

**CENTRO UNIVERSITÁRIO BRASILEIRO - UNIBRA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ACÁCIO DONATO DE SOUZA AGUIAR
JETTERSON LUIZ CRUZ DOS SANTOS
JHONAT WILLYAM SANTOS DA SILVA
JOYCE KELLY CABRAL DOS SANTOS
LEONY LUÍS FEITOSA DE SOUZA**

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL PELO MÉTODO MEDINA:
estudo de caso na Rodovia PE-001 no município de Itamaracá-PE**

**RECIFE
2022**

**ACÁCIO DONATO DE SOUZA AGUIAR
JETTERSON LUIZ CRUZ DOS SANTOS
JHONAT WILLYAM SANTOS DA SILVA
JOYCE KELLY CABRAL DOS SANTOS
LEONY LUÍS FEITOSA DE SOUZA**

**DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL PELO MÉTODO MEDINA:
estudo de caso na Rodovia PE-001 no município de Itamaracá-PE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Disciplina TCC II do Curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA, como parte dos requisitos para conclusão do curso.

Orientador(a): Prof. Me. Frederico José Barros Santos.

RECIFE
2022

Ficha catalográfica elaborada pela
bibliotecária: Dayane Apolinário, CRB4- 1745.

D582 Dimensionamento de pavimento flexível pelo método medina: estudo de caso na Rodovia PE-001 no município de Itamaracá-PE / Acácio Donato de Souza Aguiar [et al]. Recife: O Autor, 2022.
39 p.

Orientador(a): Me. Frederico José Barros Santos.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Centro Universitário Brasileiro – UNIBRA. Bacharelado em Engenharia Civil, 2022.

Inclui Referências.

1. Pavimento flexível. 2. Dimensionamento de pavimento. 3. Método MeDiNa. I. Santos, Jetterson Luiz Cruz dos. II. Silva, Jhonat Willyam Santos da. III. Santos, Joyce Kelly Cabral dos. IV. Souza, Leony Luís Feitosa de. V. Centro Universitário Brasileiro - UNIBRA. VI. Título.

CDU: 624

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitários, agradeço, pelo que conquistei até agora, mas peço a Ele para me dar sabedoria para conquistar muito mais.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO

O pavimento de uma rodovia trata-se da superestrutura constituída por um sistema de camadas finitas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são postos em contato, ocasionando um elevado grau de complexidade quando referindo-se ao cálculo de tensões e deformações, e atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego, podendo ser classificado como flexível, semi-rígido e rígido. Sendo o pavimento flexível e seu dimensionamento o objeto de estudo desse artigo, pode-se notar que possuem diversos problemas estruturais após certo tempo de uso em diversas rodovias brasileiras, causados por falta de manutenção ou uma baixa capacidade de suporte do solo, por exemplo. Tendo observado isso foram desenvolvidos métodos de dimensionamento de pavimento para mitigar ao máximo os defeitos, visando proporcionar pavimentos com um padrão elevado de qualidade dentro ou além da vida útil de projeto, sendo eles o método do antigo DNER e o novo método MeDiNa.

O presente artigo tem o objetivo de apresentar os defeitos presentes, a metodologia de restauração e a solução proposta por meio da utilização do método MeDiNa, através de parâmetros teóricos e estudo de caso de uma rodovia localizada na cidade de Itamaracá – PE. A pesquisa foi baseada em estudos de campo, análises de ensaios de laboratórios, dados de tráfego e critérios de restauração de pavimentos flexíveis. Não havendo sinais de manutenções no local, foram encontrados diversos defeitos, como: sulcos erosivos, sistema de drenagem superficial ineficiente, erosões causadoras de acúmulo de água, revestimento com bastante defeitos destacando as quantidades de painéis e remendos. Dessa forma, concluiu-se que o pavimento existente necessitava de uma nova solução a modo de proporcionar conforto ao usuário e atender às solicitações do tráfego da área.

Palavras-chave: Pavimento flexível; Dimensionamento de pavimento; Método MeDiNa.

ABSTRACT

The pavement of a highway is the superstructure constituted by a system of finite layers in which materials of different resistances and deformities are put in contact, causing a high degree of complexity when referring to the calculation of stresses and deformations, and acting in the resulting from the loads imposed by traffic, and can be classified as flexible semi-rigid and rigid. Since flexible pavement and its dimensioning are the object of study in this article, it can be noted that they have several structural problems after a certain time of use on several Brazilian highways, caused by lack of maintenance or a low support capacity of the soil, for example. Having observed this, pavement design methods were developed to mitigate the defects as much as possible, aiming to provide pavements with a high standard of quality within or beyond the design lifetime, namely the old DNER method and the new MeDiNa method.

This article aims to present the present defects, the restoration methodology and the proposed solution through the use of the MeDiNa method, through theoretical parameters and case study of a highway located in the city of Itamaracá - PE. The research was based on field studies, analysis of laboratory tests, traffic data and flexible pavement restoration criteria. With no signs of maintenance at the site, several defects were found, such as: erosive grooves, inefficient surface drainage system, erosions causing water accumulation, coating with a lot of defects, highlighting the number of pots and patches. Thus, it was concluded that the existing pavement needed a new solution in order to provide comfort to the user and meet the requests of the traffic in the area.

Key words: Flexible flooring; Floor sizing; MeDiNa method.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1	Método do DNIT.....	10
2.2	Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa)	11
3	METODOLOGIA	13
3.1	Obtenção de dados.....	13
3.2	Avaliação estrutural do pavimento.....	14
3.3	Caracterização dos defeitos encontrados no pavimento da rodovia PE-001 no município de Itamaracá-PE	15
3.4	Crítérios utilizados para o dimensionamento do pavimento novo	18
3.5	Dados utilizados para o dimensionamento.....	18
3.5.1	<i>Número N</i>	18
3.5.2	<i>Suporte do Subleito</i>	19
3.5.3	<i>Classificação do Solo (TRB)</i>	20
3.6	Dimensionamento do Pavimento.....	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1	Dimensionamento do Pavimento.....	23
4.2	Retroanálise	28
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
	REFERÊNCIAS	31
	ANEXOS	32
	ANEXO A – SEÇÕES DO PAVIMENTO EXISTENTE	33
	ANEXO B – SEÇÕES DO PAVIMENTO PROJETADO	34
	ANEXO C – SEÇÃO EM PAVER PROJETADA	39
	ANEXO D – SEÇÃO DAS ENTRADAS PROJETADA	39

DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO FLEXÍVEL PELO MÉTODO MEDINA: estudo de caso na Rodovia PE-001 no município de Itamaracá-PE

Acácio Donato de Souza Aguiar
Jetterson Luiz Cruz dos Santos
Jhonat Willyam Santos da Silva
Joyce Kelly Cabral dos Santos
Leony Luís Feitosa de Souza
Frederico José Barros Santos.¹

Resumo: O pavimento de uma rodovia trata-se da superestrutura constituída por um sistema de camadas finitas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são postos em contato, ocasionando um elevado grau de complexidade quando referindo-se ao cálculo de tensões e deformações, e atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego, podendo ser classificado como flexível, semi-rígido e rígido. Sendo o pavimento flexível e seu dimensionamento o objeto de estudo desse artigo, pode-se notar que possuem diversos problemas estruturais após certo tempo de uso em diversas rodovias brasileiras, causados por falta de manutenção ou uma baixa capacidade de suporte do solo, por exemplo. Tendo observado isso foram desenvolvidos métodos de dimensionamento de pavimento para mitigar ao máximo os defeitos, visando proporcionar pavimentos com um padrão elevado de qualidade dentro ou além da vida útil de projeto, sendo eles o método de dimensionamento do antigo DNER e o novo método de dimensionamento MeDiNa. O presente artigo tem o objetivo de apresentar os defeitos presentes, a metodologia de restauração e a solução proposta por meio da utilização do método MeDiNa, através de parâmetros teóricos e estudo de caso de uma rodovia localizada na cidade de Itamaracá – PE. A pesquisa foi baseada em estudos de campo, análises de ensaios de laboratórios, dados de tráfego e critérios de restauração de pavimentos flexíveis. Não havendo sinais de manutenções no local, foram encontrados diversos defeitos, como: sulcos erosivos, sistema de drenagem superficial ineficiente, erosões causadoras de acúmulo de água, revestimento com bastante defeitos destacando as quantidades de painéis e remendos. Dessa forma, concluiu-se que o pavimento existente necessitava de uma nova solução a modo de proporcionar conforto ao usuário e atender às solicitações do tráfego da área.

Palavras-chave: Pavimento flexível; Dimensionamento de pavimento; Método MeDiNa.

1 INTRODUÇÃO

Com a demanda do transporte rodoviário aumentando progressivamente, pode-se observar que os defeitos nos pavimentos são um dos principais problemas rodoviários brasileiro, sendo um dos modais mais utilizados do país como tráfego de

¹ Professor da UNIBRA. Mestre em Engenharia Civil. E-mail:Frederico.barros@grupounibra.com

veículos, seja de carga ou meio de transporte, bem como o tráfego de pessoas nas vias. Tendo em vista o alto fluxo de transportes com variáveis cargas e a falta de manutenção podem surgir defeitos relacionados a infraestrutura de pavimentos flexíveis (LAUBE; BATISTA; LEITE, 2021).

O pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalentes entre as camadas. Um exemplo típico é o pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica (DNIT, 2006).

A execução de pavimentos em CBUQ (Cobertura Betuminosa Usinada à Quente) pode ser encontrada em todo o país e tendo sido observada várias precariedades na estrutura do pavimento foram surgindo algumas dúvidas relacionadas a sua eficiência ao longo de sua vida útil de projeto, tendo então sido observada a necessidade de se criar pesquisas para novos métodos de dimensionamento de pavimentos (LAUBE; BATISTA; LEITE, 2021).

Frente a esta situação, o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) vem atualizando seu sistema de dimensionamento de pavimentos flexíveis para operar com efetividade a gama de veículos existentes, visando maior durabilidade e resistência ao tráfego de veículos pesados.

O procedimento mais comum adotado pelo DNIT é baseado no ISC (Índice de Suporte Califórnia) ou CBR (California Bearing Ratio), este sistema é usado há muitos anos e apesar de ser eficiente atualmente já existe outro método que está ganhando terreno e oferecendo bons resultados por possuir características mais vantajosas quando falado de custo-benefício, por exemplo, denominado como método MeDiNa (Método de Dimensionamento Nacional) (LAUBE; BATISTA; LEITE, 2021).

Desta forma, o presente artigo tem como objetivo apresentar um estudo de caso do dimensionamento da restauração do pavimento pelo método MeDiNa de um trecho com extensão de 4,9km localizado na PE-001, entre a rótula do entroncamento com a PE-035 até o Forte Orange, no município de Itamaracá-PE.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão apresentadas algumas considerações a respeito do método adaptado pelo DNIT na década de 1960, apresentando as deficiências que

possibilitaram a abertura de um novo espaço para a discussão e criação de um novo método. Posteriormente será apresentada uma breve descrição do método MeDiNa.

2.1. Método do DNIT

Segundo Coutinho (2011), visto que os pavimentos utilizados na época não eram capazes de suportar as cargas provenientes dos aviões bombardeiros mais pesados foi discutida a ideia de um pavimento com propriedades mais resistentes. Segundo o autor, inicialmente foi pensada a utilização do revestimento de concreto, mas essa ideia logo foi descartada por dificuldades como, a de execução, obtenção de materiais necessário e o alto custo de construção.

Desta forma, tendo os Engenheiros do USACE (United States Army Corps of Engineers, em português: Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos) tomado conhecimento da situação, procuraram solucionar a questão aprimorando o método já existente, o CBR, por ser um método que podia ser adaptado para construções de aeródromos conforme o que era necessário na época, desenvolvido dentro de certa racionalidade científica, dentre outros motivos (COUTINHO, 2011).

O ensaio CBR ou ISC em português, foi criado a partir do estudo sobre as condições de rodovias estaduais no final da década de 1920, pela Divisão de Rodovias da Califórnia, com coordenação do engenheiro O. J. Porter. Foram observados os locais que apresentavam rupturas e estudados os possíveis fatores causadores, sendo possível notar que as principais causas eram por excesso de umidade no subleito, espessuras insuficientes na base, má compactação, e composição da base de forma que tinham pouca resistência a tensão cisalhante (PITANGUI, 2019).

Desta forma, tornou-se evidente a necessidade de utilização de um método que levasse em consideração as características que influenciam no desempenho estrutural, criando então o ensaio CBR – método que avalia a resistência do solo a penetração de um cilindro padronizado, comparando suas propriedades mecânicas com uma brita padrão (PITANGUI, 2019).

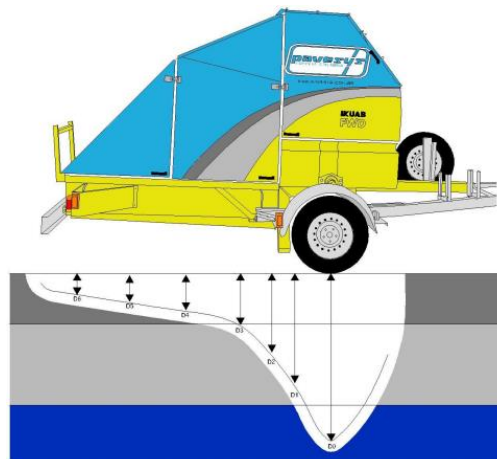
Portanto, a AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) que é a associação rodoviária dos Estados Unidos, em posse dos estudos e dados obtidos, pois em prática testes em pistas experimentais, possibilitando que o engenheiro Murilo Lopes de Souza adaptasse o método, em 1966, para ser utilizado no Brasil (SOUZA, 1981).

Ainda sobre a AASTHO, será possível observar o uso das classificações do solo TRB (Transportation Research Board, em português Conselho de Pesquisa de Transporte) disponibilizadas pelo DNIT (2006), classificação essa considerada de grande importância para o dimensionamento de pavimentos.

2.2. Método de Dimensionamento Nacional de Pavimentos (MeDiNa)

Segundo o Manual de Utilização do Programa MeDiNa (FRANCO; MOTTA, 2020), o software BackMeDiNa trata-se de um programa utilizado no auxílio da retroanálise de bacias deflectométricas obtidas através do equipamento FWD (Falling Weight Deflectometer) - deflectômetro de impacto projetado para simular o efeito da passagem da carga de um veículo nas condições de tráfego reais – desenvolvido para agregar nos programas BackMeDiNa e AEMC, conforme apresentado na Figura A e B.

Figura A – Ilustração esquemática da linha de influência - FWD



FONTE: Pavesys – Engenharia de Pavimentos (2014).

Figura B – Equipamento FWD



FONTE: Pavesys – Engenharia de Pavimentos (2014).

Ainda de acordo com Franco e Motta (2020), o método MeDiNa, é um programa que foi desenvolvido entre os anos 2015 e 2018, sua primeira versão foi publicada em 9 de outubro de 2018, sendo alvo de algumas atualizações, posteriormente. Cooperaram para o desenvolvimento do programa o Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE e com a colaboração do Centro de Pesquisa da Petrobrás – CENPES, bem como com a de diversas Universidades do Brasil, com o intuito de verificar e dimensionar estruturas de pavimentos asfálticos através da análise mecanístico-empírico.

A respeito das hipóteses fundamentais da solução computacional apresentadas no Manual de Utilização do Programa MeDiNa (FRANCO; MOTTA, 2020), tem-se como base os seguintes pontos:

- a) os materiais são elásticos lineares, isotrópicos e homogêneos;
- b) a lei de Hooke é válida e o módulo de compressão é semelhante ao módulo de tração;
- c) as camadas são ilimitadas na direção horizontal;
- d) todas as camadas possuem uma espessura finita, à exceção da camada inferior que é considerada semi-infinita;
- e) a superfície da camada superior não está sujeita a tensão fora da área carregada;
- f) a carga aplicada é considerada estática, uniformemente distribuída em toda a área circular de contato;
- g) a grandes profundidades as tensões e deformações são nulas;
- h) as condições de aderência na interface das camadas podem variar de totalmente aderida para lisa ou sem aderência.

Esta solução pode trazer alguns benefícios aos métodos que as utilizam, como a obtenção dos resultados de tensão, deformação e deslocamentos em qualquer ponto da estrutura não sendo necessário a divisão do meio contínuo em Elementos Finitos, e possui a vantagem de combinar carregamentos com mais de uma roda, através do princípio da superposição e da hipótese de elasticidade linear (FRANCO; MOTTA, 2020).

Ainda segundo Franco e Motta (2020), o Software conta com uma base de dados que contém materiais já ensaiados constituintes de publicações técnicas, sendo esses materiais impossibilitados de serem alterados, exceto a espessura e o tipo de

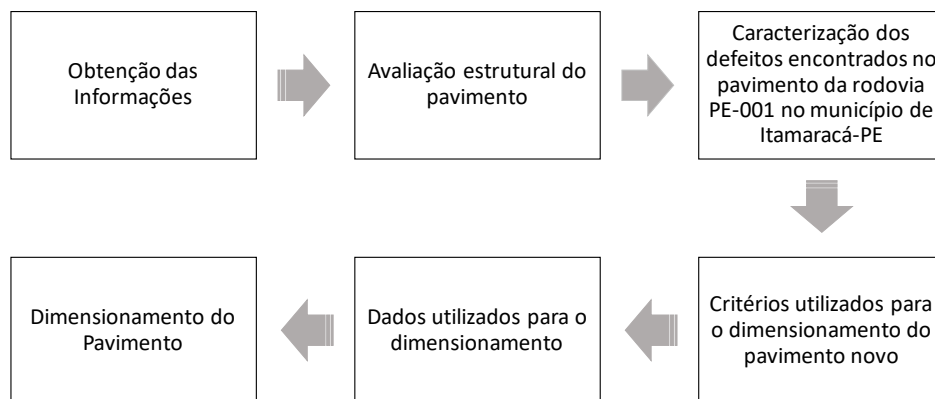
módulo (elástico, linear ou não linear) quando disponíveis. Sendo também, de extrema importância para o método a obtenção dos dados de tráfego dos postos da região onde será implantada/restaurada a rodovia.

3. METODOLOGIA

O presente artigo tem como objetivo demonstrar as características do pavimento existente na rodovia PE-001, no município de Itamaracá-PE, localizada entre a rótula do entroncamento com a PE-035 até o Forte Orange, e sua restauração. A partir das características do solo no trecho analisado, foi possível dimensionar a restauração da rodovia e pontuar as características das camadas que compõem o novo pavimento.

A pesquisa em questão baseou-se em estudos realizados na rodovia disponibilizados por uma Empresa de Engenharia Consultiva com ênfase em Projetos de Infraestrutura Viária atuante na região Nordeste. O fluxograma, abaixo, apresenta as etapas executadas na parte experimental do estudo, conforme descrito na Figura C.

Figura C – Fluxograma das etapas executadas na parte experimental da pesquisa



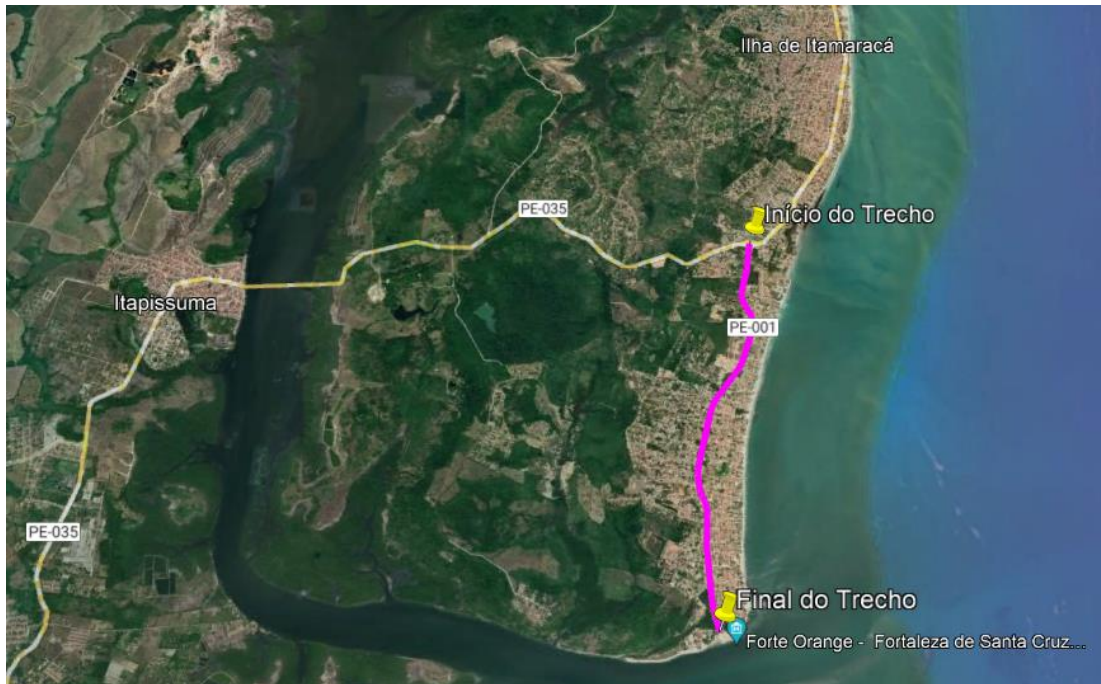
FONTE: Autores (2022).

3.1. Obtenção dos dados

Para construção do presente estudo foram analisadas as informações fornecidas pela Empresa de Engenharia Consultiva com ênfase em Projetos de Infraestrutura Viária durante a coleta de dados para a elaboração do projeto, sendo o trecho o segmento Forte Orange – Entroncamento PE-035 (Itamaracá), com extensão

de 4,9 km da rodovia PE-001 no município de Itamaracá-PE, conforme mostra a Figura D.

Figura D – Mapa de situação do trecho considerado no estudo de caso.



FONTE: Autores (2022).

A rodovia em questão apresenta plataforma composta de duas faixas de tráfego com largura de 3,00m e acostamentos de 1,00m incorporados às faixas de tráfego, totalizando um total de 8,00m. O pavimento apresenta a seguinte constituição estrutural: (a) revestimento em CBUQ, na pista e acostamentos, com espessuras variando entre 5,0cm e 8,0cm; (b) base de solo estabilizada granulometricamente, com espessuras variando entre 10,0cm e 20,0cm; (c) sub-base de solo estabilizada granulometricamente com espessuras variando entre 15,0cm e 28,0cm; e (d) subleito constituído de solo fino arenoso classificado como A.2.4, material que predomina na região, apresentando duas manchas de solos argilosos em dois furos de sondagem no início do trecho.

3.2. Avaliação Estrutural do Pavimento

A avaliação do comportamento estrutural de um pavimento consiste na determinação de características intrínsecas de materiais de camadas do pavimento e subleito que estejam relacionadas à capacidade de suporte e resistência da estrutura às ações do tráfego e variações climáticas durante sua vida útil.

As caracterizações dessas informações foram obtidas através de dois tipos de procedimentos de avaliação:

- Avaliação destrutiva: compreendendo abertura de poços de inspeção localizados na borda do pavimento e sobre o acostamento, com a finalidade de caracterizar geométrica e geotecnicamente cada camada do pavimento e o subleito, nas condições que se encontram no campo.
- Avaliação não-destrutiva: o comportamento estrutural será avaliado também, com o emprego do FWD cujas deflexões medidas representam o estado de tensão e deformação a que um pavimento está sujeito quando solicitado por uma carga transitando em sua superfície. Tendo em vista a rapidez e confiabilidade de suas medidas, a avaliação deflectométrica é largamente utilizada em estudos e diagnósticos de pavimentos, possibilitando caracterizar o comportamento resiliente da estrutura através da retroanálise dos módulos das camadas que as constituem.

3.3. Caracterização dos defeitos encontrados no pavimento da rodovia PE-001 no município de Itamaracá-PE

A camada de revestimento encontra-se com bastante defeitos destacando-se a quantidade de panelas e remendos. Os resultados dos ensaios indicam um traço bem projetado com uma taxa de asfalto adequada para a Faixa C (DNIT, 2006) e permitirão, também, a estimativa do módulo resiliente da camada do revestimento, através da metodologia do Instituto do Asfalto, cujo valor calculado é $MR = 25.455 \text{ kgf/cm}^2$.

Por se tratar de uma rodovia essencialmente turística, a rodovia PE-001, apresenta-se como uma via urbana numa região plana podendo ser considerada com um greide colado ao terreno natural.

Denota-se a necessidade de um sistema de drenagem superficial muito intenso (quantitativamente) constituído pelos seguintes dispositivos: caixas coletoras, meios-fios, linhas d'água e uma maior quantidade de galerias transversais que acarretam na escavação de valas transversais, gerando a destruição do pavimento existente e, conseqüentemente, transformando essas recuperações dos dispositivos de drenagem em áreas problemáticas com episódios de deformações transversais localizadas.

Nota-se, também, a necessidade de alargamento da plataforma em vários locais para a implantação da nova seção transversal urbana da rodovia. Podendo, alguns desses defeitos, serem notados nas Figuras E, F, G e H.

Figura E – Acúmulo de água por sistema de escoamento ineficiente



FONTE: Autores (2022).

Figura F – Erosões no pavimento



FONTE: Autores (2022).

Figura G – Sarjetas obstruídas e inapropriadas



FONTE: Autores (2022).

Figura H – Talude com aproximadamente 5 metros de altura



FONTE: Autores (2022).

Com foi possível observar nas Figuras E, F, G e H, a rodovia apresenta sulcos erosivos na pista de rolamento causados por erosão fluvial. O sistema de drenagem é ineficiente, ou seja, o dispositivo não está exercendo sua função principal de captação e destinação de águas com eficiência. Foram observadas também erosões localizadas em pontos do pavimento causadas por desgaste natural do pavimento. Por fim, verificaram-se a existência de taludes com aproximadamente cinco metros de altura, que podem ser alvo de fenômenos da natureza gerando deslizamentos. Essa foram informações obtidas em visita técnica a campo, disponibilizado pela empresa concedente dos dados.

Desta forma, o pavimento da rodovia PE-001 terá de ser substituído por um pavimento novo, com aproveitamento de camadas da estrutura do pavimento existente.

3.4. Critérios utilizados para o dimensionamento do pavimento novo

Utilizando o critério da resistência e levando em consideração as características resilientes do subleito no dimensionamento da espessura da camada betuminosa foi possível desenvolver o projeto de pavimentação.

Foram utilizados o Método de Projeto de Pavimento Flexível preconizado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2003), o procedimento utilizado em projetos de restauração de pavimentos flexíveis preconizado pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, denominado Método da Resiliência - TECNAPAV (DNER, 1994), e as classificações do solo (TRB) apresentadas proposto pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006).

3.5. Dados utilizados para o dimensionamento

A seguir, serão apresentados os dados que foram utilizados para o dimensionamento apresentado neste estudo de caso, disponibilizados pela empresa de consultoria citada.

3.5.1. Número *N*

Os números de repetições dos eixos dos veículos, equivalentes ao do eixo simples padrão de 8,2 tf durante o período de vida útil do pavimento “N”, foram calculados através da Equação 1:

$$N = 365 \times K \times VMD \times FVm \times FR, \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

N = número de repetições equivalentes ao eixo simples padrão;

K = fator de carregamento para a faixa de projeto (*K*=0,50);

VMD = volume médio diário da frota comercial no período de projeto;

FVm = fator de veículo médio da frota;

FR = fator climático regional (*FR* = 1,00).

Obtendo-se então os valores de “N” acumulados para uma perspectiva de projeto de 10 anos, equivalente ao período 2024/2033, conforme a Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Valores do número “N”

MÉTODO	NÚMERO “N”
AASHTO	$3,2 \times 10^6$
USACE	$5,5 \times 10^6$

FONTE: Autores (2022).

Por se tratar de uma rodovia turística com o tráfego médio diário de 529 veículos, projetado para o período de projeto de 2024-2033, apresentou os valores dos números N conforme apresentado na Tabela 1 podendo então ser escolhido o CBUQ como revestimento para o pavimento, que caracterizam rodovias desse porte.

3.5.2. Suporte do Subleito

Os valores do Índice de Suporte Califórnia (ISC) utilizados no dimensionamento do pavimento foram oriundos do ensaio de determinação do ISC utilizando amostras não trabalhadas (DNER, 1994).

Os solos que constituem o subleito foram denominados como de boa qualidade de suporte, a partir dos estudos geotécnicos, com predominância de solos arenosos classificados como A-2-4 (materiais granulares – 35% passando na peneira nº 200) areia e areia siltosa ou argilosa e de duas manchas de solo siltoso classificado como A-5 (materiais siltosos – 36% passando na peneira nº 200) e de solo argiloso A-7-6 (materiais argilosos - 36% passando na peneira nº 200). A seguir, na Tabela 2, é possível ver a composição do subleito.

Tabela 2 – Tipo de Solo (Classificação HRB)

TIPO DE SOLO (Classificação HRB – AASHTO)	
A-2-4	83,4%
A-5	8,3%
A-7-6	8,3%

FONTE: Autores (2022).

Tendo o solo classificado como sendo do Tipo I, pois o ensaio de granulometria por peneiramento e sedimentação indicaram menos de 35% passando na peneira nº 200.

De acordo com os resultados obtidos através do Índice de Suporte California (DNER,1994), o suporte para o projeto foi obtido conforma a Tabela 3.

Tabela 3 – Detalhes para a escolha do ISC de projeto

DETALHES PARA A ESCOLHA DO ISC DE PROJETO			
Número do Furo	Estaca	Class. HRB	ISC (ME-049/94)
2	20	A-7-5	8
6	115	A-2-4	15
8	155	A-2-4	9
9	175	A-2-4	2 (1)
12	232	A-2-4	13
Médias			11,3
DesvPad			3,3
CV (%)			29,4
ISC de projeto			9,1
1 = valor retirado da média			

FONTE: Autores (2022).

Desse modo, a partir dos estudos feitos nas estacas apresentadas com o objetivo de especificar o ISC de projeto a partir da classificação do solo obtida conforme Tabela 3, o ISC de projeto para o pavimento novo será: $ISC_{projeto} = 9,0\%$.

Na estaca 175 com classificação igual a A-2-A, cujo o ISC é de 2%, foi observada a presença de água no pavimento o que ocasiona perda de suporte do subleito cujo indicam uma deficiência no sistema de drenagem, aspecto esse que tem grande influência no processo de deterioração do pavimento principalmente nos pontos que apresentam muitas trincas, problema que deverá ser sanado na fase de elaboração dos projetos de drenagem superficial e profunda com a construção de novos bueiros, o aproveitamento daqueles que apresentaram vazões adequadas, a substituição e desvios de outros bueiros por galerias longitudinais por não atenderem o fluxo natural devido as construções e aterros executados na faixa de domínio, com o objetivo de garantir a resistência de projeto do solo do subleito.

3.5.3. Classificação do Solo (TRB)

Na tabela 4 podem ser observados a base de dados para a utilização da classificação dos solos (DNIT, 2006).

Tabela 4 – Classificação TRB

CLASSIFICAÇÃO GERAL	MATERIAIS GRANULARES 35% (ou menos) passando na peneira N° 200							MATERIAIS SILTO - ARGILOSOS			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7 A - 7 - 5 A - 7 - 6
CLASSIFICAÇÃO EM GRUPOS	A - 1 - A	A - 1 - B		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				
Granulometria - % Passando na peneira											
N° 10	50 máx.										
N° 40	30 máx.	30 máx.	51 máx.								
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características da Fração passando na Peneira N° 40:											
Limite de Liquidez				40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de Plasticidade	6 máx.	6 máx.	NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.
Índice de Grupo	0	0	0	0	0	4 máx.	4 máx.	8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais constituintes	Fragmento de pedras, Pedregulho fino e areia			Pedregulho ou areias siltosas ou argilosas				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento com Subleito	Excelente a bom							Sofrível a mau			

FONTE: Autores (2022).

3.6. Dimensionamento do Pavimento

A seguir apresenta-se o passo-a-passo que foi seguido para o dimensionamento do pavimento:

- Dispondo dos valores do Número N e do $ISC_{projeto}$, através do Método de determinação de espessuras do pavimento (DNER,1981) definiu-se a espessura total do pavimento (Ht) referida a um material de base granular de $K=1$.
- Determinou-se a deflexão admissível do pavimento, utilizando a Equação 2 (DNER,1994):

$$\text{Log}(D_{adm}) = 3,148 - 0,188 \text{ Log}(N) \quad (\text{Equação 2})$$

- Definiu-se o valor da deflexão de projeto com base no valor de D_{adm} , sendo $D_p \leq D_{adm}$.

- d) Determinou-se a espessura mínima desejável para a camada betuminosa (HCB) através da Equação 3 (DNER,1994):

$$HCB = - 5,737 + (807,961/Dp) + 0,972 I1 + 4,101 I2. \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

- I1 e I2 são constantes relacionadas com as características resilientes do subleito.
- e) Estabelecido Ht (espessura total do pavimento) e HCB (espessura mínima desejável para a camada betuminosa), empregam-se as inequações gerais e a tabela de coeficientes estruturais (DNER,1981), mostrados a seguir, para o dimensionamento das demais camadas.

Inequações:

$$\text{Inequação 1: } R \times KR + B \times KB \geq H20 \quad (\text{Equação 4})$$

$$\text{Inequação 2: } R \times KR + B \times KB + h20 \times KSB \geq Ht \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

- R e B, significam, respectivamente as espessuras de revestimento e base;
- H20 e h20, correspondem, respectivamente, às espessuras do pavimento sobre a sub-base;
- Ht, corresponde a espessura total do pavimento para $ISC_{projeto}$;
- K, representa o coeficiente da estrutura da camada considerada.

Coeficientes estruturais das camadas do pavimento:

CBUQ =	K = 2,0
Base Granular =	K = 1,0
Sub-base granular =	K = 1,0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo será apresentado os valores obtidos no dimensionamento, as misturas teóricas propostas, bem como a escolhida para a rodovia em estudo, dados

apresentados em tabelas mostrando as características do pavimento existente e das soluções propostas para a base reciclada. Podendo, então, observar as diferenças entre as camadas do pavimento existente e do projetado.

4.1. Dimensionamento do Pavimento

Baseado na metodologia explanada no capítulo anterior, seguindo o procedimento citado, e reproduzindo a sequência de cálculo foi possível obter o dimensionamento, como apresentado na memória de cálculo apresentada a seguir:

$$ISC_{\text{projeto}} = 9,0\%;$$

Solo tipo I: $I_1=0$ e $I_2=0$

Tem-se:

- a. $H_t = 46,4\text{cm}$
- b. $D_{\text{adm}} = 76 \times 10^{-2} \text{ mm}$
- c. $D_{\text{proj}} = 76 \times 10^{-2} \text{ mm}$
- d. Pela equação 3, obteve-se a espessura mínima do revestimento:

$$H_{CB} = 5,0\text{cm}.$$

Contudo, para um pavimento flexível de $N=5,5 \times 10^6$, foi adotado o valor mínimo de $H_{CB} = 7,5\text{cm}$ para a espessura do revestimento betuminoso, segundo as normas do DNIT.

- e. Inequação 1:

$$H_{20} = 26,3\text{cm}$$

$$\text{Inequação 1: } 7,5\text{cm} \times 2,0 + B \times 1,0 \geq 26,3\text{cm}$$

$$B = 11,3\text{cm, adotou-se}$$

$$B = 15,0\text{cm}$$

$$\text{Inequação 2: } 7,5 \times 2,0 + 15,0 \times 1,0 + h_{20} \times 1,0 \geq 46,4\text{cm}$$

$$h_{20} = 16,4\text{cm, adotou-se}$$

$$h_{20} = 20,0\text{cm}.$$

Posto isso, o pavimento novo projetado para a rodovia PE-001 apresentou a seguinte constituição estrutural:

- Revestimento em CBUQ: 7,50cm
- Base de Brita Graduada: 15,00cm
- Sub-base de solo de jazida: 20,00cm.

Visto que a rodovia apresenta a necessidade de requalificação da pista existente, tornando-a numa via essencialmente urbana, vislumbrou-se as seguintes implicações no aproveitamento do pavimento existente:

- a) carecimento de alargamento da pista existente, em diversos segmentos;
- b) introdução de um sistema de drenagem urbana que exige a construção de bueiros transversais com equidistância média de 20,0m, construção de caixas coletoras, paradas de ônibus.
- c) insegurança nos reaterros das escavações das valas transversais para a inserção dos bueiros da drenagem urbana, com aparecimento de deformações que danificarão o desempenho do pavimento.

Por tanto, destacou-se a necessidade de uma solução que contivesse o aproveitamento do pavimento existente. É habitual utilizar uma espessura da ordem de 5,0cm de CBUQ para a incorporação do revestimento a camada de base granular para reciclagem contudo, no caso da PE-001, foram desenvolvidas três misturas teóricas a serem recicladas, constituída dos seguintes materiais: CBUQ existente, brita e parte da base existente, assim ordenadas:

- Base reciclada 1:
 - CBUQ existente com 4,0cm de espessura após uma fresagem no trecho nessa camada;
 - Acréscimo de 6,0cm de brita;
 - Emprego de 10,0cm da camada de base existente.

- Base reciclada 2:
 - CBUQ existente utilizada na espessura atual, da ordem de 8,0cm;

- Acréscimo de 2,0cm de brita;
 - Utilização de 10,0cm da camada de base existente.
- Base reciclada 3:
 - CBUQ existente utilizada na espessura atual, da ordem de 8,0cm;
 - Sem adição de brita;
 - Uso de 12,0cm da camada de base existente.

A seguir, na Tabela 4, apresentam-se os resultados constando as diversas peneiras que foram usadas nas granulometrias dos variados materiais, nos respectivos percentuais de cada base a ser reciclada, propostas anteriormente a esse item. Apresenta-se, também, o resultado da granulometria média da base existente.

Tabela 5 – Resultado das granulometrias por peneiramento

RESULTADO DA GRANULOMETRIA POR PENEIRAMENTO															
Tipo de base		Existente	Base Reciclada 1			Base Reciclada 2			Base Reciclada 3						
MATERIAIS UTILIZADOS	Tipo	Granular	CBUQ	Brita 25	Base Existente	MISTURA OBTIDA 1	CBUQ	Brita 25	Base Existente	MISTURA OBTIDA 2	CBUQ	Brita 25	Base Existente	MISTURA OBTIDA 3	
	Espess.	H=20cm	h1=4cm	h2=6cm	h=10cm		h1=8cm	h2=2cm	h=10cm		h1=8cm	h2=0cm	h=12cm		
	%	-	0.20	0.30	0.50		0.40	0.10	0.50		0.40	0.00	0.60		
GRANULOMETRIA	PORCENTAGEM PASSANDO NAS PENEIRAS		1"1/2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	1"	100	100	80	100	94	100	80	100	98	100	80	100	100	
	3/4"		100	19	100	75.7	100	19	100	91.9	100	19	100	100	
	1/2"		98	2	100	70.2	98	2	100	89.4	98	2	100	99.2	
	3/8"	90	91	2	90	63.8	91	2	90	81.6	91	2	90	90.4	
	1/4"		0	1	0	0.3	0	1	0	0.1	0	1	0	0	
	n°4	86	70	1	86	57.3	70	1	86	71.1	70	1	86	79.6	
	n°8		0	1	0	0.3	0	1	0	0.1	0	1	0	0	
	n°10	81	50	0	81	50.5	50	0	81	60.5	50	0	81	68.6	
	n°30		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	n°40	70	27	0	70	40.4	27	0	70	45.8	27	0	70	52.8	
	n°50		15	0	0	3	15	0	0	6	15	0	0	6	
n°100		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
n°200	19	6	0	19	10.7	6	0	19	11.9	0	0	19	13.8		

FONTE: Autores (2022).

Conforme pôde ser observado na Tabela 4, nos resultados apresentados, constam diversas peneiras que foram utilizadas nas granulometrias dos diversos materiais, nas respectivas porcentagens de cada base a ser reciclada. Consta, também, nesse quadro o resultado da granulometria média da base existente.

Para definir as características que estabeleceram a mistura reciclada utilizada, analisou-se suas granulometrias, determinando as porcentagens dos materiais retidos na peneira N° 4 (fator que define, também, a quantidade de pedregulho) e a que passa na peneira N° 200. Obtendo-se o seguinte resumo apresentado na Tabela 5, que demonstra os seguintes traços:

Tabela 6 – Características para definição da mistura reciclada

CARACTERÍSTICAS PARA DEFINIÇÃO DA MISTURA REICLADA				
Tipo de Base	Existente	Reciclada 1	Reciclada 2	Reciclada 3
Peneiras	% PASSANDO			
1"	100	94	98	100
3/8"	90	63.8	81.6	90.4
n°4	86	57.3	71.1	79.6
n°10	81	50.5	60.5	68.6
n°40	70	40.4	45.8	52.8
n°200	19	10.7	11.9	13.8

FONTE: Autores (2022).

Com isso, pôde-se notar que:

- a) A base existente é um material granular muito fino, com 14% de pedregulho retido na peneira n° 4 e 19% passando na peneira n° 200.
- b) A base Reciclada 1 é a que apresentou a maior quantidade de pedregulhos, 43% retirado na peneira n° 4 e 11% passando na peneira n° 200.
- c) A base Reciclada 3 é a que apresentou a menor quantidade de pedregulhos, 20% retido na peneira n°4 e 14% passando na peneira n° 200.

As deflexões medidas com o FWD no pavimento da PE-001, apresentaram-se muito altas e para a restauração dessa rodovia, era importante que a nova camada de base reciclada fosse enrijecida, para que ela pudesse resistir às cargas do tráfego com deformação admissível durante sua vida de projeto. Conseqüentemente, a base que apresentou as melhores características geotécnicas como: os limites de liquidez e plasticidade, granulometria e, sobretudo o CBR, foi a Base Reciclada 1, daí sua indicação.

Em síntese a solução proposta que envolveu a utilização do pavimento existente, entende-se basicamente, nas etapas apresentadas a seguir:

- Implantação dos alargamentos da plataforma, executando-se as camadas de terraplenagem, sub-base (*material de base e sub-base existentes mais material de jazida*) e base com material de jazida com adição de 40% de brita 25. Sendo a compactação 100% do Proctor intermediário.
- Fresagem parcial do CBUQ existente, na espessura de 4,0cm e na largura total do revestimento.
- Espalhamento de uma camada de 6,0cm de brita 25 na largura total da plataforma, após a execução dos alargamentos previstos, envolvendo uma largura total de 10,0m.
- Reciclagem da pista em 10,0m de largura numa profundidade de 20,0cm que compreende: 6,0cm de brita 25, mais 4,0cm de CBUQ remanescente da fresagem e mais 10,0cm da camada de base do pavimento antigo e dos alargamentos.

Portanto, a solução do pavimento novo passou a apresentar as seguintes camadas estruturais, demonstrada na Figura I:

Figura I – Estrutura do pavimento novo

7,5 cm	3,5 cm 4,0 cm		CBUQ
20,0 cm	6,0 cm	brita 25	Base Reciclada
	4,0 cm	CBUQ restante da fresagem	
	10,0 cm	base do pav. existente	
20,0 cm		restante da base e sub-base existentes	Sub-BASE

FONTE: Autores (2022).

Conforme descrito na Figura I, pôde-se notar que o pavimento novo apresenta um revestimento em CBUQ com 7,5cm de espessura total, uma base com 20,0cm de material reciclado (6,0cm de brita 25 + 4,0cm de CBUQ restante da fresagem + 10,0cm

da base do pavimento existente), compactado na energia do Proctor Modificado e uma sub-base com 20,0cm correspondente a camada restante da base e sub-base do pavimento existente.

4.2 Retroanálise

Como mencionado anteriormente, o pavimento da rodovia PE-001 demonstra deflexões medidas com o FWD muito altas e a retroanálise, desenvolvida pelo MeDiNa, para avaliação dos módulos resilientes das camadas do pavimento existente. A seguir, apresentam-se os valores para cada segmento homogêneo, conforme demonstra a Tabela 7.

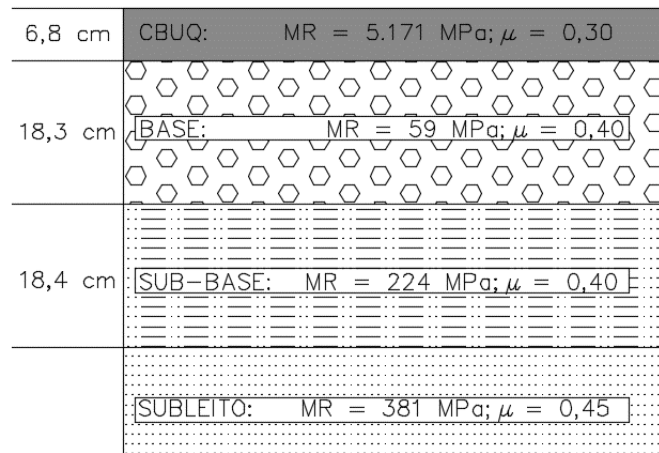
Tabela 7 – Módulo de resiliência por segmentos homogêneos

SEGMENTO HOMOGÊNEO	MÓDULO DE RESILIÊNCIA POR SEGMENTOS HOMOGÊNEOS														
	REFORÇO			PAVIMENTO EXISTENTE											
	CBUQ			Revestimento – CBUQ			BASE			SUB-BASE			SUBLEITO		
	Espes. (cm)	MR1 (Mpa)	Coef. Poisson	Espes. (cm)	MR2 (Mpa)	Coef. Poisson	Espes. (cm)	MR3 (Mpa)	Coef. Poisson	Espes. (cm)	MR4 (Mpa)	Coef. Poisson	Espes. (cm)	MR5 (Mpa)	Coef. Poisson
1	10,0	9.000	0,30	8,0	5,184	0,30	20,0	95	0,40	20,0	99	0,40	0,0	147	0,45
2	111,3	9.000	0,30	5,0	5,134	0,30	20,0	35	0,40	20,0	189	0,40	0,0	340	0,45
3	9,4	9.000	0,30	8,0	3,292	0,30	20,0	83	0,40	20,0	268	0,40	0,0	330	0,45
4	10,8	9.000	0,30	8,0	1,637	0,30	15,0	45	0,40	15,0	63	0,40	0,0	476	0,45
5	5,0	9.000	0,30	8,0	8,577	0,30	15,0	66	0,40	15,0	138	0,40	0,0	412	0,45
6	10,7	9.000	0,30	5,0	7,864	0,30	20,0	43	0,40	20,0	211	0,40	0,0	325	0,45
7	9,3	9.000	0,30	7,0	3,556	0,30	10,0	124	0,40	16,0	111	0,40	0,0	300	0,45
8	10,7	9.000	0,30	5,0	7,864	0,30	20,0	43	0,40	20,0	211	0,40	0,0	325	0,45
9	10,2	9.000	0,30	8,0	2,917	0,30	20,0	42	0,40	15,0	414	0,40	0,0	653	0,45
10	10,8	9.000	0,30	6,0	5,308	0,30	20,0	34	0,40	20,0	256	0,40	0,0	531	0,45
11	10,2	9.000	0,30	8,0	2,687	0,30	20,0	52	0,40	20,0	508	0,40	0,0	400	0,45
12	10,8	9.000	0,30	5,0	2,029	0,30	20,0	46	0,40	20,0	214	0,40	0,0	334	0,45
MÉDIAS	9,9	9.000	0,30	6,8	5,171	0,30	18,3	59	0,40	18,4	224	0,40	0,0	381	0,45

FONTE: Autores (2022).

Conforme pôde ser observado na Tabela 7, a média do reforço do subleito apresentou-se maior que a do pavimento existente, apresentando melhores características estruturais para a demanda atual da rodovia. Desta forma, foi atingida a seguinte estrutura do pavimento existente com espessuras e respectivas características mecánicas médias para suas camadas, conforme apresentado na Figura H.

Figura J – Estrutura do pavimento existente



FONTE: Autores (2022).

Em suma, pôde-se observar que a camada de base existente demonstrou um módulo resiliente de $MR=59\text{MPa}$, valor extremamente baixo. Tal valor deveria ser no mínimo da ordem do valor apresentado para a sub-base. Portanto, pôde-se concluir que a camada de base não era adequada para suportar as cargas transmitidas pelo tráfego, fazendo com que fossem geradas deformações superiores às admissíveis e respondendo também pelas altas deflexões apresentadas pelo pavimento.

Pôde-se notar ainda que no caso presente é preciso aumentar o grau de enrijecimento da base existente e aperfeiçoar suas características geotécnicas. Dessa maneira, a solução mais indicada para o caso foi a elaboração de uma reciclagem da base existente com inserção de parte do CBUQ existente e da adição de uma camada de brita para aumentar a quantidade de pedregulho na mistura final.

Pode-se observar as características das camadas do pavimento existente bem como no pavimento novo através das seções tipo da rodovia apresentadas no **ANEXO A – SEÇÕES DO PAVIMENTO EXISTENTE, ANEXO B - SEÇÕES DO PAVIMENTO PROJETADO, ANEXO C – SEÇÃO EM PAVER PROJETADA e ANEXO D – SEÇÃO DAS ENTRADAS PROJETADA**

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando-se em consideração os aspectos mencionados, o presente artigo teve como objetivo principal destacar as características estruturais do pavimento existente que se demonstraram insuficientes em relação as espessuras de suas camadas de pavimento para suportar as cargas provenientes do tráfego atual definidas pelo

número N utilizado no projeto, possuindo ainda diversas patologias no sistema de drenagem e no próprio pavimento, gerando desconforto e insegurança ao utilizá-lo. Graças ao uso do equipamento FWD utilizado com software MeDiNa foi possível obter maiores detalhes da estrutura existente, possibilitando mostrar as características necessárias para dimensionar o pavimento novo. Dito isso, pôde-se observar que a estrutura projetada se mostrou mais apropriada para atender o tráfego em questão, com número N igual a $5,5 \times 10^6$, possuindo camadas mais espessas e mais apropriadas para o trecho.

A partir dos dados apresentados, notou-se que o método de dimensionamento apresentado pelo DNIT, antigo DNER, é de certa forma mais simples de ser aplicado, uma vez que são baseados em dados e ensaios de laboratórios mais acessíveis, salientando sempre a importância da execução com máximo nível de atenção e profissionalismo.

Notou-se também que o dimensionando pelo método MeDiNa necessitou de dados detalhados sobre o módulo de resiliência e coeficiente de Poisson, utilizando equipamentos que ainda se encontram escassos no território nacional. Fato este que torna o método mais custoso quando comparado ao método do DNIT, porém, que pode demonstrar-se melhor quando falado de custo-benefício.

REFERÊNCIAS

American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO guide for design of pavement structure, Washington, USA, 1993.

BIEDACHA, M.M. **Dimensionamento de pavimento asfáltico pelo método dner e comparativo com o atual método mecanístico-empírico Medina**. Trabalho de conclusão do curso de graduação em engenharia civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, Pato Branco, 2020.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (org). **PRO 269/94**: Projeto de Pavimentos Flexíveis. 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (org). **1994-719**: Manual de Pavimentação. 3ª ed – Rio de Janeiro, 2006.

EMPRESA DE CONSULTORIA MKS ENGENHARIA CONSULTIVA. **Projeto Executivo de Restauração da Rodovia PE-001**. Recife, PE, 2021.

FRANCO, Filipe Augusto Cinque de Proença; Motta, Laura Maria Goretti. **Manual para Utilização do Método Mecanístico-Empírico**. 2020. Rio de Janeiro (DNIT), 2020.

FRANCO, Filipe Augusto Cinque de Proença; Motta, Laura Maria Goretti. **Execução de estudos e pesquisas para elaboração de método mecanístico – empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos**. 2018. Rio de Janeiro: DNIT, 2018.

MT, DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM (org). **PRO 011/74**: Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis (1979).

MT, DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (org). DNIT 006-PRO: Avaliação estrutural de pavimentos flexíveis. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

LAUBE, Alan Gabriel; BATISTA, Marlon; LEITE, Msc. Patrick Chavier. **Estudo comparativo no dimensionamento do pavimento flexível através do método DNER e do método MeDiNa**. 2021. Santa Catarina, Joinville, 2021.

PAVEYS ENGENHARIA DE PAVIMENTOS. **Fiscalização de qualidade dos serviços prestados pela concessionária do pólo de Carazinho (Contrato 18/2013-AGERGS – Pavesys)**. Relatório Mensal nº 01. Março, 2014.

SANTOS, T.F. **Comparação dos métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis. DNER (1981) e MEDINA**. Trabalho de conclusão do curso de graduação em engenharia civil do Centro Tecnológico, Universidade de Santa Catarina. Santa Catarina Florianópolis, 2022.

SILVA, R.C. **Análises de desempenho dos Pavimentos da Via040**. Plano de trabalho RDT, ANTT e Concessionária Via040, 2016.

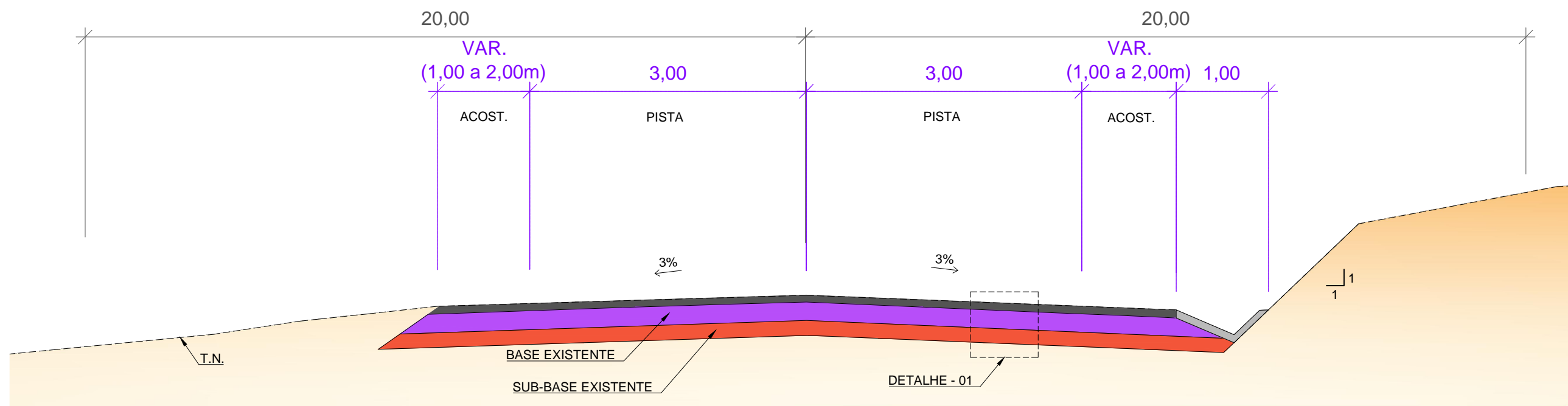
SILVA, R.C.; SOUZA JR.; J.G. **Análise de desempenho com uso do HRM-4**. In: Jacques de Medina: Visionário Humanista, Rio de Janeiro, 2016.

PITANGUI, Lara Cordeiro. **Análise comparativa do método do DNER com o método mecanístico-empírico MeDiNa**. 2019. Monografia (Monografia de projeto final II de engenharia civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, DF, 2019.

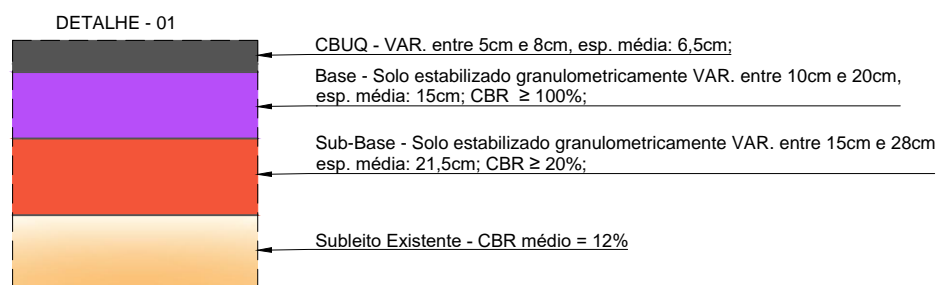
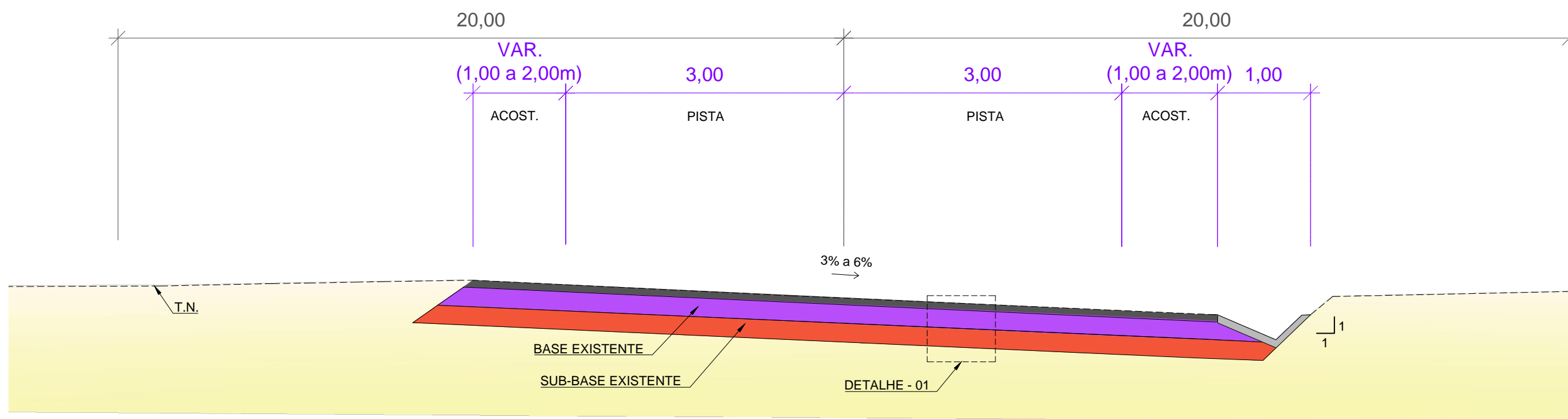
ANEXOS

ANEXO A - SEÇÕES DO PAVIMENTO EXISTENTE

PE - 001 (PAVIMENTO EXISTENTE SEÇÃO TRANSVERSAL EM TANGENTE)



PE - 001 (PAVIMENTO EXISTENTE SEÇÃO TRANSVERSAL EM CURVA)



NOTA:

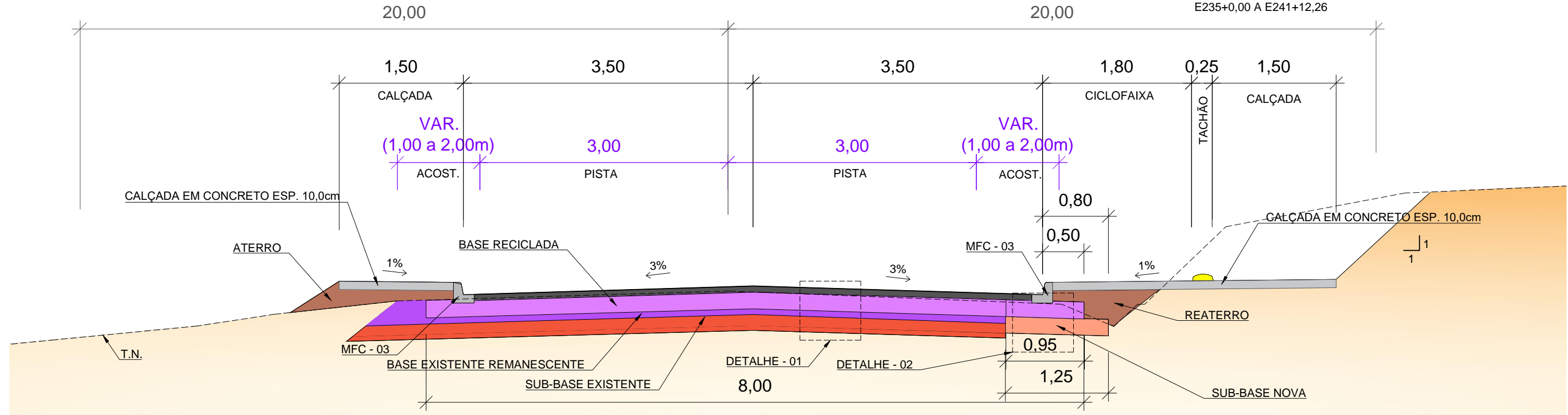
T.N. - TERRENO NATURAL
 VAR. - ACOSTAMENTO VARIÁVEL
 ENTRE 1,0m A 2,0m.

ESCALA GRÁFICA: H 1:50	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
	EB 7BI 4' C8#S' TRECHO : FORTE ORANGE - ENTR. PE-035 (ITAMARACÁ) EXTENSÃO : 4,90km 9BAG8-4HGBE8F 8#%001	
PROJETO PAVIMENTAÇÃO SEÇÕES TIPO EXISTENTE		PP - 01

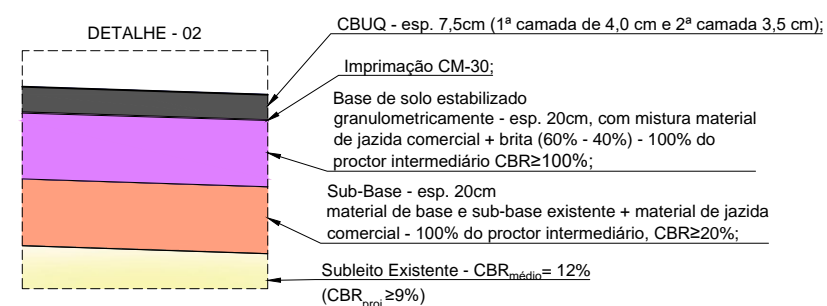
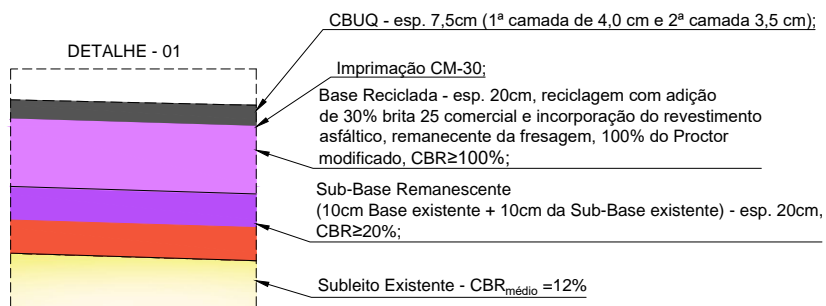
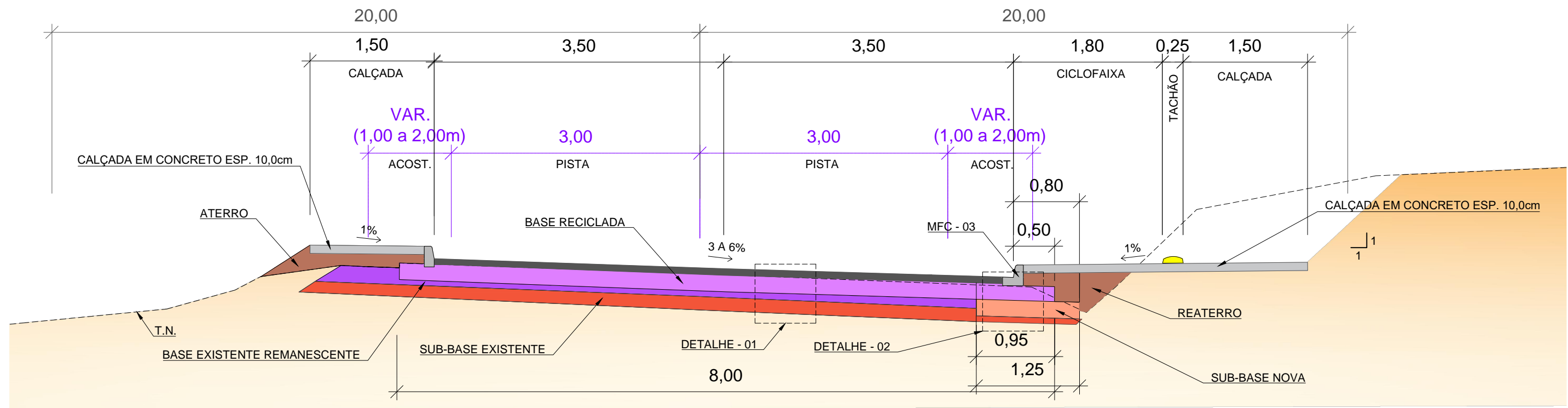
ANEXO B - SEÇÕES DO PAVIMENTO PROJETADO

PE - 001 (PAVIMENTO PROJETADO SEÇÃO TRANSVERSAL EM TANGENTE)

E3+0,00 A E95+0,00
 E104+0,00 A E116+0,00
 E125+0,00 A E173+0,00
 E177+0,00 A E219+0,00
 E235+0,00 A E241+12,26



PE - 001 (PAVIMENTO PROJETADO SEÇÃO TRANSVERSAL EM CURVA)



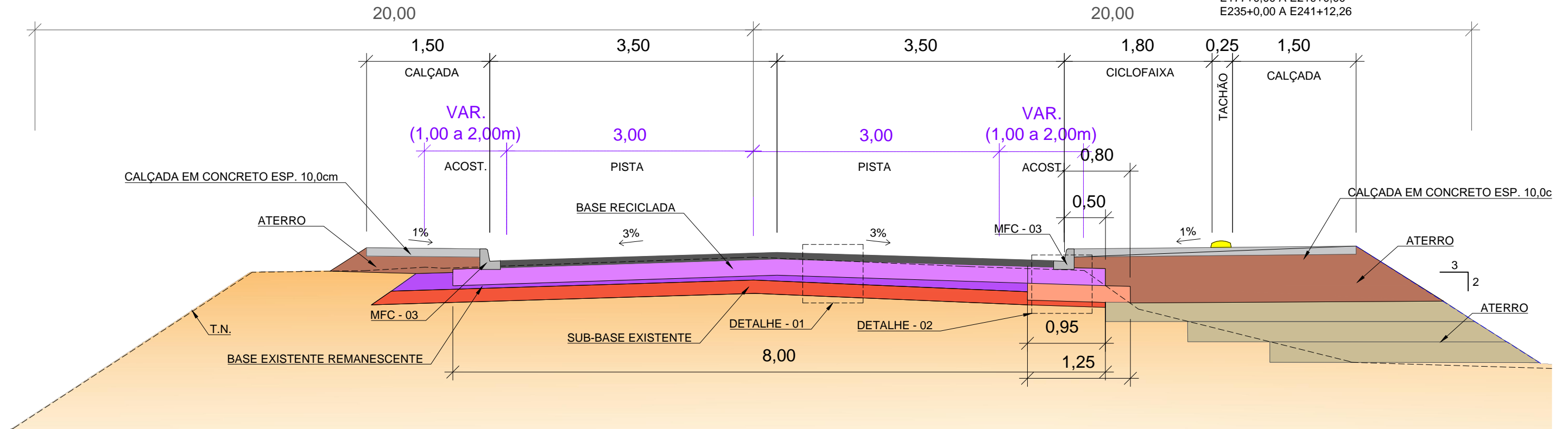
NOTA: T.N. - TERRENO NATURAL
 VAR. - ACOSTAMENTO VARIÁVEL ENTRE 1,0m A 2,0m.

ESCALA GRÁFICA: H 1:50	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
	EB7BI-4-...-C8I##S' TRECHO : FORTE ORANGE - ENTR. PE-035 (ITAMARACÁ) EXTENSÃO : 4,90km 9BAG8-4HGBE8F R#001	
PROJETO PAVIMENTAÇÃO SEÇÕES TIPO PROJETADA		PP - 02

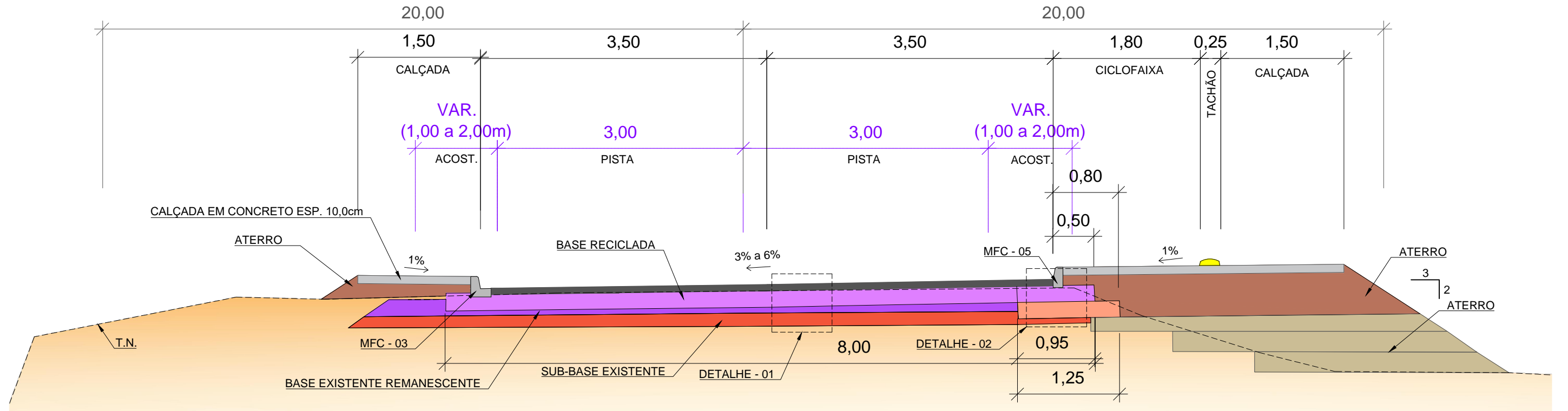
ANEXO B - SEÇÕES DO PAVIMENTO PROJETADO

PE - 001 (PAVIMENTO PROJETADO SEÇÃO TRANSVERSAL EM TANGENTE)

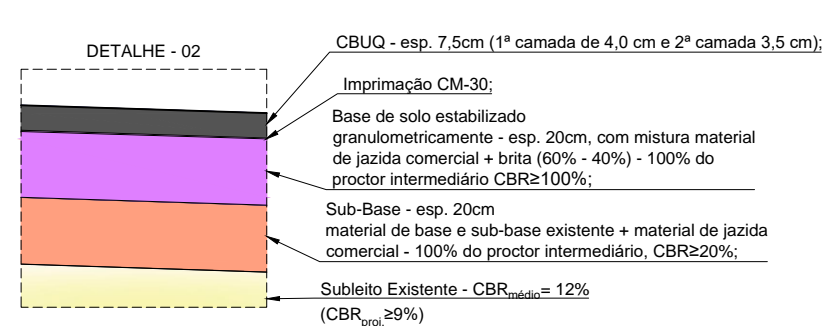
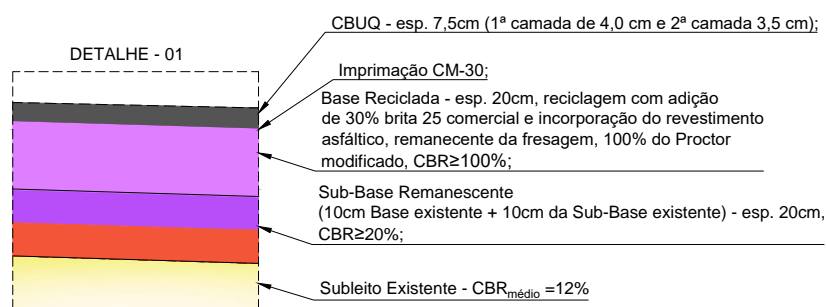
E3+0,00 A E95+0,00
 E104+0,00 A E116+0,00
 E125+0,00 A E173+0,00
 E177+0,00 A E219+0,00
 E235+0,00 A E241+12,26



PE - 001 (PAVIMENTO PROJETADO SEÇÃO TRANSVERSAL EM CURVA)



NOTA: T.N. - TERRENO NATURAL
 VAR. - ACOSTAMENTO VARIÁVEL ENTRE 1,0m A 2,0m.

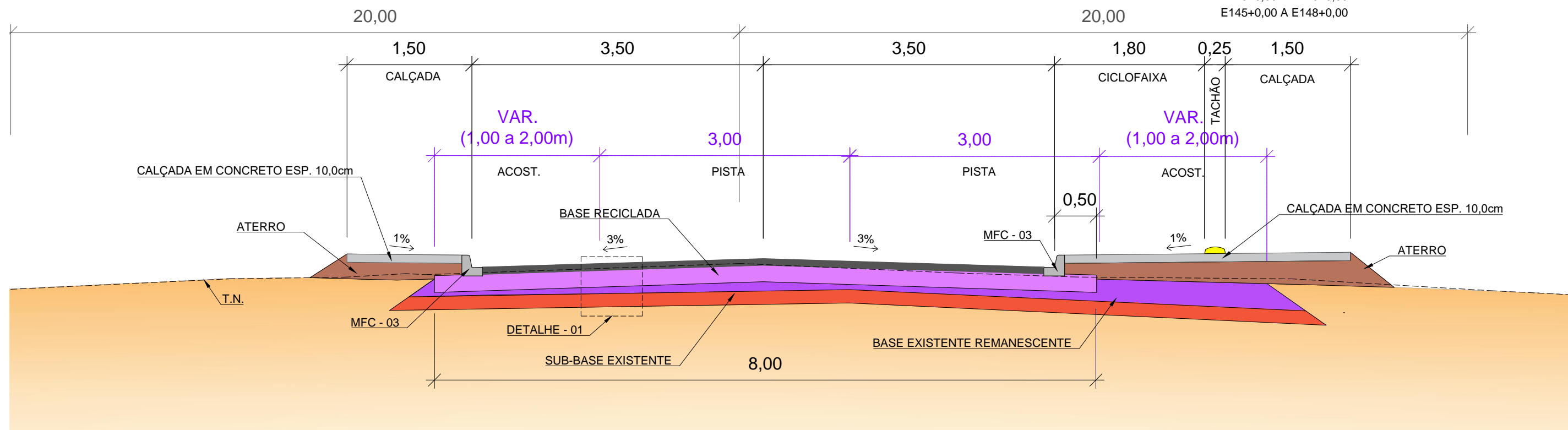


TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
EB7BI-4-11111-C81#S	
TRECHO : FORTE ORANGE - ENTR. PE-035 (ITAMARACÁ)	
EXTENSÃO : 4,90km	
9BAG8-4HGBE8F 1#0#0#1	
PROJETO PAVIMENTAÇÃO SEÇÕES TIPO PROJETADA	PP - 03

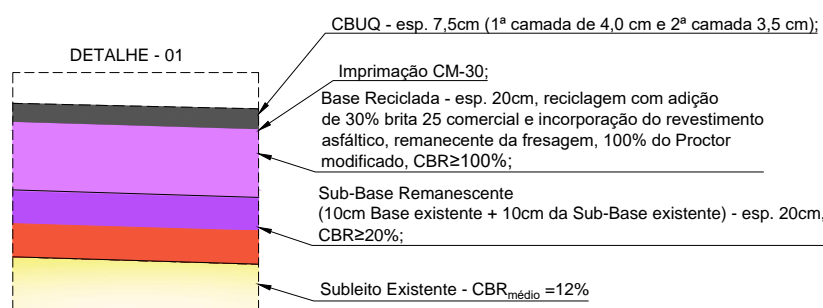
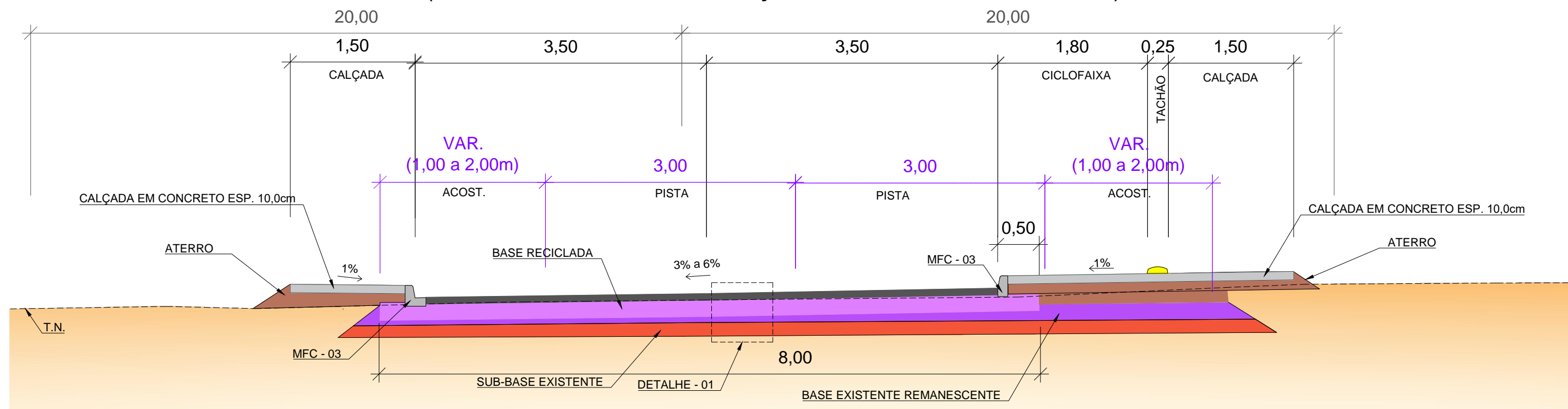
ANEXO B - SEÇÕES DO PAVIMENTO PROJETADO

PE - 001 (PAVIMENTO PROJETADO SEÇÃO TRANSVERSAL EM TANGENTE)

E4+0,00 A E7+0,00
E115+0,00 A E116+0,00
E145+0,00 A E148+0,00



PE - 001 (PAVIMENTO PROJETADO SEÇÃO TRANSVERSAL EM CURVA)



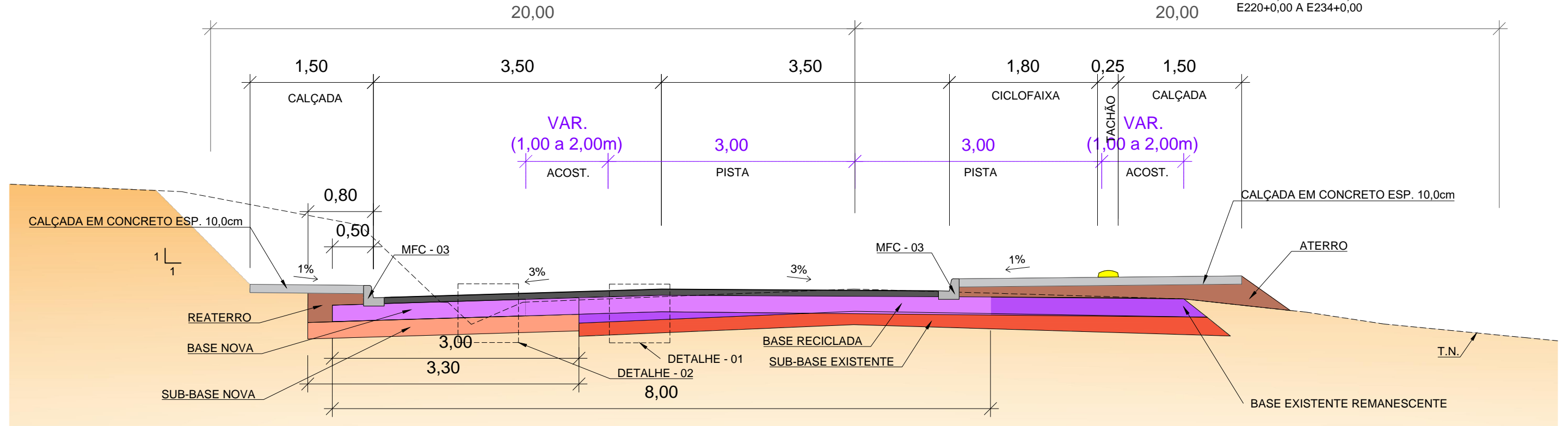
NOTA: T.N. - TERRENO NATURAL
VAR. - ACOSTAMENTO VARIÁVEL ENTRE 1,0m A 2,0m.

ESCALA GRÁFICA: 0 50 100 H 1:50	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EB 7BI 4' C8#S' TRECHO : FORTE ORANGE - ENTR. PE-035 (ITAMARACÁ) EXTENSÃO : 4,90km 9BAG8-4HGBE8F 1#%0#1
	PROJETO PAVIMENTAÇÃO SEÇÕES TIPO PROJETADA
	PP - 04

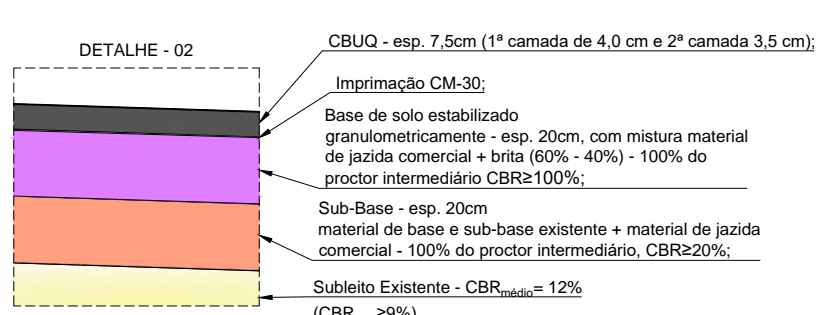
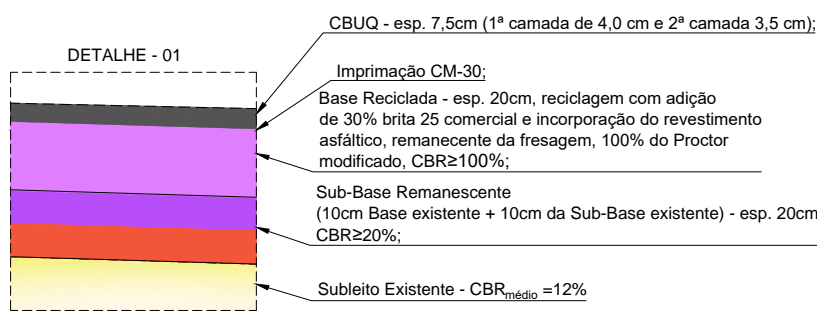
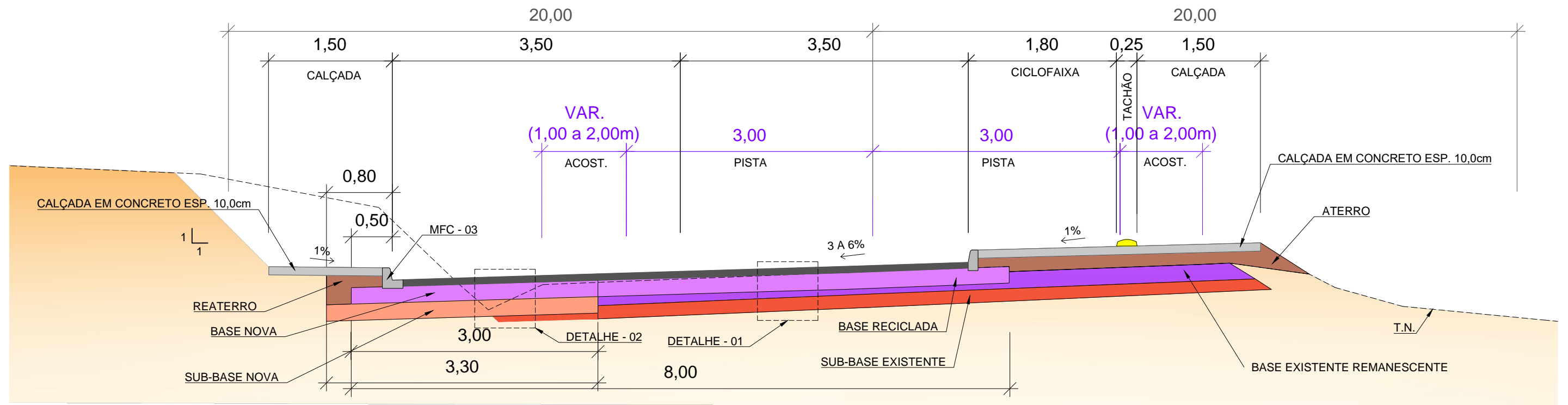
ANEXO B - SEÇÕES DO PAVIMENTO PROJETADO

PE - 001 (PAVIMENTO PROJETADO SEÇÃO TRANSVERSAL EM TANGENTE)

E96+0,00 A E103+0,00
E117+0,00 A E124+0,00
E174+0,00 A E176+0,00
E220+0,00 A E234+0,00



PE - 001 (PAVIMENTO PROJETADO SEÇÃO TRANSVERSAL EM CURVA)



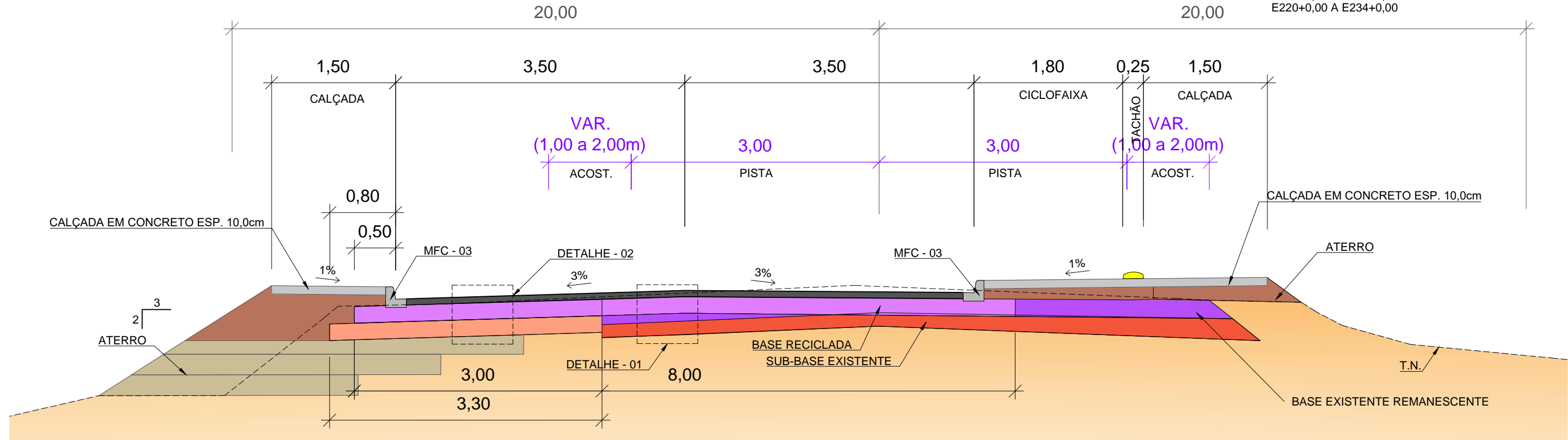
NOTA: T.N. - TERRENO NATURAL
VAR. - ACOSTAMENTO VARIÁVEL ENTRE 1,0m A 2,0m.

ESCALA GRÁFICA:	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
0 50 100 H 1:50	EB 7BI 4' CSD#S' TRECHO : FORTE ORANGE - ENTR. PE-035 (ITAMARACÁ) EXTENSÃO : 4,90km 9BAG8-4HGBE8F 0#001	
	PROJETO PAVIMENTAÇÃO SEÇÕES TIPO PROJETADA	PP - 05

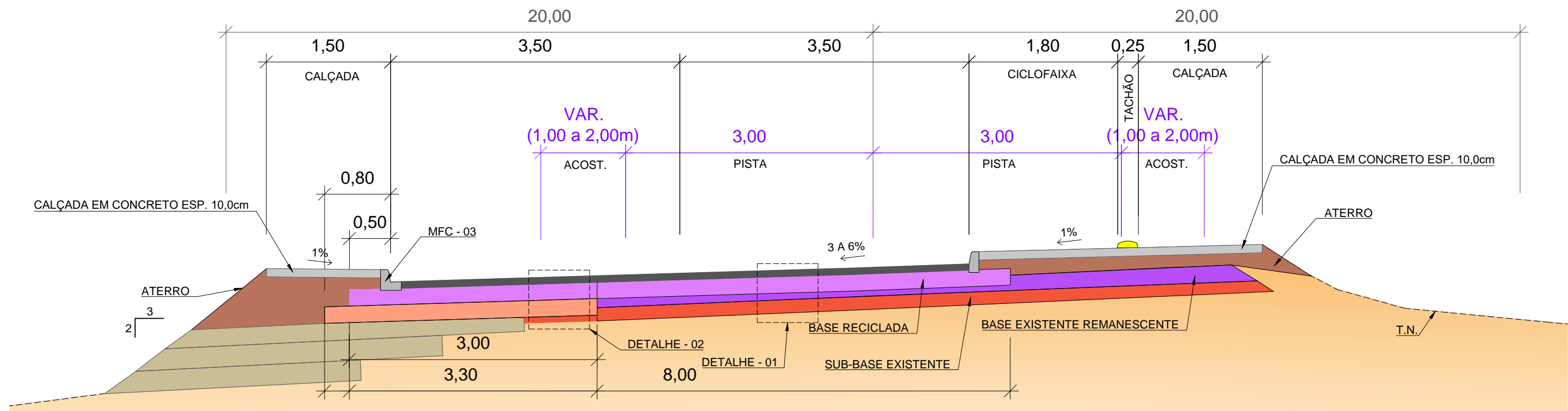
ANEXO B - SEÇÕES DO PAVIMENTO PROJETADO

PE - 001 (PAVIMENTO PROJETADO SEÇÃO TRANSVERSAL EM TANGENTE)

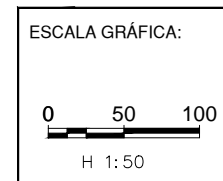
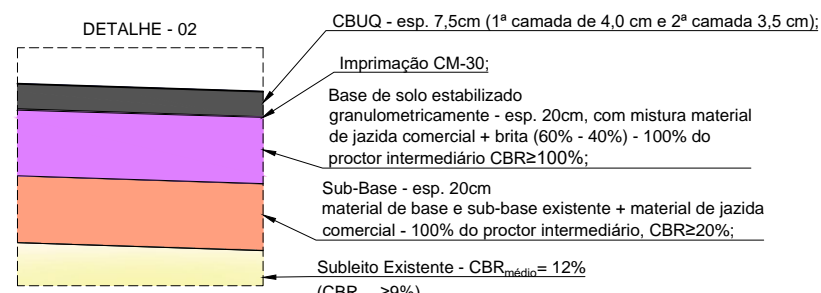
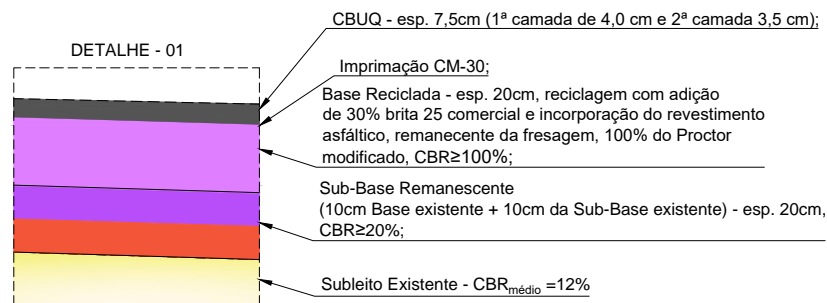
E96+0,00 A E103+0,00
E117+0,00 A E124+0,00
E174+0,00 A E176+0,00
E220+0,00 A E234+0,00



PE - 001 (PAVIMENTO PROJETADO SEÇÃO TRANSVERSAL EM CURVA)



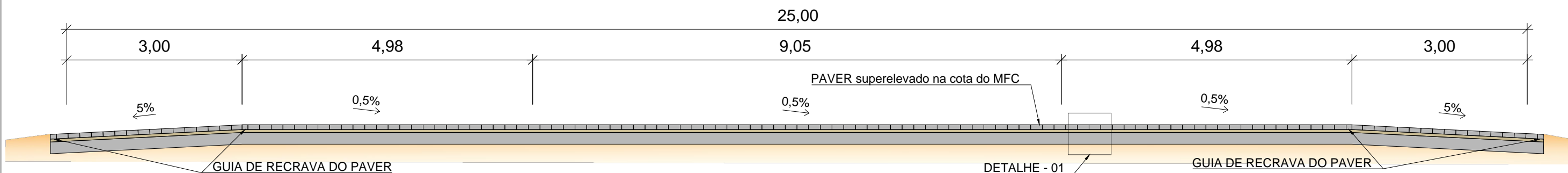
NOTA: T.N. - TERRENO NATURAL
VAR. - ACOSTAMENTO VARIÁVEL ENTRE 1,0m A 2,0m.



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
EB7BI-4-11111-C81#S	
TRECHO : FORTE ORANGE - ENTR. PE-035 (ITAMARACÁ)	
EXTENSÃO : 4,90km	
9BAG8-4HG8E8F 1#0#0#1	
PROJETO PAVIMENTAÇÃO SEÇÕES TIPO PROJETADA	PP - 06

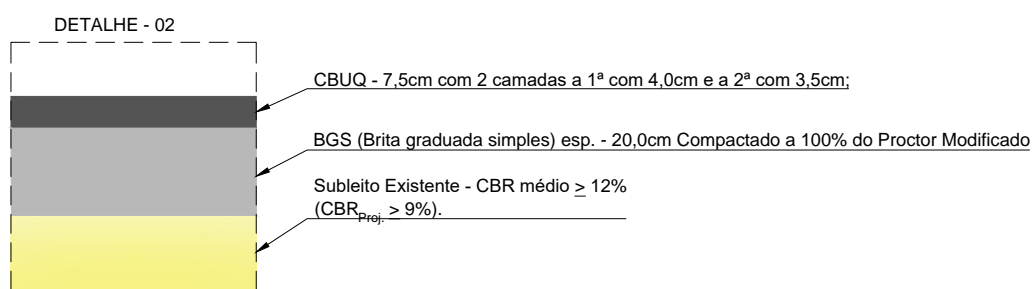
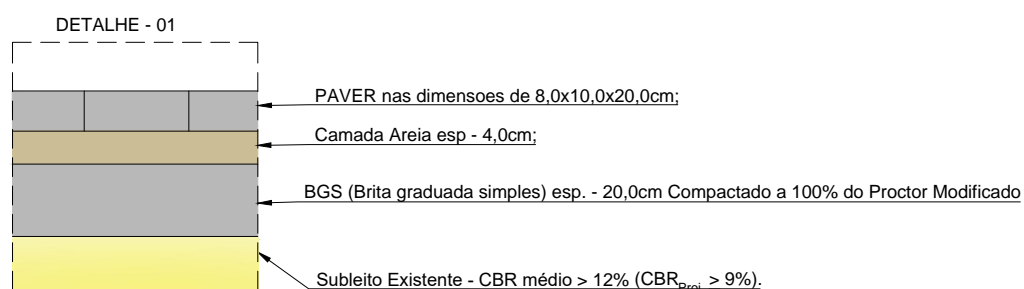
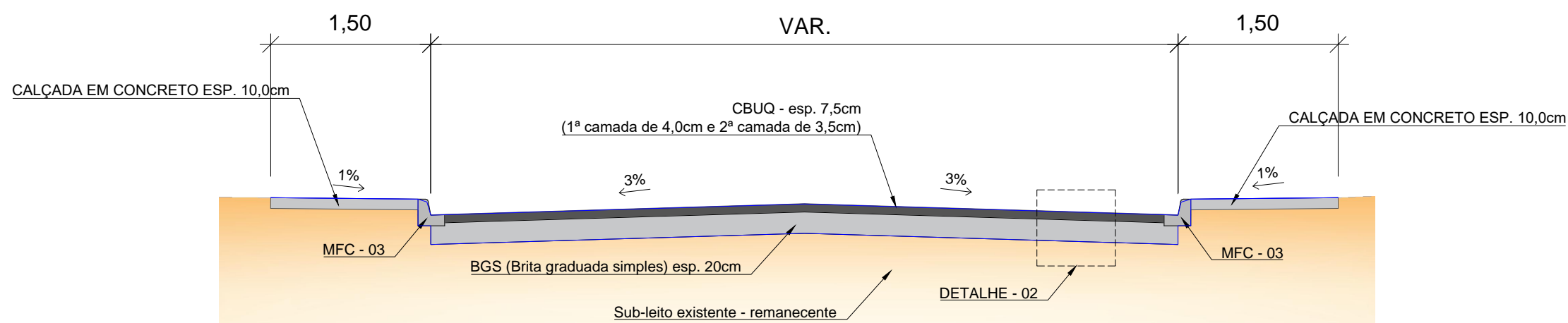
ANEXO C - SEÇÃO EM PAVER PROJETADA

SEÇÃO DA ESTACA 242+0,00 - PE-001



ANEXO D - SEÇÃO DAS ENTRADAS PROJETADA

ENTRADAS DE RUAS QUE FAZEM INTERSEÇÃO COM A PE-001



S/E

ESCALA GRÁFICA: H 1:50	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	
	EB 7 BI - 4 - - - - - C8#S TRECHO : FORTE ORANGE - ENTR. PE-035 (ITAMARACÁ) EXTENSÃO : 4,90km 9BAG8-4HGBE8F 1#%0#1	
PROJETO PAVIMENTAÇÃO SEÇÕES TIPO PROJETADA		PP - 07