unitário	Custo Total (€/m ²)	Custo Total (Escudos/m ²)
revestimento superficial duplo	-	€/m ²	2,5€/m ² x 2	5€/m ²	550
Camada Granular (ABGE)	15	€/m ² /20cm	4,00€/m ² /20cm	3€/m ²	330
Camada Granular (ABGE) aglutinada com cimento	25	€/m ² /20cm	4,80€/m ² /20cm	5€/m ²	550
Camada de solo selecionado	15	€/m ² /15cm	1,80€/m ² /20cm	1,8€/m ²	198
Total	55	-	-	14,8€/m²	1628

Como se pode verificar pelo quadro 3.24, a segunda solução proposta apresenta um custo total por m² de 14,8€, equivalente a 1628 escudos de moeda Cabo-verdiana. Como se pode observar, houve um aumento do custo da solução relativamente à solução anterior. Em termos quantitativos é possível verificar que não houve grande variação em termos da camada de solo selecionado, sendo a camada granular de 25cm de espessura a responsável pelo aumento de custo desta solução em apenas 5%.

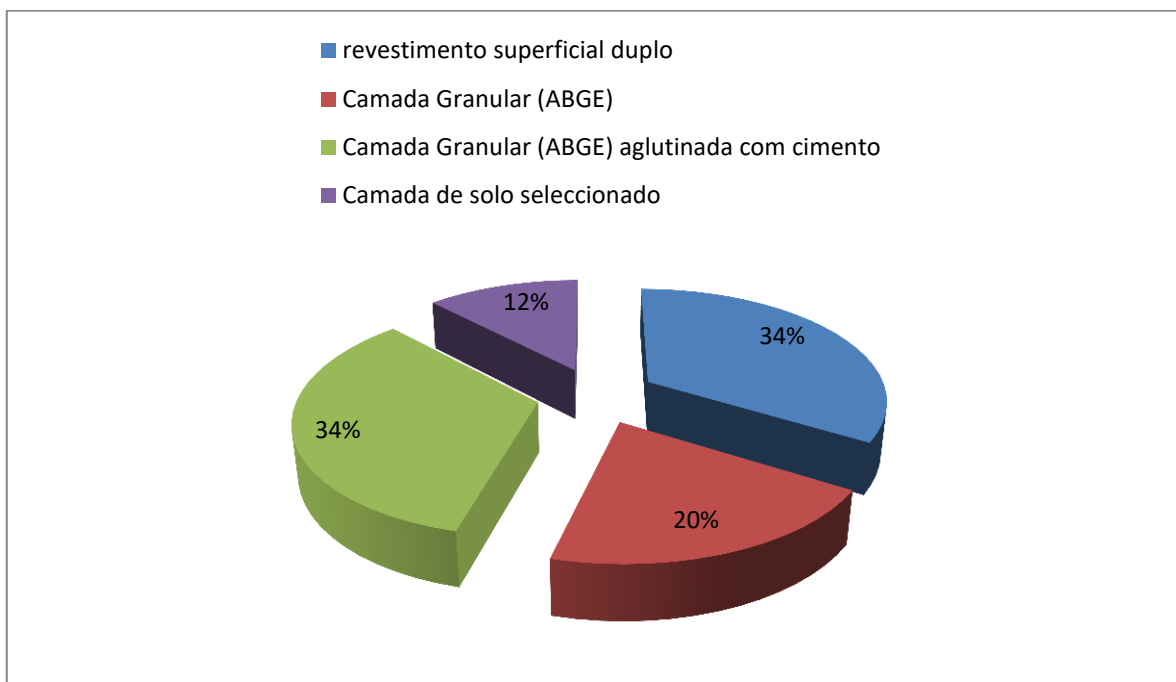


Figura 3. 13: Percentagem de custo associado a cada camada - caso 2

Pela figura 3.13 é possível concluir que em termos de custos, as camadas de solo aglutinado com cimento e o revestimento superficial apresentam uma maior percentagem face ao total do custo da solução.

Para o caso 3, segue-se no quadro 3.25 a proposta de custos associada a mesma. Pode-se observar pelo referido quadro que o custo associado a esta solução estrutural é de 19€/m², correspondente a 2090 escudos da meda cabo-verdiana.

Quadro 3. 25: Custo associado ao caso 3

Material	Espessura (cm)	Unidade de medição	Custo unitário	Custo Total (€/m ²)	Custo Total (Escudos/m ²)
betão betuminoso	13	€/m ²	1€/m ² /cm de espessura	13€/m ²	1430
Camada Granular (ABGE)	20	€/m ² /20cm	4,00€/m ² /20cm	3€/m ²	330
Camada Granular (ABGE)	20	€/m ² /20cm	4,00€/m ² /20cm	3€/m ²	330
Total	53	-	-	19€/m ²	2090

Face às propostas anteriores é possível concluir um aumento considerável de custos associado à implementação desta solução, o que era expectável, considerando a espessura da camada de betão betuminoso para esta solução. É possível perceber que as camadas granulares apresentam valores baixos de custos quando comparadas com a camada de betão betuminoso. Pela figura 3.14 é também possível observar que 68% do custo desta solução provém, como dito anteriormente, da camada de betão betuminoso.

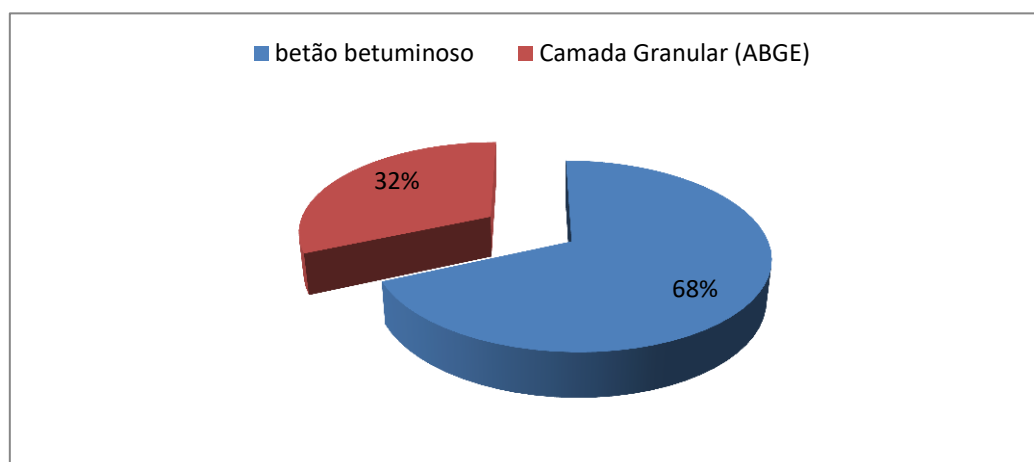


Figura 3. 14: Percentagem de custo associado ao caso 3

3.4.3. Conclusão acerca da análise financeira das 3 soluções estruturais propostas

Concluindo esta análise, é possível observar pela figura 3.15, que à medida que se avançou nas propostas de solução estrutural para os pavimentos a implementar em Cabo Verde, o custo referente às soluções propostas foram aumentando consideravelmente. O valor da terceira proposta aumentou 20% do valor da primeira proposta. Este aumento deve-se não ao aumento das espessuras das camadas de solo-cimento, o que seria uma conclusão expectável, mas sim devido à incorporação de camadas granulares e da camada de betão betuminoso na última proposta.

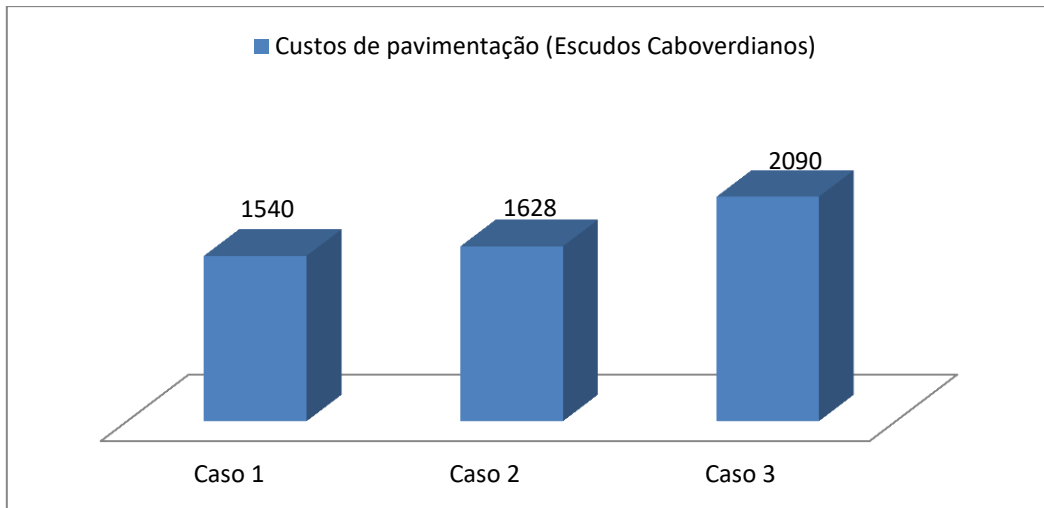


Figura 3. 15: Custos totais por m² de cada caso [ECV]

Para além desta conclusão, é possível também perceber que as soluções não melhoram a nível de funcionalidade à medida que se sofrem aumentos das camadas e nem incorporação dos materiais granulares. As estruturas de camada aglutinadas com cimento apresentaram melhores respostas quanto aos danos a que estão sujeitos. Com isto é possível concluir que camadas de solos estabilizados com cimento apresentam boas características físicas, mecânicas e económicas quando comparadas com o caso 3, onde se consideram grandes espessuras de camada de BB, sendo por isso soluções promissoras para estradas futuras de Cabo Verde.

4. Conclusões e trabalhos futuros

4.1. Conclusões gerais

Este trabalho constitui uma contribuição para o desenvolvimento de novas tecnologias de pavimentação em Cabo Verde. Existem diversas tecnologias para a conceção de pavimentos rodoviários. Neste trabalho, optou-se por avaliar o comportamento das estruturas de pavimentos flexíveis e suas variantes a nível de materialização, para uma posterior avaliação das suas vantagens e desvantagens a nível de custos e qualidade.

No essencial, usou-se o catálogo SATCC para estabelecer 3 estruturas de pavimentação que era possível aplicar para as condições específicas de Cabo Verde, desde uma mais tradicional (tipo “BB”, descrita no capítulo 2) até às poucas usuais no país, como as constituídas por camadas de solo estabilizado com cimento com revestimento superficial como camada de desgaste (para além da mesma camada de desgaste, avaliou-se uma solução composta por base e sub-base estabilizada com cimento e outra com sub-base estabilizada com cimento e base granular, tipicamente uma estrutura semirígida inversa). A análise do desempenho de cada uma destas estruturas estabelecida com o SATCC foi efetuada por uma avaliação estrutural mais convencional com recurso ao programa de cálculo Bisar 3.0, sendo possível avaliar o comportamento das estruturas a nível de danos à fadiga e à deformação permanente. Para estruturas constituídas por camadas de solo estabilizados com cimento, recorreu-se ao método da AUSTROADS para a análise à fadiga, e para estruturas sem aglutinação de cimento, constituídas por revestimentos superficiais e camadas de betão betuminoso recorreu-se ao método da SHELL.

Os resultados obtidos e a análise comparativa entre as estruturas de pavimento consideradas, permitiram concluir que as soluções de solo estabilizado têm potencial para substituir o pavimento mais tradicional, tipo “BB”. Pôde-se observar que, para além de apresentarem comportamentos estruturais sólidos, as soluções de solo estabilizado com cimento com camada de desgaste em revestimento superficial acarretam menores custos, nas condições definidas, para resolver o suporte do tráfego identificado como crítico.

No entanto, é preciso reforçar o facto das tecnologias para produção de solos estabilizados dependerem muito do tipo de solo disponível. Como tal, é necessária uma validação mais consistente, nomeadamente sobre o comportamento destas com os materiais efetivamente disponíveis e também no que respeita ao desenvolvimento de patologias que podem não ser compatíveis com o serviço requerido por determinados itinerários.

4.2. Trabalhos futuros

Este trabalho constitui apenas um contributo para um melhor conhecimento acerca dos pavimentos rodoviários em Cabo Verde e as tecnologias que podem ser utilizadas para a sua efetivação. O facto dos

resultados obtidos terem sido promissores e tendo em conta os benefícios associados a este tipo de solução, é espectável que num futuro não muito distante seja considerada a sua utilização no país. Não obstante o facto de serem positivas as perspetivas futuras, será necessário, como em qualquer tecnologia pouco usada, continuar com trabalhos de investigação de modo a aprofundar os conhecimentos, nomeadamente através da execução e seguimento do comportamento duma secção da rede nacional, de forma a poder efetivamente avaliar a aplicabilidade destas soluções e de eventualmente outras que também tenham potencial de poderem ser usadas a custos mais baixos.

4.3.Considerações finais

Os conhecimentos adquiridos no estudo efetuado e os resultados alcançados permitem concluir que os principais objetivos deste trabalho foram alcançados. Este estudo permitiu evidenciar as qualidades das soluções propostas de integração de novas tecnologias de pavimentação em Cabo Verde e as vantagens da sua utilização, recorrendo a análises de soluções de solos estabilizados com cimentos e à crescente literatura existente sobre o assunto. Finalizando, crê-se que o trabalho desenvolvido poderá contribuir para a implementação e para a utilização desta nova solução em Cabo Verde.

5. Referências bibliográficas

CEBPT, LCPC 1955. “ Manuel pour le renforcement des chaussées souples en pays tropicaux

CEBPT, 1994. “ Guide pratique de dimensionnement des chaussés pour les pays tropicaux

Antunes, M. L.; Baptista, F.; Fontul, S.; Domingos, P., 2006. “Conservação e reabilitação de pavimentos rodoviários”. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

Branco, F.; Pereira, P.; Picado-Santos, L., 2011. “Pavimentos Rodoviários”. Edições Almedina, 4ª Reimpressão

Austroroads, Guide to Pavement Technology

Fernandes, F.; Sousa J, F.; Fernandes, A. “Os Efeitos das Infra-estruturas Rodoviárias no Ordenamento e Desenvolvimento do Território: o caso da Ilha de Santiago, Cabo Verde”. Instituto de Dinâmica do Espaço.

Cecilia M. Briceño-Garmendia e Daniel Alberto Benitez., 2010. “ Infraestruturas em Cabo Verde: Uma perspetiva Continental

Picado-Santos, L.; Branco, F.; Capitão, S., 2000. “Vias de Comunicação, Volume 1 e 2”. Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra.

Jorge, L. C. D. L., 2014. “Constituição, dimensionamento e conservação de pavimentos para baixos volumes de tráfego”. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Santos, S. B. D., 2015. “Dimensionamento de pavimentos em África e América Latina”. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto

Dias, I. M., 2007. “Estudo de solos tropicais para uso em pavimentos a partir de ensaios triaxiais estáticos”. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos

Oliveira, R. F. V., 2011. “Análise de dois solos modificados com cimento para dimensionamento d pavimentos”. Dissertação de Mestrado, Escolas de Minas, UFOP

Cepasa Betumes, 2007. “Manual de Pavimentação”. 2ª Edição Disponível em www.cepsa.com. [Ficheiro obtido a 30 de Outubro de 2015]

Moreira, E. D., 2010. Desempenho de dois trechos de solo emulsão em vias de baixo volume de tráfego”.
Dissertação de Mestrado, Escola de Minas, UFOP

EP, 2012. “Caderno de Encargos Tipo Obra- 14.03 – Pavimentação: Características dos materiais”. Estradas de Portugal, S.A.

Neves, J. M. C., 2009. “Módulo B - Pavimentação”. Construção e Manutenção de Infraestruturas de Transportes, Folhas da disciplina, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

Shell International Petroleum Company, I., Shell pavement design manual : asphalt pavements and overlays for road traffic. 1978: London : Shell International Petroleum.

Antunes, M., Modelação do comportamento de pavimentos rodoviários flexíveis. LNEC, Programa de Investigação e Programa de Pós-Graduação, Lisboa, 2005.

Diretivas para a concepção de pavimentos, Critérios de dimensionamento, INIR (Instituto de InfraEstruturas Rodoviárias)

Introdução aos Métodos de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis; Manual de Técnicas Pavimentação W.de Senço – Manual de Pavimentação DNIT

Neves, J. M. C., 2010. “Aula T7 – Pavimentos”. Construção e Manutenção de Infraestruturas de Transportes, Slides da disciplina, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

Santos. L. P., IST 2014. Curso de Formação avançada em Concepção e Conservação de Pavimentos Rodoviários

Segurança rodoviária- Projeto FEUP - Universidade do Porto-
http://paginas.fe.up.pt/~projfeup/submit_13_14/uploads/relat_11MC02_2.pdf

Anexos

Anexo I - Localização de postos de contagem de tráfego nas ilhas de Cabo Verde

As figuras apresentadas neste anexo identificam os pontos de contagem de tráfego analisadas em cada uma das ilhas estudadas no capítulo 2 e 3.



Figura II. 1: Localização de postos de contagem de tráfego em Santiago



Figura II. 2: Localização de postos de contagem de tráfego em São Nicolau



Figura II. 3: Localização de postos de contagem de tráfego em São Vicente



Figura II. 4: Localização de postos de contagem de tráfego na ilha do Sal

- → Postos solicitados pelo Banco Mundial
- → Postos diversos, solicitados pelo MCA/MCC

**Anexo II – Soluções estruturais de pavimentação propostas e suas
variadas tentativas**

Caso 1 Estrutura Flexível/Semi-rígido)

Apresentam-se nas figuras III.1 A III.5 as tentativas propostas para a análise pelo software Bisar 3.0.

1ª Tentativa	SD	Revestimento superficial duplo	E(Mpa)
	20 SC	Solo-cimento	2000
	20 SC	Solo-cimento	2000
	12,5 SS	Solo seleccionado	99
		Fundação	55

Figura III. 1: 1ª tentativa do caso 1

2ª Tentativa	SD	Revestimento superficial duplo	E(Mpa)
	15 SC	Solo-cimento	2000
	15 SC	Solo-cimento	2000
	15 SS	Solo seleccionado	105
		Fundação	55

Figura III. 2: 2ª tentativa do caso 1

3ª Tentativa	SD	Revestimento superficial duplo	E(Mpa)
	15 SC	Solo-cimento	2000
	15 SC	Solo-cimento	2000
		Fundação	55

Figura III. 3: 3ª tentativa do caso 1

4ª Tentativa	SD	Revestimento superficial duplo	E(Mpa)
	25 SC	Solo-cimento	2000
	15 SS	Solo seleccionado	105
		Fundação	55

Figura III. 4: 4ª tentativa do caso 1

5ª Tentativa	SD	Revestimento superficial duplo	E(Mpa)
	15 SC	Solo-cimento	2500
	15 SC	Solo-cimento	2500
	15 SS	Solo seleccionado	105
	Fundação	55	

Figura III. 5: 5ª tentativa do caso 1

Caso 2 (Estrutura Flexível/Semi-rígido inverso)

Apresentam-se nas figuras III.6 a III.9 as tentativas propostas para a análise pelo software Bisar 3.0.

1ª Tentativa	SD	Revestimento superficial duplo	E(Mpa)
	15 ABGE	ABGE	500
	22,5 SC	Solo-cimento	2000
	15 SS	Solo seleccionado	105
	Fundação	55	

Figura III. 6: 1ª tentativa do caso 2

2ª Tentativa	SD	Revestimento superficial duplo	E(Mpa)		
	15 ABGE			ABGE	500
	25 SC			Solo-cimento	2000
	15 SS			Solo seleccionado	105
				Fundação	55

Figura III. 7: 2ª tentativa do caso 2

3ª Tentativa	SD	Revestimento superficial duplo	E(Mpa)		
	15 ABGE			ABGE	500
	15 SC			Solo-cimento	2000
	15 SC			Solo-cimento	2000
	15 SS			Solo seleccionado	105
	Fundação	55			

Figura III. 8: 3ª tentativa do caso 2

4ª Tentativa	SD	Revestimento superficial duplo	E(Mpa)		
	15 ABGE			ABGE	500
	20 SC			Solo-cimento	2500
	15 SS			Solo seleccionado	105
				Fundação	55

Figura III. 9: 4ª tentativa do caso 2

Caso 3 (Estrutura Flexível)

1ª Tentativa	5 BB	Betão betuminoso	E(Mpa)
	20 ABGE	ABGE	2413
	30 ABGE	ABGE	311
		Fundação	143
			55

Figura III. 10: 1ª tentativa do caso 3

2ª Tentativa	5 BB	Betão betuminoso	E(Mpa)
	20 ABGE	ABGE	2413
	20 ABGE	ABGE	259
		Fundação	119
			55

Figura III. 11: 2ª tentativa do caso 3

3ª Tentativa	10 BB	Betão betuminoso	E(Mpa)
	20 ABGE	ABGE	2413
	20 ABGE	ABGE	259
		Fundação	119
			55

Figura III. 12: 3ª tentativa do caso 3

4ª Tentativa	13 BB	Betão betuminoso	E(Mpa)
	20 ABGE	ABGE	2413
	20 ABGE	ABGE	259
		Fundação	119
			55

Figura III. 13: 4ª tentativa do caso 3

5ª Tentativa	13 BB	Betão betuminoso	E(Mpa)
	20 ABGE	ABGE	2413
	20 ABGE	ABGE	259
		Fundação	119
			55

Figura III. 14: 5ª tentativa do caso 3

6ª Tentativa	13 BB	Betão betuminoso	E(Mpa)
	20 ABGE	ABGE	2413
	30 ABGE	ABGE	311
		Fundação	143
			55

Figura III. 15: 6ª tentativa do caso 3

Como título de exemplo apresenta-se para a primeira tentativa do segundo caso em estudo, que se encontra na figura III.6, os passos dados para se chegar aos resultados obtidos de deformação permanente e à fadiga pelo software Bisar 3.0, indicadas no quadro 3.18 e 3.19.

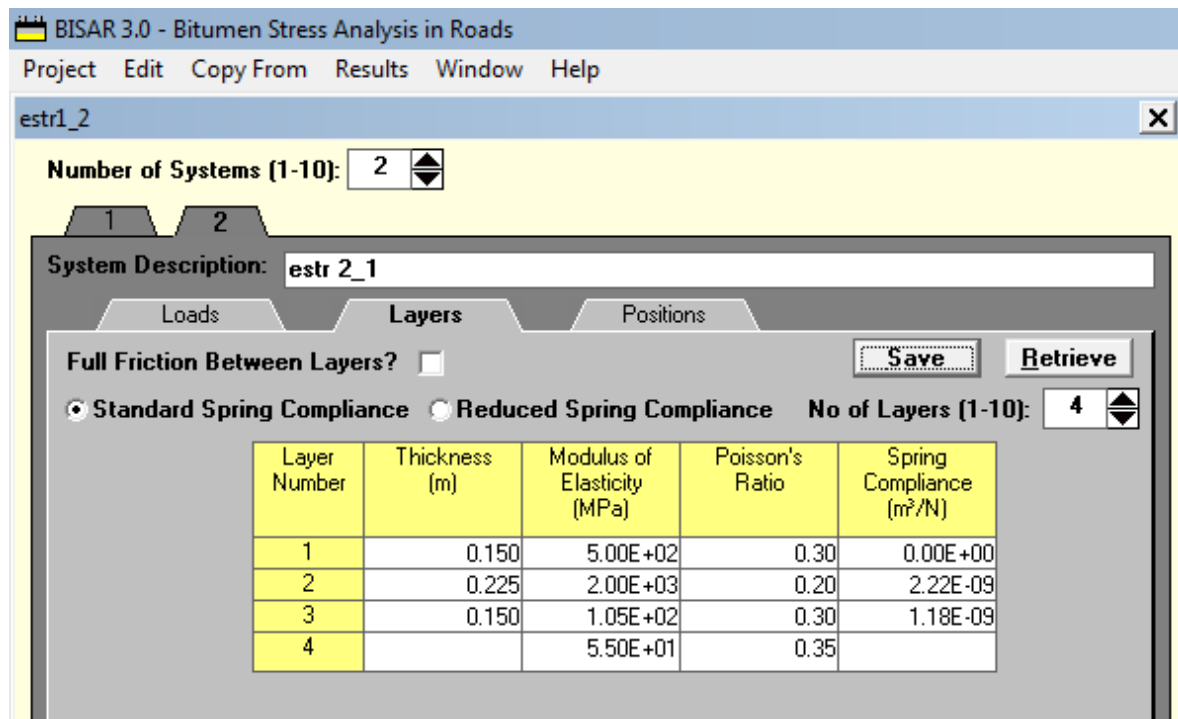


Figura III. 16: Definição das características dos materiais para a primeira tentativa do caso 2

Definiu-se no programa Bisar o número de camadas da solução proposta assim como as suas características mecânicas (módulo de deformabilidade e coeficiente de poisson), (figura III.7). Uma

vez que estamos na presença de estruturas com solo estabilizado com cimento tem que se levar em conta o atrito existente entre as camadas granulares e as camadas de solocimento, representadas acima na figura III.7 na última coluna.

Na Figura III.8 é possível observar uma imagem do programa de cálculo BISAR, onde foram introduzidas as cargas verticais que cada roda transmite à estrutura do pavimento, indicando também o seu raio e as posições no plano onde cada carga vertical transmite os esforços para ao pavimento.

Quanto às cargas horizontais correspondentes à reação necessária para o movimento do veículo e às reações que ocorrem durante as frenagens, esta foi desprezada.

System Description: **betume 40/50 - 20km/h**

Use Standard Dual Wheel?

Mode of Load: **2 - Load and Radius**

No of Circular Loads (1-10): **2**

Load Number	Vertical Load (kN)	Radius (m)	X Coordinate (m)	Y Coordinate (m)	Horizontal Load (kN)	Shear Direction (degr.)
1	20,000	0,1050	0,0000	-0,1575	0,000	0,0
2	20,000	0,1050	0,0000	0,1575	0,000	0,0

Figura III. 17: Introdução de dados referentes à solicitação de tráfego no programa Bisar

Na Figura III.9 está indicado um exemplo da localização dos pontos de interesse para a determinação das extensões máximas vertical e horizontal, para uma estrutura considerada.

Uma vez que, na verificação do pré- dimensionamento destes pavimentos, aplicam-se os critérios de ruína propostos pela AUSTROADS, então é necessário determinar as extensões horizontais de tração na parte inferior das camadas betuminosas e também dos solos estabilizados com cimento e as extensões verticais de compressão no topo do solo de fundação.

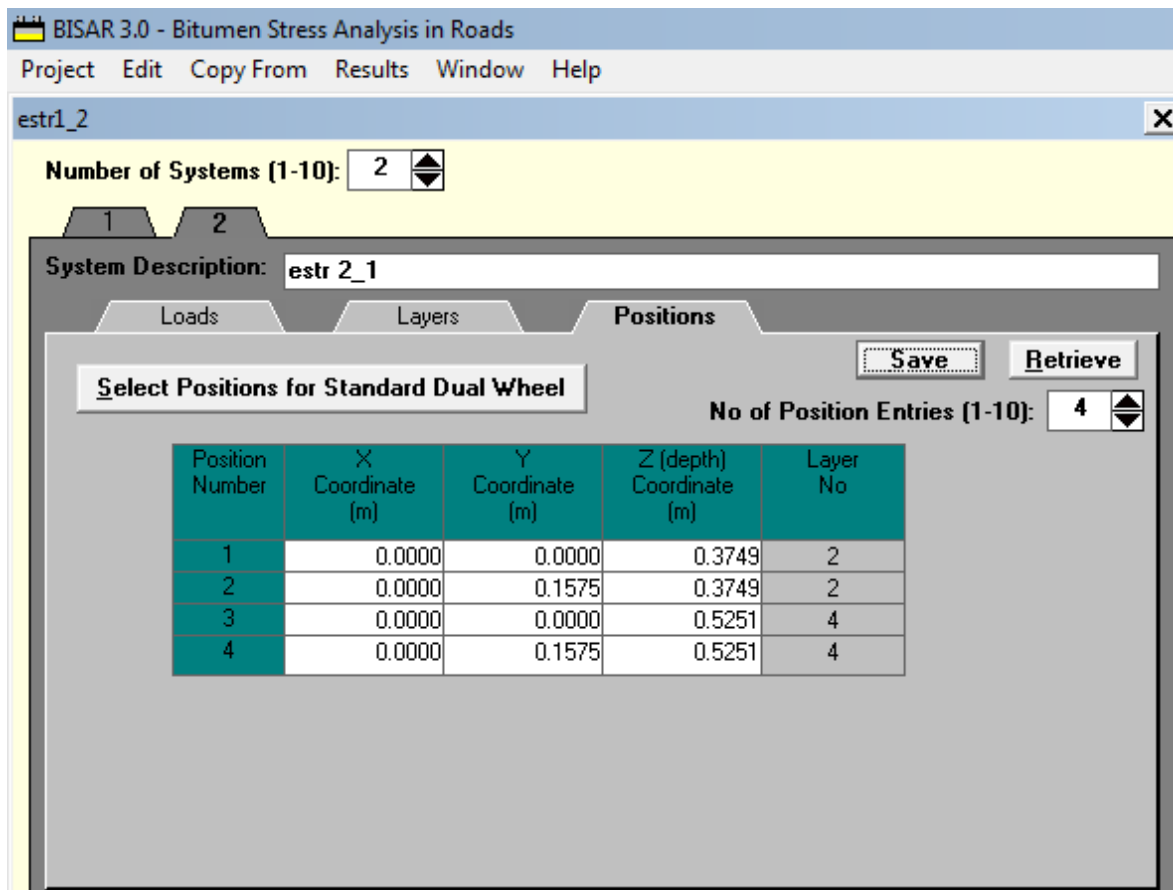


Figura III. 18: Definição das coordenadas dos pontos a avaliar para a estrutura da 1ª tentativa do segundo caso