

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Josiane Wolschick

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE APLICABILIDADE DE DIFERENTES
MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS
E INTERTRAVADOS EM UM CONDOMÍNIO HORIZONTAL NA
CIDADE DE SANTA MARIA/RS**

Santa Maria, RS
2022

Josiane Wolschick

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE APLICABILIDADE DE DIFERENTES MÉTODOS
DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS E INTERTRAVADOS EM
UM CONDOMÍNIO HORIZONTAL NA CIDADE DE SANTA MARIA/RS**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Civil**.

Orientador: Deividi da Silva Pereira

Santa Maria, RS
2022

Josiane Wolschick

**ESTUDO DA VIABILIDADE DE APLICABILIDADE DE DIFERENTES MÉTODOS
DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS E INTERTRAVADOS
EM UM CONDOMÍNIO HORIZONTAL NA CIDADE DE SANTA MARIA/RS**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Civil**.

Aprovada em 15 de agosto de 2022:

Deividi da Silva Pereira (UFSM)

Renan Gustavo Scherer (UFSM)

Sílvio Lisboa Schuster (UFSM)

Santa Maria, RS
2022

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais que, desde as séries iniciais, não mediram esforços para investir na minha educação e no meu ensino, não sendo diferente durante a graduação. Em especial a minha mãe, que foi uma das minhas maiores incentivadoras, acompanhou toda a trajetória e hoje, como forma de estrelinha, segue me guiando e olhando por mim. Gostaria de agradecer a minha irmã que sempre foi referência de dedicação e estudo para mim e agradecer a toda minha família que acompanhou de perto esses anos de graduação. Gostaria de agradecer ao meu namorado que também sempre esteve do meu lado, auxiliando-me, apoiando-me e dividindo experiências da área.

Gostaria de agradecer a todos os meus amigos que estiveram comigo e contribuíram de alguma forma neste processo, especialmente aos colegas de curso, de profissão e as minhas “irmãs” do apartamento 402.

Gostaria de agradecer em especial ao meu orientador Deividi da Silva Pereira pela orientação, pela paciência e por toda a ajuda e conselhos e agradecer também a todos os professores que participaram da minha vida acadêmica e contribuíram no meu ensino de forma marcante.

RESUMO

ESTUDO DA VIABILIDADE DE APLICABILIDADE DE DIFERENTES MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS E INTERTRAVADOS EM UM CONDOMÍNIO HORIZONTAL NA CIDADE DE SANTA MARIA/RS

AUTORA: Josiane Wolschick
ORIENTADOR: Deividi da Silva Pereira

Um pavimento caracteriza-se por um conjunto de camadas de espessuras finitas, as quais têm por finalidade resistir às solicitações geradas pelo tráfego de veículo. Dentre os tipos de revestimento estão os blocos intertravados, blocos de concreto que, quando intertravados sobre uma camada de areia, impedem o deslocamento destes e resistem, portanto, às solicitações geradas. Já os pavimentos asfálticos caracterizam-se a partir de uma mistura entre agregados e ligantes asfálticos, os quais, dosados corretamente, garantem as resistências necessárias para absorver os esforços gerados em conjunto com as demais camadas. Ambos os tipos de pavimento possuem seus métodos de dimensionamento específico e o presente trabalho objetiva avaliar a aplicabilidade de diferentes métodos de cálculo para o dimensionamento de um pavimento em um condomínio horizontal fechado de alto padrão na cidade de Santa Maria/RS, o qual possui baixo tráfego. Ainda, objetiva-se, neste estudo, realizar um comparativo financeiro entre todos os resultados de dimensionamento obtidos. Neste projeto foram utilizados os métodos de dimensionamento do DNER e do MeDiNa para o dimensionamento de concreto asfáltico e de tratamento superficial e o método de cálculo do PCA/84 e do CMAA para os blocos intertravados. O estudo constatou que o uso do método DNER para a condição analisada no trabalho não é adequado, por resultar em um superdimensionamento. Ainda, o uso de tratamento superficial não se torna uma opção satisfatória também em função da sua baixa aplicabilidade no mercado. Sendo assim, o pavimento intertravado apresentou-se como o mais adequado para esta situação, sendo, também, a opção economicamente mais viável.

Palavras-chave: pavimento asfáltico; pavimento intertravado; dimensionamento de pavimentos; pavimentos em condomínios fechados; Santa Maria/RS.

ABSTRACT

FEASIBILITY STUDY OF APPLICABILITY OF DIFFERENT FLOOR SIZING METHODS IN A HORIZONTAL CONDOMINIUM IN SANTA MARIA/RS

AUTHOR: Josiane Wolschick
ADVISOR: Deividi da Silva Pereira

A pavement is characterized by a set of layers of finite thicknesses, which are intended to resist the demands generated by vehicle traffic. Among the types of coating are the interlocking blocks, concrete blocks that when interlocked over a layer of sand, prevent their displacement and therefore resist the demands generated. Asphalt pavements are characterized from a mixture of asphalt aggregates and binders, which, when correctly dosed, guarantee the necessary resistance to absorb the efforts generated together with the other layers. Both types of pavement have their specific design methods and the present work aims to evaluate the applicability of different calculation methods for the design of a floor in a high standard closed horizontal condominium in the city of Santa Maria/RS, which has a low traffic. Still, the objective of this study is to make a financial comparison between all the design results obtained. In this project, the DNER and MeDiNa design methods were used for the design of asphalt concrete and surface treatment and the PCA/84 and CMAA calculation method for the interlocking blocks. The study found that the use of the DNER method for the condition analyzed at work is not adequate, as it results in an oversizing. Still, the use of surface treatment doesn't become a satisfactory option also due to its low applicability in the market. Therefore, the interlocked pavement presented itself the most suitable for this situation, being also the most economically viable option.

Keywords: asphalt pavement; interlocked pavement; floor sizing; floors in closed condominiums; Santa Maria/RS.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Previsão de caminhões a serem utilizados na construção de uma residência de 315 m ²	47
Tabela 2 – Carga Máxima Legal (CML) de cada eixo	48
Tabela 3 – Quantidade total de eixos para a construção de uma residência	48
Tabela 4 – Quantidade de eixos final de solicitação para a construção de uma residência	48
Tabela 5 – VDM de cada veículo proporcional aos 2 anos de construção	49
Tabela 6 – Cálculo do Fator de Veículo primeira etapa	49
Tabela 7 – Quantidade de eixos considerada após a ocupação das residências	50
Tabela 8 – Fator de Veículos segunda etapa	50
Tabela 9 – Relacionando CBR e N para determinação da espessura de dimensionamento	51
Tabela 10 – Interpolação 1 (para CBR = 3,5%)	52
Tabela 11 – Interpolação 2 (para CBR = 4,0%)	52
Tabela 12 – Interpolação 3 (para CBR = 3,8%)	52
Tabela 13 – Espessura das camadas pavimento intertravado	55
Tabela 14 – Fator de Veículos primeira etapa	57
Tabela 15 – Fator de Veículo segunda etapa	58
Tabela 16 – Valor do coeficiente K para cada tabela.....	61
Tabela 17 – Valor do coeficiente K para cada tabela.....	70
Tabela 18 – Composição e espessura de cada estrutura dimensionada	72
Tabela 19 – Composição de custos para orçamento do pavimento intertravado	73
Tabela 20 – Orçamento estrutura dimensionada pelo método PCA 1984	74
Tabela 21 – Orçamento estrutura dimensionada pelo método CMAA 2010.....	74
Tabela 22 – Distâncias médias de transporte (DMT) para cada material	75
Tabela 23 – Composição de custos para orçamento de pavimento asfáltico	75
Tabela 24 – Orçamento do pavimento de concreto asfáltico via DNER (estrutura completa).....	76
Tabela 25 – Orçamento do pavimento de concreto asfáltico via MeDiNa (estrutura completa).....	76

Tabela 26 – Orçamento do pavimento de concreto asfáltico via DNER (estrutura sem sub-base)	76
Tabela 27 – Orçamento do pavimento de concreto asfáltico via MeDiNa (estrutura sem sub-base).....	77
Tabela 28 – Orçamento do tratamento superficial pelo método DNER	77
Tabela 29 – Orçamento do tratamento superficial pelo método MeDiNa	78
Tabela 30 – Orçamentos finais para os dimensionamentos	78

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Corte transversal da estrutura de pavimentos asfálticos	20
Figura 2 – Resposta mecânica dos tipos de pavimento ao sofrer determinados carregamentos	21
Figura 3 – Ábaco de determinação da espessura do pavimento	25
Figura 4 – Caracterização de cada item das Equações de dimensionamento de pavimento	27
Figura 5 – Deslocamentos impedido pelo intertravamento	31
Figura 6 – Estrutura de pavimento intertravado para um projeto de calçada	33
Figura 7 – Diferentes arranjos de pavimento intertravado	34
Figura 8 – Opções de formato de blocos de concreto	35
Figura 9 – Resposta da estrutura a uma solicitação no pavimento	37
Figura 10 – Diferença de desempenho entre bloco retangular e segmentado	38
Figura 11 – Formas dos blocos de concreto conforme CMAA.....	38
Figura 12 – Localização da cidade de Santa Maria no estado	43
Figura 13 – Localização do condomínio dentro de Santa Maria/RS	44
Figura 14 – Localização do Terreno a partir da BR 287	44
Figura 15 – Disposição dos lotes no condomínio.....	45
Figura 16 – Foto do local com o condomínio em andamento	46
Figura 17 – Estrutura final – dimensionamento PCA 1984	53
Figura 18 – Dados de entrada para o dimensionamento	54
Figura 19 – Escolha da estrutura do pavimento.....	54
Figura 20 – Dimensionamento final <i>Design Pave v2.0</i>	55
Figura 21 – Gráfico N x espessura sub-base gerado pelo CMAA	56
Figura 22 – Estrutura final – dimensionamento CMAA 2010	56
Figura 23 – Determinação da altura Hm sobre a camada de subleito	59
Figura 24 – Determinação da altura Hn sobre a camada de reforço do subleito.....	60
Figura 25 – Determinação da altura H20 sobre a camada de sub-base.....	61
Figura 26 – Estrutura dimensionada pelo método do DNER	63
Figura 27 – Primeiros dados de entrada no <i>software</i>	64
Figura 28 – Composição da camada de subleito	65

Figura 29 – Caracterização das camadas no dimensionamento pelo MeDiNa	65
Figura 30 – Resultado do dimensionamento pelo MeDiNa	66
Figura 31 – Estrutura dimensionada pelo método do MeDiNa	66
Figura 32 – Estrutura dimensionada pelo método do DNER	68
Figura 33 – Caracterização das camadas no dimensionamento pelo MeDiNa	68
Figura 34 – Resultado do dimensionamento pelo MeDiNa	69
Figura 35 – Estrutura dimensionada pelo método do MeDiNa	69
Figura 36 – Estrutura dimensionada para tratamento superficial pelo método do DNER	71
Figura 37 – Características das camadas da estrutura a partir do dimensionamento pelo MeDiNa.....	71
Figura 38 – Análise do <i>software</i> sobre o dimensionamento	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Especificações necessárias a serem cumpridas por cada camada	22
Quadro 2 – Equações para o cálculo do FEC (USACE)	24
Quadro 3 – Espessuras mínimas, em mm, para o revestimento asfáltico	25
Quadro 4 – Valores de fatores de equivalência para cada camada	26
Quadro 5 – Espessuras mínimas e máximas possíveis para cada material	27
Quadro 6 – Classificação da via, confiabilidade e critérios de parada	29
Quadro 7 – Distribuição granulométrica	32
Quadro 8 – Fator de equivalência de acordo com o eixo solicitante.....	36
Quadro 9 – Espessura total da camada de sub-base e base (cm)	36
Quadro 10 – Determinações de dimensionamento a partir do número N.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEMC	Análise Elástica de Múltiplas Camadas
BDI	Benefícios e Despesas Indiretos
BGS	Brita Graduada Simples
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
CA	Concreto Asfáltico
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CCR	Concreto Compactado com Rolo
CENPES	Centro de Pesquisas da Petrobrás
Cm	Centímetro
CMAA	Concrete Masonry Association of Australia
CML	Carga Máxima Legal
COPPE	Universidade Federal do Rio de Janeiro
DMT	Distância Média de Transporte
DNER	Departamento Nacional de Estrada de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ESRD	Eixo Simples de Roda Dupla
ESRS	Eixo Simples de Roda Simples
ETD	Eixo Tandem Duplo
Fd	Fator de Distribuição
FEC	Fator de Equivalência de Carga
Ff	Fator de Frota
FIC	Fator de Influência da chuva
FIT	Fator de Interferência de Tráfego
Fr	Fator Climático
FRN	Fundo Rodoviário Nacional
Fs	Fator de Sentido
Fv	Fator de Veículo
H20	Espessura total sobre a sub-base
Hm	Espessura total sobre o subleito
Hn	Espessura total sobre o reforço do subleito
IG	Índice de Grupo
IP	Índice de Plasticidade
IPR	Instituto de Pesquisas Rodoviárias
K	Fator de Equivalência
Kg	Quilograma
km	Quilômetros
kN	Quilonewton
lb	Libra
LL	Limite de Liquidez
m ²	Metros quadrados
MH	Macadame Hidráulico
Mpa	Mega Pascal
MR	Módulo de Resiliência
MS	Macadame Seco

N	Número de Solicitações
P	Período de Projeto
PBT	Peso Bruto Total
PCA	Portland Cement Association
pi	Conjunto de Veículos
PMF	Pré-Misturado a Frio
PMQ	Pré-Misturado a Quente
R	Revestimento
RS	Rio Grande do Sul
SC	Solo-cimento
SICRO	Sistema de Custos Referenciais de Obra
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisas de Custo e Índices da Construção Civil
SMC	Solo Melhorado com Cimento
t	Toneladas
TS	Tratamento Superficial Simples
TSD	Tratamento Superficial Duplo
TST	Tratamento Superficial Triplo
USACE	Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América
VAM	Vazios do Agregado Mineral
VDM	Volume Diário Médio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivo geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	SOLO	17
2.2	PAVIMENTO	17
2.2.1	Pavimentos asfálticos.....	17
2.2.1.1	Dimensionamento a partir do Método Empírico do DNER.....	21
2.2.1.2	Dimensionamento a partir do Método MeDiNa	28
2.2.2	Pavimentos intertravados.....	31
2.2.2.1	Dimensionamento a partir do Método PCA/84.....	35
2.2.2.2	Dimensionamento a partir do Método CMAA.....	37
2.3	SISTEMAS DE ORÇAMENTO	39
2.3.1	SICRO	40
2.3.2	SINAPI.....	41
3	ESTUDO DE CASO	43
3.1	LOCALIZAÇÃO DA OBRA	43
3.2	DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO PELO MÉTODO DO PCA 1984.....	46
3.3	DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO CMAA 2010.....	53
3.4	DIMENSIONAMENTO DE pavimento ASFÁLTICO PELO MÉTODO DO DNER – ESTRUTURA COMPLETA	57
3.5	DIMENSIONAMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO PELO MÉTODO MeDiNa – ESTRUTURA COMPLETA.....	63
3.6	DIMENSIONAMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO PELO MÉTODO DNER – SEM SUB-BASE	67
3.7	DIMENSIONAMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO PELO MÉTODO MeDiNa – SEM SUB-BASE	68
3.8	DIMENSIONAMENTO DE TRATAMENTO ASFÁLTICO PELO MÉTODO DNER	69

3.9	DIMENSIONAMENTO DE TRATAMENTO SUPERFICIAL PELO MÉTODO	
MeDiNa		71
3.10	COMPARAÇÃO ECONÔMICA	73
4	CONCLUSÃO	81
	REFERÊNCIAS.....	83

1 INTRODUÇÃO

O modal de transporte rodoviário possui muita relevância tanto na economia quanto a sociedade do nosso país, visto que é uma prática muito comum no transporte de cargas e de pessoas (CNT, 2017).

Cronologicamente, em âmbito nacional, a história das malhas rodoviárias inicia em 1590, com a finalização da primeira estrada, a qual se estende de São Vicente ao Planalto Piratininga, no estado de São Paulo. O importante fato para a área de estudo ocorrido em 1896 foi a chegada do primeiro veículo de carga no país, o qual foi encaminhado da Europa. A empresa da *Ford Motor Company* foi inaugurada no ano de 1919. No auge da 2ª Guerra Mundial, mais precisamente em 1942, os engenheiros brasileiros conheciam, a partir dos norte-americanos, o ensaio de *California Bearing Ratio* (CBR) e, na época, o país contava com somente 1.300 km de rodovias pavimentadas em toda a sua extensão. A criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN) e da Petrobras na década de 40 impulsionaram o sistema de pavimentação brasileiro. A produção em larga escala e grandes empresas marcaram o ano de 1950 e, ainda que atrasado, o sistema rodoviário começou a se desenvolver. Nos anos de 1996 deu-se início ao programa de concessões no Brasil (BERNUCCI et al., 2008).

O pavimento intertravado caracteriza-se por uma estrutura de camadas compostas de materiais e espessuras específicas, sendo a última composta por blocos de concreto que devem garantir o intertravamento (ABCP, 2010). As opções de aplicação desse método são variadas, podendo atuar em tráfegos leves até tráfegos muito pesados, variando, nesse caso, seu dimensionamento em relação à espessura e material das camadas, espessura dos blocos, além de arranjo e formato dos blocos.

Conforme Bernucci et al. (2008), o pavimento asfáltico é definido também como o conjunto de camadas de espessuras e materiais previamente dimensionados, sendo a última camada de concreto asfáltico. Essa, por sua vez, é a mistura e homogeneização de minerais bem graduados, ligante, se necessário, e Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP).

A pandemia de covid-19, dentre todos os seus efeitos gerados, teve impacto direto no que diz respeito a vida do ser humano, tanto no âmbito profissional quanto no lazer. Locais de trabalhos foram substituídos pelo *home office*, ensinamentos passaram a ser ministrados à distância, locais públicos de entretenimento, restaurantes e outros

pontos de encontro limitaram-se para momentos de lazer em casa de maneira particular. Sendo assim, muitas pessoas firmaram novas percepções sobre seus próprios lares, priorizando o bem-estar, o conforto e a qualidade de vida neste local.

Dessa forma, a preocupação extra com o conforto e a qualidade de vida no ambiente em que se vive pós-pandemia surgiu para unir-se aos anseios de quem atinge a vida adulta: o sonho da casa própria em um ambiente seguro. Comprova-se este fato a partir do Censo Moradia, a mais completa pesquisa sobre o morar no Brasil realizada em parceria entre o Quinto Andar e o Datafolha. O estudo realizado por meio de entrevistas pessoais no mês de outubro de 2021 com jovens a partir de 21 anos aponta que o sonho da casa própria é o item mais importante considerados pela maioria dos brasileiros, mais precisamente para 87% deles. Ainda, 76% desses entrevistados afirmaram que sua casa é seu lugar favorito.

Sendo assim, a construção de condomínios fechados, sejam eles horizontais ou verticais, com infraestrutura atraente aos compradores têm se tornado mais frequente e interessante do ponto de vista dos investidores.

1.1 OBJETIVOS

A seguir são descritos o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa.

1.1.1 Objetivo geral

Este estudo tem como objetivo geral avaliar algumas metodologias de dimensionamentos existentes em relação à pertinência para o emprego em baixos volumes de tráfego. A aplicação do estudo se dará em um condomínio horizontal de alto padrão na cidade de Santa Maria/RS, o qual é verídico e está em execução.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- a) Avaliar o tráfego estimado para a utilização das vias do condomínio;
- b) Avaliar dois métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis de concreto asfáltico, distinguindo as camadas pela sua espessura e pelo seu material;

- c) Avaliar dois métodos de dimensionamento de pavimentos intertravados, distinguindo as camadas pela sua espessura e pelo seu material;
- d) Analisar as soluções encontradas e sua viabilidade de aplicação;
- e) Comparar os custos resultantes dos dimensionamentos realizados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOLO

Oriundo de um maciço rochoso que sofreu ações químicas e físicas, todo o solo já foi rocha. Havendo a influência de ações químicas e físicas em diferentes intensidades sobre a rocha e sobre o próprio solo, formam-se solos com diferentes características e capacidade de suporte, sempre dependendo da rocha mãe (PINTO, 2006). Na pavimentação, objeto a ser abordado no presente trabalho, o solo está presente na camada de subleito, ou seja, a camada de suporte para a estrutura do pavimento e, ainda, pode constituir as demais camadas em seu estado natural ou então estabilizado.

2.2 PAVIMENTO

Com o objetivo de resistir aos esforços solicitados por um determinado tráfego de veículos, o conjunto de várias camadas com espessuras finitas com diferentes composições e dimensões compõe o pavimento (BERNUCCI et al., 2008). Conforme Balbo (2007), as camadas devem estar adequadas de modo a atender de maneira operacional e estruturalmente a movimentação de veículos sobre a via, com boa durabilidade e o menor custo possível.

De acordo com Bernucci et al. (2008), subdivide-se o pavimento rodoviário em dois grandes grupos: flexíveis e rígidos. O primeiro caracteriza-se por fazer com que todas as camadas constituintes de sua estrutura sofram deformações elásticas significativas e, conseqüentemente, a carga aplicada sobre a via é distribuída quase que igualmente entre elas. Já o segundo possui um revestimento mais rígido, absorvendo boa parte da carga aplicada e não transmitindo quantia considerável às camadas subjacentes (DNIT, 2006). O presente trabalho visa abordar os pavimentos flexíveis do tipo asfáltico e intertravado.

2.2.1 Pavimentos asfálticos

O revestimento utilizado em pavimentos asfálticos é composto por uma mistura entre agregados distintos entre si no que diz respeito à forma e tamanho e ligantes

asfálticos, podendo ser feito o uso ou não de aditivos e adições de maneira adequada e previamente determinada (DNIT, 2006; BARRA, 2005). Ainda conforme DNIT (2006), outra característica relevante é que sua estrutura pode ser constituída de quatro camadas principais acima do subleito: reforço do subleito, sub-base, base e revestimento ou tratamento superficial, não sendo necessária a aplicabilidade de todas essas. Cada camada possui as seguintes características e funções:

Reforço do subleito – quando o subleito, camada de fundação da estrutura do pavimento, possui baixa resistência ao cisalhamento, faz-se necessário a execução de uma camada de reforço, a qual aliviará as tensões recebidas pelo subleito de qualidade inferior. É fundamental que esta possua características resistivas superiores às do subleito, de tal forma que absorva parte das tensões que seriam transmitidas a ele. Economicamente esta solução pode se tornar mais benéfica quando comparado ao aumento de espessuras de camadas como base e sub-base, originalmente com custos mais elevados (BALBO, 2007).

Sub-base - de acordo com DNIT (2022), esta camada é aplicada sob a base e sobre o subleito ou reforço do subleito e possui características análogas às da base. Esta pode ser, assim como a base, do tipo granular ou estabilizada com aditivos. Se granular, pode receber uma estabilização granulométrica com o uso de diferentes granulometrias de brita, ou então pode ser macadame hidráulico ou seco. Se estabilizada com aditivos pode ser feito o uso de cimento, gerando o solo-cimento ou solo melhorado com cimento, cal, gerando o solo-cal ou solo melhorado com cal, ou betume, formando o solo-betume ou bases betuminosas diversas (DNIT, 2006).

Base – é habitual que esta camada seja composta por solo estabilizado naturalmente, misturas de solo e agregados, brita graduada com ou sem tratamento com cimento, solo estabilizado quimicamente com ligante hidráulico ou asfáltico, concretos, dentre outros. Possui, no geral, características similares às da sub-base, sendo executada sobre tal.

Concreto Asfáltico (CA) – é o tipo de mistura asfáltica considerada mais aplicada no país (BALBO, 2007). Conforme Castro (2015), esta mistura possui alta resistência à compressão e baixa deformabilidade e é constituída basicamente por agregado e asfalto. A parcela de agregados, neste caso, é composta pela combinação de britas graduadas, pó de brita, areia natural e filler, este último material muito fino que tem por objetivo preencher os vazios da mistura granulométrica e pode contar com cinza-volante, pó de calcário ou cimento em sua formação. É função da parcela

de agregados, a partir do contato dos grãos e do atrito e entrosamento interno gerado, resistir aos esforços de compressão e fornecer uma parte da resistência ao cisalhamento. Já o asfalto, por se tratar de uma ligante, garante a coesão da mistura, possibilitando que esta possua bons resultados de resistência à tração. Entretanto, é imprescindível o seu uso na medida correta, de modo a não gerar uma superfície lubrificante, se adicionado em demasia. Outro elemento participante desta mistura e de suma importância é o ar. Este, preso no asfalto, está relacionado com a elasticidade do CA, uma vez que a sua presença permite a dilatação da mistura sem gerar instabilidade. Há uma sequência de propriedades que, combinadas com o volume do tráfego de solicitação, devem ter seus limites e intervalos obedecidos para que se obtenha êxito na mistura. Estas propriedades são determinadas pelo Método Marshall, método vigente no Brasil, e abrangem: compactação, estabilidade, fluência, porcentagem de vazios de ar, vazios do agregado mineral (VAM) e VAM preenchidos com asfalto. De acordo com Pinto (2015), o diferente uso do concreto asfáltico é designado pelas seguintes denominações: camada de rolamento, camada de ligação, camada de nivelamento e camada base. Essa distinção, listada em ordem crescente, ocorre em função da espessura, em função da necessidade de regularização das camadas subjacentes e, conseqüentemente, necessidade de uso agregados com maiores custos.

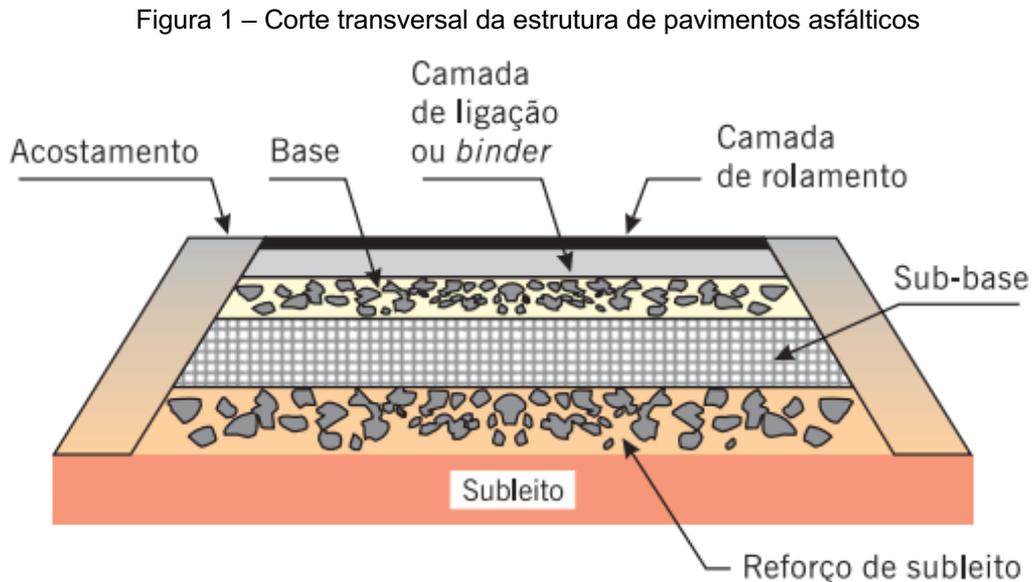
Tratamento Superficial – esta camada é uma opção nem sempre utilizada. Pode ser executada de modo a compor o revestimento sobre a base que tenha recebido o tratamento de imprimação ou então pode ser utilizada para recapar revestimentos já existentes como forma de manutenção. Sua composição é formada por agregado mineral e ligante betuminoso, sendo este responsável por unir o agregado à superfície a ser revestida. Os ligantes betuminosos mais indicados para esta situação são os cimentos asfálticos tipo CAP150/200 e CAP 100/120 ou então emulsões asfálticas RR-2C convencionais ou modificadas por polímeros. Há, portanto, três tipos de tratamentos superficiais a serem aplicados: tratamento simples (TS), em que é executada uma aplicação de ligante e uma cobertura de agregado, tratamento duplo (TSD), em que há a aplicação de suas camadas de ligantes cada uma com uma cobertura de agregado sobre e, por fim, tratamento triplo (TST) em que são realizadas três camadas de ligante e três camadas de cobertura de agregado intercaladas (PINTO, 2015). Conforme DEINFRA-SC (DPLA) (2016), este mecanismo de aplicabilidade dos materiais constituintes no tratamento superficial classifica-se como

penetração invertida, no qual o ligante é despejado sobre a camada de base e, acima dele, é realizado o derramamento do agregado de modo a gerar uma distribuição uniforme sobre a camada de ligante. Por fim, é realizada a compactação do agregado.

Tratamentos também utilizados que podem compor a estrutura do pavimento asfáltico são as pinturas de ligação, as quais tem a função de aderir camadas umas nas outras, e as imprimações impermeabilizantes, as quais têm o dever de garantir a impermeabilização de camadas granulares anteriormente a aplicação da camada superior. As pinturas de ligação são constituídas de emulsões asfálticas e as imprimações impermeabilizantes de asfaltos diluídos (BALBO, 2007).

De acordo com Bernucci et al. (2008), é interessante o uso de tratamento superficial quando se objetiva obter uma alta resistência ao desgaste, porém com uma camada de rolamento de pequena espessura, quando se quer impermeabilizar o pavimento de modo a proteger a sua infraestrutura, quando se tem a finalidade de proporcionar um revestimento antiderrapante ou um revestimento de alta flexibilidade, o qual acompanha as deformações da infraestrutura.

As possíveis camadas a serem utilizadas estão melhor representadas na Figura 1.

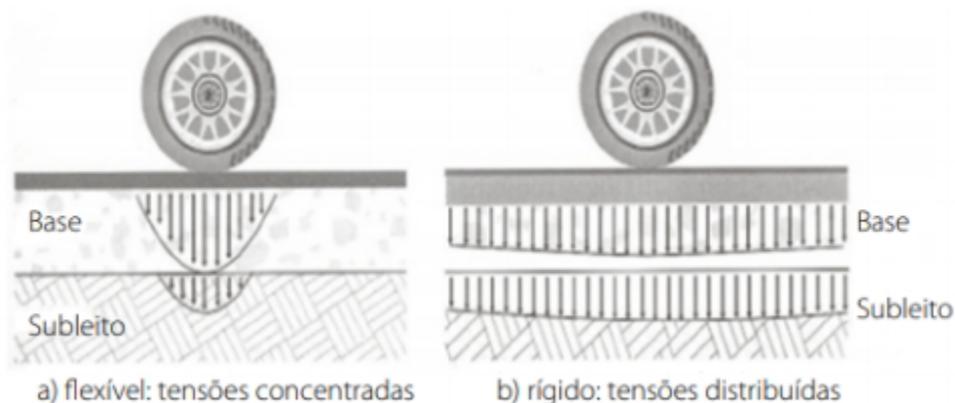


Fonte: DNIT (2006).

Conforme Dresch (2018), outra característica pertinente dos pavimentos flexíveis é sua resposta mecânica em relação à aplicação de carga. Diferentemente

do pavimento rígido, o pavimento flexível, quando sujeito a carregamentos, apresenta um campo de tensões mais concentrado, conforme a Figura 2 abaixo.

Figura 2 – Resposta mecânica dos tipos de pavimento ao sofrer determinados carregamentos



Fonte: Balbo (2007).

Conforme Bernucci et al. (2008), para que o dimensionamento de um pavimento flexível seja eficaz é necessário que se tenha conhecimento profundo das propriedades mecânicas dos materiais incorporados à estrutura, como, por exemplo, permeabilidade, resistência à ruptura e deformabilidade em condições de repetições de carga e exposta às condições climáticas. Dessa forma, torna-se possível calcular e obter a melhor configuração de estrutura para uma via pavimentada com concreto asfáltico. Existem alguns métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis e, neste presente trabalho, serão abordados dois métodos: o método empírico do DNER e o método mais recente MeDiNa.

2.2.1.1 Dimensionamento a partir do Método Empírico do DNER

O método do DNER foi desenvolvido pelo Engenheiro Murillo Lopes de Souza no ano de 1981 e é baseado no Método do CBR (USACE) e algumas conclusões resultantes da pista experimental da AASHTO. O ensaio do *California Bearing Ratio* (CBR) ou ainda Índice de Suporte Califórnia, por sua vez, avalia o potencial de ruptura das camadas, ou seja, a resistência do material sujeito a deslocamentos significativos. Seu valor é expresso em porcentagem (BERNUCCI et al., 2008).

O método do DNER, portanto, ampara as camadas do pavimento contra a ruptura por cisalhamento. Conforme Bezerra Neto (2004), o método de dimensionamento pode ser desenvolvido seguindo três etapas principais:

Definição dos Materiais: aqui se avalia a capacidade de suporte de todas as camadas a serem incluídas na composição do pavimento (inclusive a fundação – subleito) e, através de uma porcentagem, qualifica-se o material previsto para uso. Os critérios fundamentais para atender a essa etapa estão exemplificadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Especificações necessárias a serem cumpridas por cada camada

Camada	Crítérios
Material de subleito	CBR maior que 2% Expansão menor que 2%
Material para reforço do subleito	CBR maior que o do subleito Expansão menor que 1%
Material para sub-base	CBR maior que 20% Expansão menor que 1% (com sobrecarga de 4,536 kgf) Índice de grupo (IG) igual a zero
Material para base	CBR $\geq 80\%$ Expansão menor que 0,5% (com sobrecarga de 4,536 kgf) LL $\leq 25\%$ IP $\leq 6\%$

Fonte: Souza (1981).

Ainda, conforme DNIT (2006), há uma exceção para tráfegos menores que $N \leq 5 \times 10^6$, no que diz respeito a camada base, em que o CBR, nesse caso, pode ser no mínimo de 60%.

Determinação do tráfego solicitante: o valor de tráfego final utilizado no dimensionamento é escrito em valor de um número N de operações de um dito eixo-padrão dentro de um período de projeto (P) pré-estipulado. Nesse caso, todas as solicitações são convertidas, proporcionalmente a partir de fatores de equivalência, a esse eixo-padrão equivalente a 8,2 t (18.000 lb) (SOUZA, 1981). Conforme Pereira (2020), o valor N caracteriza a soma do potencial destrutivo de todos os eixos que solicitarão a via ao longo de sua vida útil estipulada em projeto. Para situações em

que não há a previsão de crescimento de tráfego ao longo do período de projeto calcula-se o número N a partir da seguinte Equação 1:

$$N = 365 * VDM * P * Fv * Ff * Fs * Fd * Fr \quad (1)$$

Em que:

N – Número de repetições de carga de um eixo padrão

VDM – Volume Diário Médio

P – Período de Projeto

Fv – Fator de Veículo

Ff – Fator de Frota

Fs – Fator de Sentido

Fd – Fator de Distribuição

Fr – Fator Climático

O Volume Diário Médio (VDM) é o número de veículos totais que passam pela via durante um dia e, para que seja estipulado esse valor, é necessário que seja feita a média de, no mínimo, 3 dias interruptos de contagem. O Fator de Frota (Ff) é a porcentagem de veículos comerciais dentro do VDM de estudo. O Fator de Sentido (Fs) é a porcentagem de veículos que trafegam em um sentido. O Fator Climático Regional (Fr) considera a variação de umidade das camadas do pavimento, geralmente adota-se o valor de 1,0. O Fator de Distribuição (Fd) é a porcentagem de veículos que trafegam na faixa mais carregada do sentido, quando não há mais de uma faixa por sentido, utiliza-se 1,0. O Fator de Veículo (Fv) é determinado a partir do produto entre a frequência de ocorrência de cada eixo dentro do conjunto de veículos (π_i) e o fator de equivalência de carga (FEC). O valor da FEC é determinado a partir de equações que variam de acordo com a carga do eixo. As equações estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Equações para o cálculo do FEC (USACE)

Tipos de eixo	Faixas de Cargas (t)	Equações (P em tf)
Dianteiro simples e traseiro simples	0 – 8	$FC = 2,0782 \times 10^{-4} \times P^{4,0175}$
	≥ 8	$FC = 1,8320 \times 10^{-6} \times P^{6,2542}$
Tandem duplo	0 – 11	$FC = 1,5920 \times 10^{-4} \times P^{3,472}$
	≥ 11	$FC = 1,5280 \times 10^{-6} \times P^{5,484}$
Tandem triplo	0 – 18	$FC = 8,0359 \times 10^{-5} \times P^{3,3549}$
	≥ 18	$FC = 1,3229 \times 10^{-7} \times P^{5,5789}$

Fonte: DNIT (2006).

Dessa forma, determina-se o Fv a partir da Equação 2:

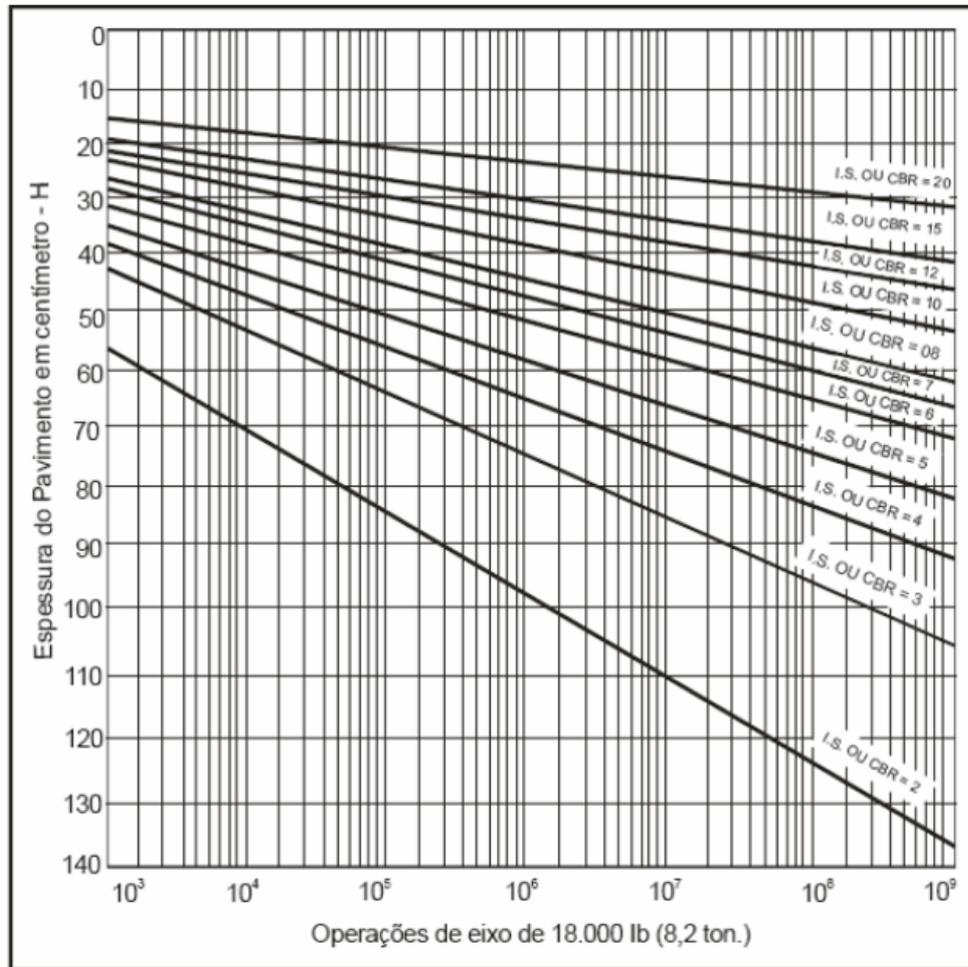
$$Fv = \frac{\sum_{i=1}^n (pi(\%)*FEC_{i,p})}{100} \quad (2)$$

Dimensionamento: De acordo com Souza (1981), tendo definido os valores do número N e das porcentagens de CBR de cada camada atuante, é possível dimensionar cada camada, inicialmente calculando a altura total da estrutura atuante sobre o subleito, a qual tem a função de protegê-lo. Essa altura é conhecida por Hm e pode ser determinada a partir da Equação 3:

$$H_m = 77,67 * N^{0,0482} * CBR^{-0,598} \quad (3)$$

Entretanto, para tráfegos $N < 10^6$, a fórmula acaba superdimensionando a estrutura e, portanto, utiliza-se o ábaco de dimensionamento (FIGURA 3).

Figura 3 – Ábaco de determinação da espessura do pavimento



Fonte: DNIT (2006).

Tendo conhecimento da espessura total final do pavimento, determina-se a espessura do revestimento a ser utilizada seguindo o Quadro 3:

Quadro 3 – Espessuras mínimas, em mm, para o revestimento asfáltico

N (repetições do ESRD de 80 kN)	Tipo de Revestimento	Espessura (mm)
$\leq 10^6$	Tratamentos superficiais	15 a 30
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	CA, PMQ, PMF	50
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto asfáltico	75
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico	100
$N > 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico	125

Fonte: SOUZA (1981) apud Balbo (2007).

Para o dimensionamento também é necessário ter o fator de equivalência (K) de cada material que irá compor a estrutura do pavimento. De acordo com Pereira (2020a), conceitua-se esses fatores como um número empírico que, comparando o material de estudo com o material padrão (Brita Graduada Simples – BGS), relaciona a capacidade de difusão das tensões sobre o subleito atuante. Os coeficientes K estão descritos no Quadro 4.

Quadro 4 – Valores de fatores de equivalência para cada camada

Material da camada	Materiais típicos	Valor de K
Revestimento ou base de concreto asfáltico ou concreto betuminoso usinado a quente	CA ou CBUQ	2,0
Revestimento ou base pré-misturado denso a quente	PMQ	1,7
Revestimento ou base de pré-misturado denso a frio	PMF	1,4
Revestimento ou base betuminosa por penetração	PMAF, MB, TSS, TSD, TST	1,2
Camadas de materiais granulares	BGS, MH, BC, SB	1,0
Sub-base granular		0,77
Reforço do subleito – de qualquer natureza		0,71
Mat. Estabilizado com cimento Rc7 > 4,5 Mpa	BGTC, SC	1,7
Mat. Estabilizado com cimento 2,8 < Rc7 < 4,5 Mpa	SC	1,4
Mat. Estabilizado com cimento 2,1 < Rc7 < 2,8 Mpa	SMC	1,2
Mat. Estabilizado com cal	Solo-cal	1,2

Fonte: Pereira (2020).

Sendo assim, as demais camadas do pavimento são determinadas a partir das Equações 4, 5 e 6:

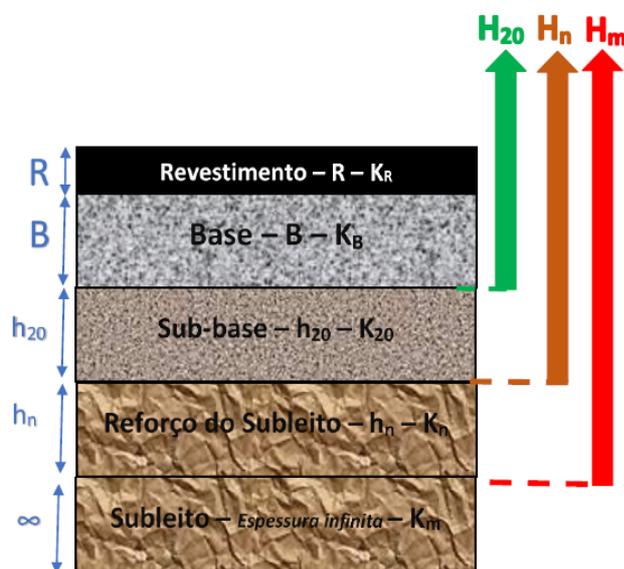
$$R * K_r + B * K_b \geq H_{20} \quad (4)$$

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * K_{20} \geq H_n \quad (5)$$

$$R * K_r + B * K_b + h_{20} * h_n * K_n \geq H_m \quad (6)$$

As Equações ficam melhor exemplificadas a partir da Figura 4.

Figura 4 – Caracterização de cada item das Equações de dimensionamento de pavimento



Fonte: Pereira (2020).

Por fim, respeitam-se os valores limites possíveis de cada camada que compõe o pavimento (QUADRO 5).

Quadro 5 – Espessuras mínimas e máximas possíveis para cada material

Material	Espessura Mínima	Espessura Máxima
BGS	12 cm	20 cm
MS	16 cm	21 cm
SOLOS	15 cm	20 cm
BGTC, SC, CCR	10 cm	20 cm
CA	2,5 cm	7,5 cm

Fonte: DNIT (2006).

O quadro acima é válido para os demais métodos de dimensionamento também. Uma vez que as espessuras calculadas atendem os intervalos estipulados pela Norma, o dimensionamento está finalizado.

2.2.1.2 Dimensionamento a partir do Método MeDiNa

O método, que tem seu nome em homenagem ao professor brasileiro Jacques de Medina e também significa a abreviatura de Método de Dimensionamento Nacional, realiza o dimensionamento através de uma análise empírica-mecanicista em um *software* (STRATURA ASFALTOS, 2020). Diferentemente do Método do DNER já abordado, o MeDiNa avalia os efeitos gerados por todas as camadas do pavimento, não só pelo subleito. Dessa forma, considera as tensões e deslocamentos de toda a estrutura e esses valores são descritos pela área de trincamento formada na superfície da via a partir da ruptura por fadiga e pelo afundamento de trilha de roda. Além disso, o *software*, gera relatórios que discorrem o aumento dos danos gradativamente ao longo do período de projeto estipulado inicialmente (VENESCAU, 2022). O Método, assim como o DNER, faz o uso do eixo-padrão e FEC USACE para dimensionamento do tráfego.

De acordo com Franco (2007), o emprego de uma análise empírica-mecanicista tem como objetivo, diferentemente do método empírico considerado nos dimensionamentos convencionais, melhorar a malha viária no que diz respeito à eficiência estrutural. Para isso, o programa torna possível considerar materiais que, na prática ainda não possuem muita experiência no quesito desempenho de campo, além de condições ambientais e de tráfego.

Conforme DNIT (2020), subdividiram-se as malhas viárias conforme a hierarquia dos sistemas funcionais. É fundamental que seja definido o tipo de via conforme o dimensionamento, uma vez que cada classificação possui sua confiabilidade específica para o dimensionamento e analisa a estrutura com um limite de área trincada e de afundamento de trilha de roda, ou seja, os critérios de parada do dimensionamento (QUADRO 6).

Quadro 6 – Classificação da via, confiabilidade e critérios de parada

TIPO DE VIA	CONFIABILIDADE	ÁREA TRINCADA	DEF.PERMANENTE
Sistema Arterial Principal	95%	30%	10mm
Sistema Arterial Primário	85%	30%	13mm
Sistema Arterial Secundário	75%	30%	20mm
Sistema Coletor Primário	85%	30%	13mm
Sistema Coletor Secundário	75%	30%	20mm
Sistema Local	65%	30%	20mm

Fonte: DNIT (2020).

Além do *software* MeDiNa, há outros dois programas junto a ele. O AEMC, o qual prevê os esforços gerados pelo tráfego na estrutura em estudo, e o BackMeDiNa, que é uma rotina de retroanálise que consegue analisar as bacias formadas em um segmento homogêneo, diagnosticando-as e tornando possível a execução de um projeto de reforço estrutural se necessário (FRANCO, 2019).

O programa computacional é uma solução gerada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR) e o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da COPPE, também em parceria com a CENPES e outras instituições de ensino nacionais. Para que se torne possível o uso confiável dos resultados gerados pelo *software*, é de extrema importância que sejam conhecidas e consideradas as propriedades das camadas de materiais existentes de forma certa, ou seja, resultados obtidos a partir de ensaios laboratoriais. Em contrapartida, camadas a serem produzidas, como misturas asfálticas, podem ter suas propriedades definidas pelo projetista de modo a otimizar o projeto. São considerados os seguintes parâmetros para a caracterização das camadas: Módulo de Resiliência, Coeficiente de Poisson, espessura, características como massa específica, umidade ótima, energia de compactação, modelo de deformação permanente, faixa granulométrica, índice de vazios, resistência à tração, alguns especificamente para camadas granulométricas, outros para camadas asfálticas e alguns para ambas. É fundamental também o correto dimensionamento do tráfego. O número N, por exemplo, é sensível a pequenas variações. Ainda, deve ser especificado o tipo de via conforme o Quadro apresentado acima, o VDM, o FV, a % de veículos na faixa de projeto, a taxa de crescimento e o período de projeto (DNIT, 2020).

Ainda conforme DNIT (2020), o funcionamento deste programa considera hipóteses análogas às aplicadas em soluções de problemas de elasticidade linear em aplicações de multicamadas e contínuas. As hipóteses consideradas são:

- São materiais elásticos lineares, isotrópicos e homogêneos;
- A lei de Hooke é válida e os módulos de compressão e tração são similares;
- Horizontalmente as camadas possuem dimensões ilimitadas;
- A camada de subleito (fundação) é considerada semi-infinita, enquanto as superiores a esta são todas finitas;
- Fora da área de carregamento da camada superficial não são consideradas tensões;
- Na área carregada há a ocorrência, somente, de tensões normais;
- A carga atuante é considerada estática e uniformemente distribuída na área circular de contato;
- Tensões e deformações são nulas em grandes profundidades;
- As condições de aderência na interface das camadas podem ser totalmente aderentes ou sem aderência.

De acordo com Silva (2018), os materiais de pavimentação possuem um comportamento elástico não linear, diferentemente do que é considerado no comportamento elástico-linear da teoria da elasticidade. Entretanto, para que seja possível fazer o uso da Equação de Burmister e da teoria da elasticidade para determinar o estado de tensões em uma aplicação multicamada, essa simplificação é permitida e adotada.

O sistema de cálculo computacional permite que a estrutura seja analisada ou dimensionada. O primeiro caso verifica a área trincada e a deformação permanente a partir das condições adotadas pelo projetista e elabora, ao final, um resumo dos resultados obtidos, sem alterar a espessura das camadas. Já ao optar pelo comando de dimensionar e ao selecionar a camada desejada, o programa avalia-a e altera a sua espessura pré-definida pelo projetista, se necessário.

2.2.2 Pavimentos intertravados

Outra alternativa de pavimentação bastante utilizado é o pavimento intertravado. De acordo com a ABCP (2010), esse estilo de pavimentação tem sua origem há quase 5.000 anos a.C. na Mesopotâmia com os pavimentos revestidos de pedras. Anterior ao pavimento intertravado, fez-se o uso da pedra talhada, popular paralelepípedo.

Os blocos que constituem o pavimento intertravado são de concreto, sendo assentados por uma camada de areia imediatamente acima da estrutura dimensionada e travados entre si por contenções laterais. São conhecidos pelo nome visto que o sistema de pavimentação tem por objetivo intertravar as peças individuais, não permitindo assim o deslocamento horizontal, vertical, de giração ou de rotação em relação a estrutura como um todo (ABCP, 2010). Conforme a NBR 15953 (2011), os intertravamentos necessários estão relacionados a:

- Intertravamento vertical: capacidade de resistir aos esforços de cisalhamento entre as peças;
- Intertravamento horizontal: capacidade de resistir aos esforços de aceleração e frenagem de veículos sobre o pavimento;
- Intertravamento rotacional: capacidade de resistir a esforços perpendiculares excêntricos aos eixos das peças;
- Intertravamento geracional: capacidade de resistir a esforços pontuais no eixo das peças;

A Figura 5 descreve os quatro tipos de deslocamentos impedidos pelo intertravamento.



Fonte: ABCP (2020).

O dimensionamento do pavimento intertravado dispõe de camadas de sub-base e base acima do subleito e abaixo da camada das peças de concreto, havendo a possibilidade também de aplicar a camada de reforço do subleito (ABCP, 2010).

Assim como no pavimento asfáltico, o subleito deve apresentar, necessariamente, um valor de CBR $\geq 2\%$ e um valor de expansão volumétrica $\leq 2\%$. Recomenda-se, ainda, que essa camada esteja bem drenada e que o lençol freático esteja, pelo menos, 1,50 m abaixo da cota final do pavimento. As camadas de base e sub-base podem ser feitas de agregados industriais, reciclados ou cascalhos, além de misturas estabilizadas com cimento. A camada de assentamento, que é constituída por materiais pétreos granulares, tem a função de apoiar uniformemente as peças de concreto, nivelando e preenchendo a parte inferior, garantindo o intertravamento. Especificamente, a umidade do material na hora da aplicação deve variar entre 3% e 5% e ter uma espessura constante de 5cm, variando 2cm para mais e para menos não compactada. Recomenda-se, ainda, a seguinte composição granulométrica do material (ABNT, 2011) (QUADRO 7).

Quadro 7 – Distribuição granulométrica

Abertura da peneira (ABNT NBR NM ISSO 3310-1)	Porcentagem retida, em massa (%)
4,5 mm	0
2,36 mm	0 a 25
1,18 mm	5 a 50
600 μm	15 a 70
300 μm	50 a 95
150 μm	85 a 100
75 μm	90 a 100

Fonte: ABNT (2011).

De acordo com Pereira (2020b), a areia de assentamento pode ser substituída por pó-de-brita desde que respeite a distribuição granulométrica normatizada. Conforme a NBR 15953 (2011), é fundamental que se realize o rejuntamento ou areia de selagem com material pétreo granular e as juntas, por sua vez, devem variar de 2 a 5 mm de espessura. Após o espalhamento da areia de selagem deve ser feita a compactação final. A estrutura do pavimento intertravado pode ser visualizada na Figura 6.

Figura 6 – Estrutura de pavimento intertravado para um projeto de calçada

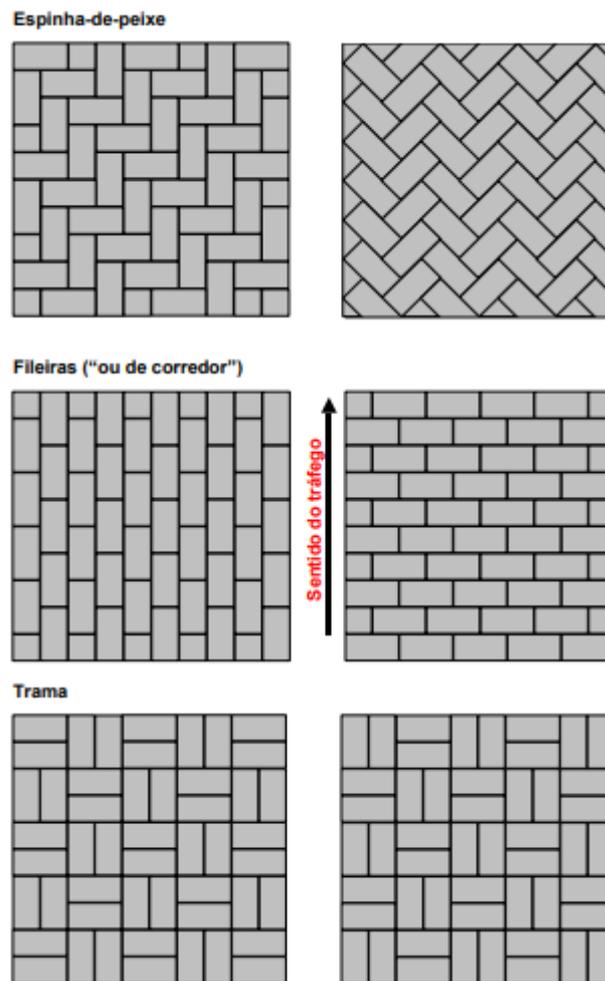


Fonte: ABCP (2010).

A contenção lateral é um aspecto fundamental para garantir o intertravamento esperado, uma vez que ela impede o deslocamento lateral das peças. Ela ameniza o empuxo que o pavimento produz para sua lateral externa e, conseqüentemente, impede o deslocamento e a abertura das juntas. A face vertical interior da contenção deve estar, pelo menos, 15cm abaixo da cota de nível superior da areia de assentamento (PEREIRA, 2020b).

De acordo com Hallack (1998 apud GODINHO, 2009), a espessura, o formato e o arranjo das peças de concreto do pavimento intertravado estão diretamente relacionadas com a distribuição de esforços na estrutura do pavimento. Os principais arranjos de peças de concretos existentes e utilizados podem ser vistos na Figura 7.

Figura 7 – Diferentes arranjos de pavimento intertravado

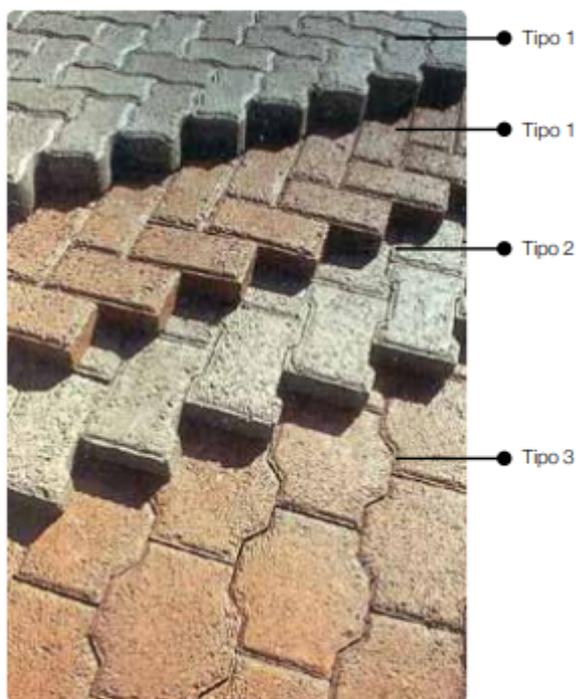


Fonte: Hallack (1998, apud GODINHO, 2009).

Hallack (1998, apud GODINHO, 2009) comenta que, dentre os arranjos mais utilizados, o “espinha de peixe” se sobressai no quesito desempenho, uma vez que possuem menores valores de deformações permanentes associadas ao tráfego.

A ABCP (2010), elenca três formatos principais para os blocos cerâmicos utilizados, sendo eles: retangulares, em formato “I” e “prismáticas. Os retangulares podem ser com as arestas retas, curvilíneas ou poliédricas e geralmente têm dimensões de 20 x 10cm. Os modelos em “I” possuem, normalmente, as mesmas dimensões e costumam ser aplicados no arranjo fileira. Já o formato “prismático” não tem uma forma específica e são peças de dimensões e pesos maiores (FIGURA 8).

Figura 8 – Opções de formato de blocos de concreto



Fonte: ABCP (2010).

Por fim, as espessuras das peças de concreto pré-fabricadas variam de 60 a 120 mm, sendo 120 mm recomendados só para tráfegos muito pesados.

2.2.2.1 Dimensionamento a partir do Método PCA/84

No presente trabalho, o modelo de pavimento intertravado será dimensionado pelo Método do PCA/84 e pelo Método CMAA.

Para a utilização do Método PCA/84, é necessário que se tenha o número de solicitações da via e o valor do CBR do subleito. A previsão de tráfego, calculada pelo número N , é basicamente a mesma que a utilizada no Método do DNER para pavimentos de concreto asfáltico. Entretanto, a diferença está na determinação do Fator de Veículo (F_v), valor que será inserido na Equação do N . O valor de FEC, para esse.

Quadro 8 – Fator de equivalência de acordo com o eixo solicitante

Carga por eixo	Fator de Equivalência	
	Eixos Simples	Eixos Tandem Duplos
4	0,020	0,010
6	0,270	0,080
8	1,000	0,210
10	3,200	0,490
14	22,000	1,900
17		5,600
21		14,000

Fonte: ABCP (2010).

Com esses dois parâmetros determinados, CBR e número N, faz-se o uso do Quadro 9 de modo a encontrar a espessura adequada e necessária de base e sub-base para a estrutura.

Quadro 9 – Espessura total da camada de sub-base e base (cm)

Número de solicitações do eixo-padrão	Espessura total das camadas de base e sub-base (cm)											
	CBR do subleito (%)											
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20	
1.000	26	21	17									
2.000	29	24	20	17								
4.000	33	27	23	19	17							
8.000	36	30	25	22	19							
10.000	37	31	26	23	20	15						
20.000	41	34	29	25	22	17						
40.000	44	37	32	28	24	19	15					
80.000	48	40	35	30	27	21	17					
100.000	49	41	36	31	27	22	17					
200.000	52	44	38	34	30	24	19					
400.000	56	47	41	36	32	26	21					
800.000	59	51	44	39	34	28	23	15				
1.000.000	60	52	45	39	35	28	23	16				
2.000.000	64	55	47	42	38	30	25	17				
4.000.000	68	58	50	45	40	33	27	19				
8.000.000	71	61	53	47	42	35	29	20				
10.000.000	72	62	54	48	43	35	29	21				

Fonte: ABCP (2010).

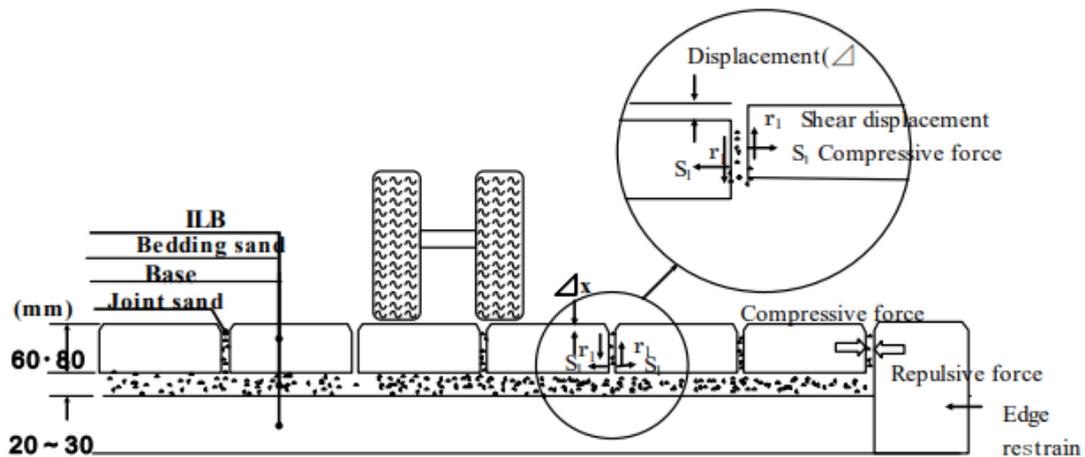
Posteriormente, determina-se a espessura de cada camada separadamente, respeitando os mesmos limites de espessuras para cada material citado no pavimento flexível (QUADRO 5) e, por fim, determina-se o formato do bloco de concreto, sua espessura, arranjo e resistência.

2.2.2.2 Dimensionamento a partir do Método CMAA

O Método conhecido por CMAA (*Concrete Masonry Association of Australia*) é usado desde 1997. Esse método de dimensionamento conta com o *Software Design Pave v.2.0*, sendo necessário conhecer o CBR do subleito e o número N de solicitações ao longo do período de projeto.

Conforme Noda, Kasahara e Yaginuma (2007), no momento em que a roda do veículo passa por cima da via, uma força de compressão horizontal é gerada entre os blocos em função da expansão volumétrica da areia em função dos efeitos do cisalhamento e, conseqüentemente, a carga é transferida aos blocos adjacentes (FIGURA 9).

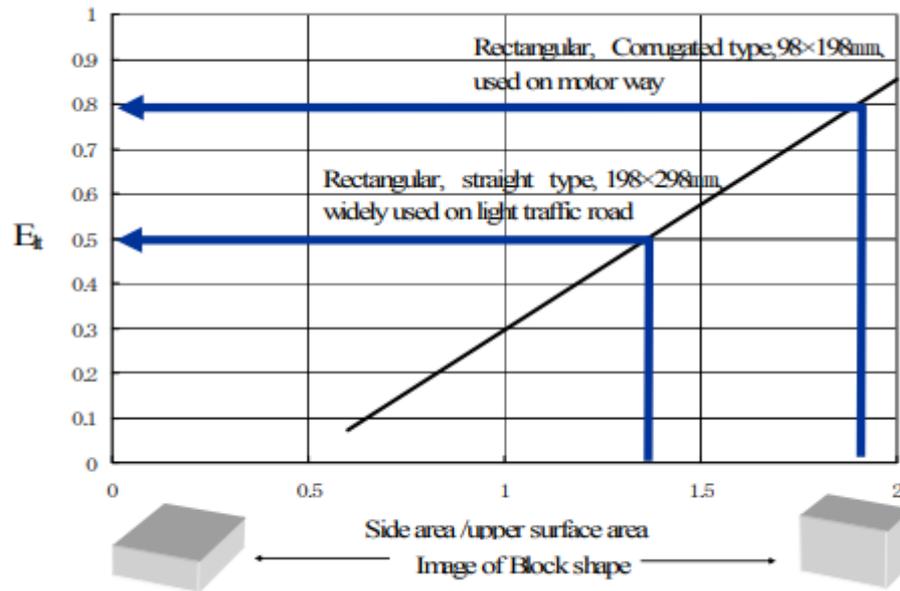
Figura 9 – Resposta da estrutura a uma solicitação no pavimento



Fonte: Noda, Kasahara e Yaginuma (2007).

Ainda, o autor reforça que as estruturas do tipo “segmentar”, também conhecidas como 16 faces, possuem melhor desempenho que as retangulares, uma vez que quanto maior a superfície de contato, melhor a eficiência de transferência de carga (Elt) do bloco conforme a Figura 10. A Figura compara o desempenho de dois formatos de blocos, sendo um retangular corrugado e outro retangular reto.

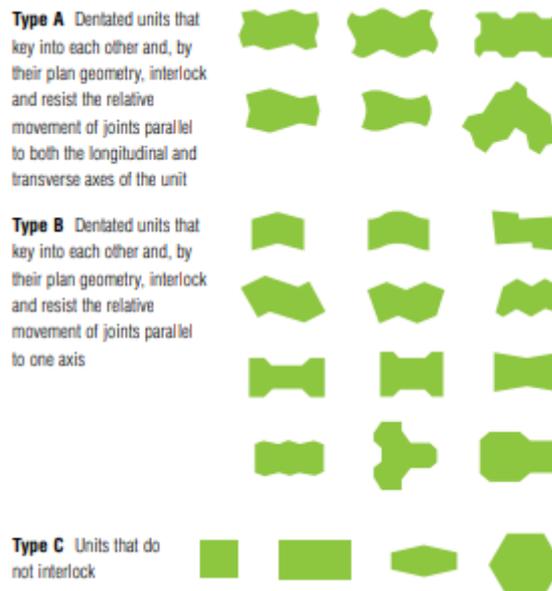
Figura 10 – Diferença de desempenho entre bloco retangular e segmentado



Fonte: Noda, Kasahara e Yaginuma (2007).

Conforme CMAA (2014), há três tipos de formas de blocos de pavimento intertravado: A, B e C, sendo os tipos B e C iguais em desempenho. Elas podem ser visualizadas na Figura 11.

Figura 11 – Formas dos blocos de concreto conforme CMAA



Fonte: CMAA (2014).

De acordo com a Figura acima, blocos do tipo A caracterizam-se por ser unidades corrugadas que se encaixam entre si, intertravam e resistem ao movimento

relativo das juntas paralelas aos eixos longitudinal e transversal do bloco. Já blocos do tipo B são classificados como corrugados que se encaixam, interligando-se e resistindo ao movimento relativo de juntas paralelas a um eixo do bloco. Os blocos tipo C são unidades que não intertravam entre si.

O Quadro abaixo ainda recomenda, em função do número de solicitações, qual forma de bloco usar, qual arranjo e qual a espessura (CMAA, 2014).

Quadro 10 – Determinações de dimensionamento a partir do número N

Estimated traffic [†] (commercial vehicles exceeding 3 t gross)	Recommended surface layer		
	Shape type	Thickness (mm)	Laying pattern*
Up to 10 ³	A,B or C	60	H,B or S
10 ³ to 10 ⁴	A	60	H only
	A, B or C	80	H,B or S
Over 10 ⁴	A only	80	H only

[†]Including building construction traffic

*H = Herringbone, B = Basketweave, S = Stretcher

Fonte: CMAA (2014).

Para tráfegos inferiores a 10³ recomenda-se blocos tipo A, B ou C, com espessura de 60mm e padrão de assentamento espinha de peixe, trama ou fileira. Para tráfegos acima de 10³ e abaixo de 10⁴, quando escolhido o tipo A de bloco de 60mm, recomenda-se um padrão de assentamento espinha de peixe e, para blocos tipo A, B ou C com espessura de 80mm, é possível a execução dos três padrões de assentamento. Por fim, para tráfegos superiores a 10⁴, sugere-se blocos tipo A, com espessura de 80mm e assentamento tipo espinha de peixe.

2.3 SISTEMAS DE ORÇAMENTO

Tanto na pavimentação quanto na construção civil existem sistemas de orçamento de modo a precificar de maneira precisa o serviço a ser prestado, sendo conhecido por SICRO o sistema de orçamento de obras rodoviárias e o SINAPI para a construção civil. Cada sistema de orçamento possui características e valores específicos subdivididos em regiões do território brasileiro.

2.3.1 SICRO

O sistema de orçamento que constitui os custos na pavimentação é denominado por Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO) e esse, por sua vez, é responsável pelos orçamentos de todos os serviços do DNIT. Conforme Gonzaga (2021), atualmente o sistema conta com mais de 6 mil composições de preços distintos, o que preserva a particularidade de cada obra e orçamento. Conforme o Manual de Custos de Infraestrutura e Transportes (DNIT), este sistema caracteriza-se por planilhas compostas dos seguintes elementos:

- preço de referência: dado estatístico desenvolvido a partir de pesquisas no mercado e sua principal função é servir de referência para tomadas de decisão;
- preço de venda: baseado nos custos, acrescido de despesas indiretas e margens de lucro desejadas. Neste caso, caracteriza o valor total da obra acabada, ou seja, valor dos custos somados ao BDI;
- custos e despesas: este item inclui tudo o que será gasto no que diz respeito à obra, seja mão de obra, materiais e equipamentos, quanto canteiros, administração local, mobilização e desmobilização;
- custo unitário do serviço: somatório dos custos de todos os insumos necessários à execução de uma unidade, determinada a partir da composição de custo unitário;
- custo unitário de referência: valor resultante de uma composição de custo do sistema mas direcionada para o local de análise, em função de parâmetros como FIC (Fator de Influência de Chuva), FIT (Fator de interferência do tráfego), ajustes de BDI quando necessário, etc.;
- custo total de referência do serviço: resultante do produto entre o custo unitário de referência e a quantidade deste;
- composição de custos: esta torna possível definir qualitativa e quantitativamente os insumos necessários à realização de um serviço, resultando em um preço final. Subdivide-se essa composição em horária e unitária, a primeira estabelece um curso para a produção de tal serviço por hora, já a segunda estipula o custo para a produção de uma unidade deste item.

As planilhas de orçamento do SICRO fazem o uso da composição mista horária e unitária, sendo os equipamentos e a mão de obra considerados de forma horária e materiais, serviços auxiliares e transportes no formato unitário.

Ainda conforme DNIT (2017) e como já citado anteriormente, este método de orçamento apresenta parâmetros que tornam o resultado mais particular de acordo com alguns fatores. O Fator de Influência da Chuva (FIC) traz à estimativa de preço questões climáticas regionais que interferem diretamente no processo executivo de uma obra, considerando a impossibilidade, muitas vezes, de trabalho em dias chuvosos. Esse parâmetro foi definido levando em consideração as séries históricas de diversas estações pluviométricas nacionais e só é utilizado quando, de fato, a condição climática é influente em determinado serviço. Ainda, tem-se o Fator de Interferência de Tráfego (FIT), o qual atua no momento em que a condição de tráfego pode influenciar no desempenho do serviço, ou seja, leva em consideração se são obras em rodovias novas ou existentes, a localização dessas obras, se abrangem áreas metropolitanas ou interior.

Conforme DNIT (2019), as primeiras tabelas de preços ainda do DNER começaram a surgir em 1946, tendo a aplicação do Sicro 1 somente em 1992. Nos anos de 2000, lançou-se o Sicro 2, o qual atuou até 2017, com o desenvolvimento do Sicro.

Nos orçamentos relacionados a pavimentos asfálticos que competem esse trabalho será utilizado o Sistema de Custos Rodoviários.

2.3.2 SINAPI

O sistema de orçamento destinado a precificar as edificações da construção civil é conhecido por Sistema Nacional de Índices de Construção Civil (SINAPI), este publicado em 1969 pelo Banco Nacional da Habitação (BNH) em conjunto com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). De acordo com Souza (2019), o sistema é mantido pela Caixa Econômica Federal desde 1986 e arquiva todos os preços de insumos e mão-de-obra utilizados na construção civil. O objetivo deste sistema, portanto, é apresentar os indicadores de serviços de maneira nítida e coerente e também atualizar as referências existentes, tomando conhecimento das evoluções no ramo da construção civil. O SINAPI apresenta planilhas de custos de orçamentos tanto na classificação analítica quanto na sintética. A primeira caracteriza-

se por exibir detalhadamente macro itens, desenvolvendo todos os quantitativos e custos que contemplam cada serviço. Já planilhas de orçamentos sintéticas une e apresenta estes macroitens em etapas como, por exemplo, infraestrutura, superestrutura, etc.

O método de aferição do sistema SINAPI de orçamentos dá-se por meio do cálculo da produtividade, na qual leva-se em consideração o “modelo de entradas e saídas”, em que se caracteriza como produtividade a capacidade de transformar recursos físicos (materiais, mão-de-obra) em serviços finais de maneira eficaz. Dessa forma, a estimativa de uma composição deve ser função da medida de produtividade para aquele recurso. Dois fatores que interferem diretamente no quesito produtividade são o produto e o processo, visto que cada item ou cada serviço pode vir a gerar maior ou menor aproveitamento e perda, conseqüentemente.

Assim como o SICRO, a SINAPI tem a sua organização e sua precificação específica para cada estado do país. Para o orçamento dos dimensionamentos de pavimentos intertravados será feito o uso desse sistema de custos.

3 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo, primeiramente, o condomínio de estudo será caracterizado. Posteriormente, será realizado o dimensionamento para suas vias por quatro diferentes métodos e por oito diferentes composições de estrutura de modo a optar pelo melhor sistema construtivo. Os métodos de dimensionamento serão o Método do DNER e o Método do MeDiNa para a solução de pavimento flexível e o Método PCA-1984 e o Método australiano CMAA-2010 para a solução de pavimento intertravado.

3.1 LOCALIZAÇÃO DA OBRA

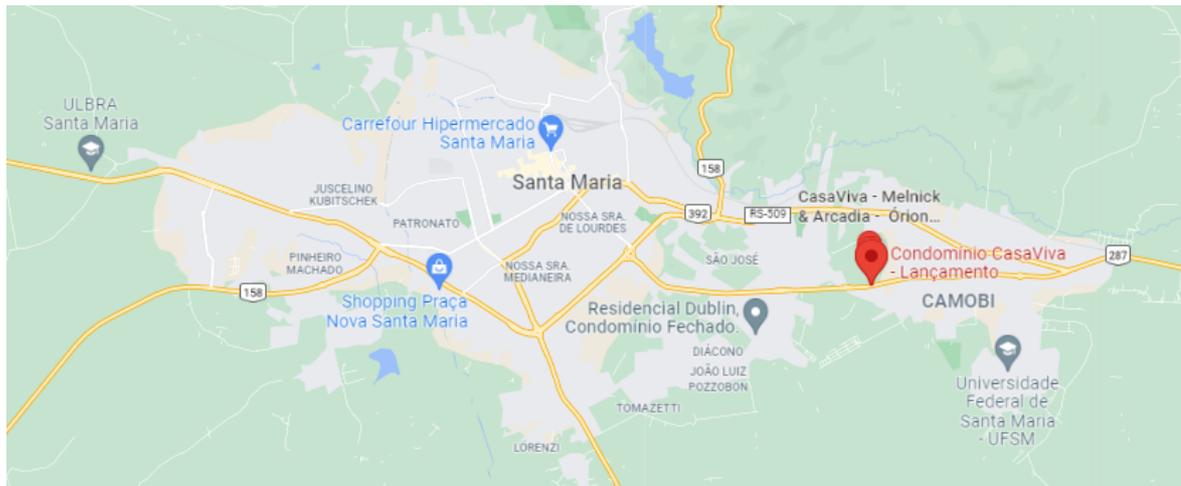
O condomínio horizontal residencial de estudo localiza-se na cidade de Santa Maria/RS, mais precisamente na rodovia BR 287, Km 236,70, bairro Camobi. A cidade de Santa Maria está localizada na região Central do Rio Grande do Sul, a 289 km de distância da capital Porto Alegre e possui uma população de 285 mil habitantes (FIGURAS 12 e 13).

Figura 12 – Localização da cidade de Santa Maria no estado



Fonte: Wikipedia (2022).

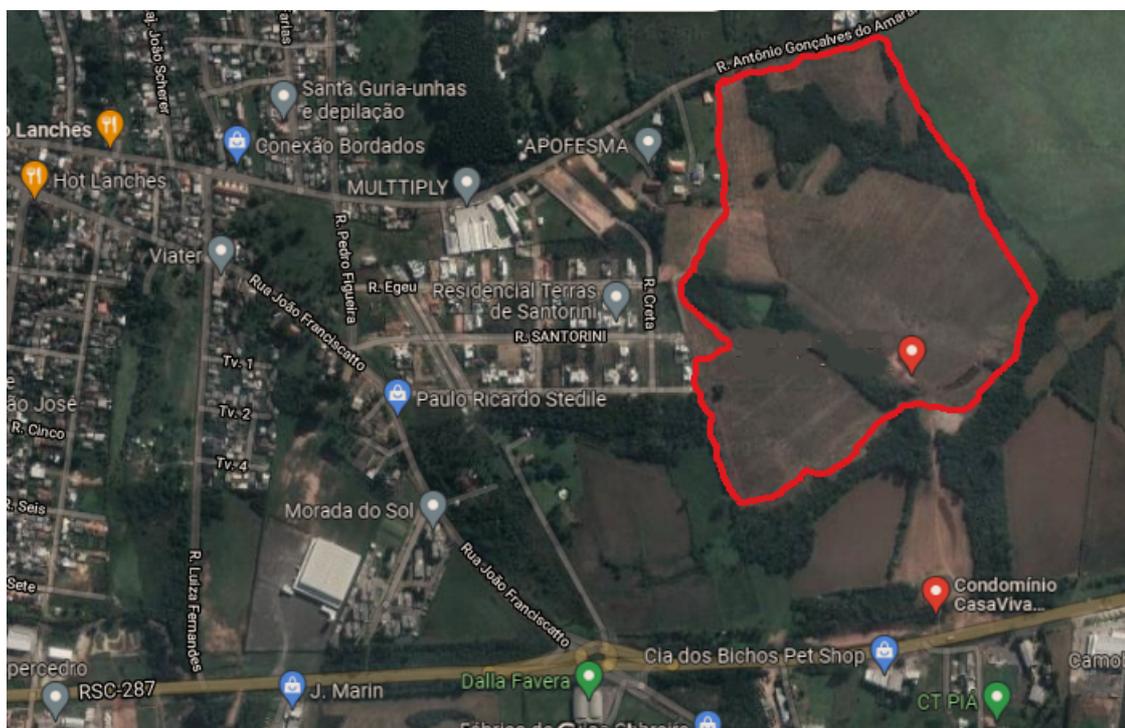
Figura 13 – Localização do condomínio dentro de Santa Maria/RS



Fonte: Google Maps (2022).

O empreendimento em fase de execução possui 332 lotes, com área total de terreno de 187.539,96 m² (FIGURA 14).

Figura 14 – Localização do Terreno a partir da BR 287



Fonte: elaborada pelo autor a partir de Google Maps (2022).

O condomínio dispõe de uma avenida principal e, originando-se dela, mais 13 vias de dois sentidos, com pista simples. No total, serão 19.289,79 m² de vias

pavimentadas. A área dos lotes varia de 300,00 a 552,38 m² e estão dispostos de acordo com a Figura 15.

Figura 15 – Disposição dos lotes no condomínio



Fonte: Melnick (2022).

A Figura 16 ilustra o local com as demarcações da via já executadas.

Figura 16 – Foto do local com o condomínio em andamento



Fonte: Melnick (2022).

3.2 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO INTERTRAVADO PELO MÉTODO DO PCA 1984

Para iniciar o dimensionamento, fez-se o cálculo do número N , ou seja, o número de usos previstos para o pavimento no seu dimensionamento. Analisou-se, dessa forma, um tráfego dividido entre dois tempos: a fase de construção das unidades habitacionais do condomínio e a fase de uso de condomínio, em que os proprietários já residem lá. O tempo de projeto, portanto, também foi dividido em duas fases: 2 anos para a construção das residências e 15 anos para de uso convencional. Em função da influência gerada sobre o pavimento, considerou-se somente os veículos de carga.

Para a realização da previsão de veículos de carga necessários para construção de uma residência de alto padrão, tomou-se como base a construção de uma residência unifamiliar de 315,00 m² na cidade de Venâncio Aires e, através das

notas fiscais de todos os insumos, além das tabelas de orçamento e quantitativos realizadas por um escritório de engenharia local, foi possível quantificar a quantidade de veículos de carga a serem utilizados. Essa referência de residência foi considerada uma vez que a obra em si foi executada durante o período de estágio realizado em Venâncio Aires/RS e, conseqüentemente, foi possível ter acesso facilitado aos documentos relacionados ao processo de construção da residência e ao engenheiro responsável pela obra. As determinações estão sendo exibidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Previsão de caminhões a serem utilizados na construção de uma residência de 315 m²

Etapa	Tipo	Utilidade	Configuração	Quantidade
Serv. preliminares e limpeza do terreno	Caminhão toco	Remover/carregar terra	1 ESRS +1 ESRD	28
Fundações	Caminhão trucado	Furação	1 ESRS + 1 ETD	1
Fundações	Caminhão duplo direcional trucado	Concreto	2 ESRS + 1 ETD	3
Andamento	Caminhão toco	Madeira	1 ESRS +1 ESRD	6
Andamento	Caminhão toco	Areia	1 ESRS +1 ESRD	6
Andamento	Caminhão toco	Brita	1 ESRS +1 ESRD	9
Andamento	Caminhão trucado	Alvenaria	1 ESRS + 1 ETD	6
Andamento	Caminhão trucado	Aço	1 ESRS + 1 ETD	8
Andamento	Caminhão trucado	Vigotas/tabelas	1 ESRS + 1 ETD	5
Andamento	Caminhão duplo direcional trucado	Concreto laje/estrutura concreto armado	2 ESRS + 1 ETD	19
Andamento	Caminhão trucado	Bomba concreto	1 ESRS + 1 ETD	10
Finalização	Caminhão trucado	Entulho	1 ESRS + 1 ETD	6
Finalização	Caminhão trucado	Revestimentos	1 ESRS + 1 ETD	2
Finalização	Caminhão toco	Esquadrias	1 ESRS + 1 ESRD	5
Finalização	Caminhão toco	Louças e móveis	1 ESRS + 1 ESRD	8

Fonte: autor (2021).

Para a discriminação e caracterização dos veículos considerados no estudo, considerou-se a carga máxima legal dos respectivos eixos conforme mostra na Tabela 2 (CONTRAN, 2006).

Tabela 2 – Carga Máxima Legal (CML) de cada eixo

Eixo	CML (t)
ESRS	6
ESRD	10
ETD	17

Fonte: CONTRAM (2006).

Tendo conhecimento da carga de cada eixo e da quantidade de eixos que solicitarão a via e sabendo que o tempo de projeto foi dividido em duas fases, dividiu-se o cálculo do número N em dois momentos também: o tempo de construção das residências e o tempo de uso do condomínio pelos moradores. Após determinar as solicitações de casa etapa, somaram-se os dois valores.

Para determinar o número N para o período de construção das unidades habitacionais, definiu-se, primeiramente, a quantidade de eixos de solicitação com o respectivo peso de um veículo para a construção de uma casa conforme na Tabela 3.

Tabela 3 – Quantidade total de eixos para a construção de uma residência

Modelo	Configuração	PBT (ton)	Quantidade
Caminhão toco	1 ESRS + 1 ESRD	16	62
Caminhão trucado	1 ESRS + 1 ETD	23	44
Caminhão duplo direcional trucado	2 ESRS + 1 ETD	29	22

Fonte: autor (2021).

A entrada e saída de veículos, no condomínio em estudo, é a mesma e, portanto, a via será solicitada duas vezes por veículo. Dessa forma, duplicou-se a quantidade de solicitações da via pelos eixos referidos. Com isso, a quantidade total de eixos de solicitações para a construção de unidades habitacionais foi determinada na Tabela 4.

Tabela 4 – Quantidade de eixos final de solicitação para a construção de uma residência

Modelo	Quantidade	ESRS	ESRD	ETD
Toco	124	124	124	0
Trucado	88	88	0	88
Duplo Direcional Trucado	44	88	0	44
TOTAL	256	300	124	134

Fonte: autor (2021).

Um total de 256 veículos trafegarão durante o período de 2 anos sobre as vias para construir uma única residência. Para que fosse possível calcular o Fator de Veículo (Fv), calculou-se a influência desses eixos, em forma de Volume Diário Médio (VDM), durante os 730 dias (2 anos) de execução. O cálculo foi realizado utilizando a Equação 7:

$$VDM = \frac{n^{\circ} \text{veículos} * 332 \text{ lotes}}{730 \text{ dias}} \quad (7)$$

Dessa forma, obtiveram-se os resultados exibidos na Tabela 5:

Tabela 5 – VDM de cada veículo proporcional aos 2 anos de construção

Modelo	VDM	ESRS	ESRD	ETD
Toco	56,395	56,395	56,395	0
Trucado	40,022	40,022	0	40,022
DD Trucado	20,011	40,022	0	20,011
TOTAL	116,427	136,438	56,395	60,033

Fonte: autor (2021).

Com o VDM de cada eixo e conforme o Fator de Equivalência exibido no Quadro 8, determinou-se o Fator de Veículo a partir da Equação 2 (TABELA 6).

Tabela 6 – Cálculo do Fator de Veículo primeira etapa

Eixos	Carga (tf)	Quantidade	Pi (%)	FEC	Pi (%) x FEC
ESRS	6	136,438	117,19	0,27	31,64
ESRD	10	56,395	45,44	3,2	155,00
ETD	17	60,033	51,56	5,6	288,75

$$\Sigma = 457,39 = 4,75$$

Fonte: autor (2021).

Em que o valor de Pi (%) = 117,19, por exemplo, foi determinado usando a Equação 8:

$$Pi (\%) = \frac{136,438}{116,427} = 1,1719 = 117,19\% \quad (8)$$

Além disso, os demais fatores necessários para a determinação do número N foram estabelecidos. Considerou-se, para o Fator de Frota (Ff), 1, uma vez que todos os veículos amostrados são comerciais. Já para o Fator de Sentido (Fs) considerou-se 0,5, visto que o tráfego é bidirecional. Para o Fator de Distribuição (Fd) utilizou-se 1,0 pois todos os veículos de um sentido trafegam na mesma via. Por fim, considerou-se 1,0 para o Fator Climático (Fr), valor frequentemente adotado. Dessa forma, determinou-se o número N do primeiro período.

$$N = 365 * 116,427 * 2 * 4,75 * 1 * 0,5 * 1 * 1 \quad (9)$$

De acordo com a Equação anterior, tem-se que o N da primeira fase é $2,02 \times 10^5$. Para determinar o N pós-ocupação das residências, estimou-se que, diariamente, 8 veículos da composição 1 ESRS + 1 ESRD transitariam pelo condomínio, veículos estes responsáveis por possíveis manutenções internas do condomínio, manutenções/reformas em residências, recolhimento de lixo, dentre outros. Considerando que a entrada e saída é a mesma, 16 caminhões por dia. A composição dos eixos, portanto, foi exibida na Tabela 7.

Tabela 7 – Quantidade de eixos considerada após a ocupação das residências

Modelo	Quantidade	ESRS	ESRD
Toco	16	16	16
TOTAL	16	16	16

Fonte: autor (2021).

Novamente fez-se o cálculo do Fv específico para essa composição (TABELA 8).

Tabela 8 – Fator de Veículos segunda etapa

Eixos	Carga (tf)	Quantidade	Pi (%)	FEC	Pi (%) x FEC
ESRS	6	16	100,00	0,27	27,00
ESRD	10	16	100,00	3,2	320,00

$$\Sigma = 347,00 = 3,47$$

Fonte: autor (2021).

Além disso, considerou-se, além da quantidade de veículos já citada, que o período de projeto de dimensionamento será de 15 anos e que, nesse período, não

haverá aumento do tráfego, permanecendo, portanto, constante. Assim foi possível determinar o número N da segunda etapa conforme Equação 10. Os coeficientes atribuídos no cálculo anterior mantiveram-se.

$$N = 365 * 16 * 15 * 3,47 * 1 * 0,5 * 1 * 1 \quad (10)$$

De acordo com a Equação anterior, tem-se que o N da segunda fase é $1,52 \times 10^5$.

O número N de solicitações total, portanto, é $3,55 \times 10^5$.

Para que fosse possível dimensionar a estrutura do pavimento a ser executado, além do número N foi necessário o valor do CBR do subleito. Foi fornecido, para o estudo, um ensaio laboratorial realizado de 14 sondagens e o CBR obtido foi de 3,8%. Portanto, esse foi o CBR considerado em projeto. Com essas informações, foi possível determinar a espessura total de camadas a ser utilizada sobre o subleito como mostra a Tabela 9.

Tabela 9 – Relacionando CBR e N para determinação da espessura de dimensionamento

Número de solicitações do eixo-padrão	Espessura total das camadas de base e sub-base (cm)										
	CBR do subleito (%)										
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20
1.000	26	21	17								
2.000	29	24	20	17							
4.000	33	27	23	19	17						
8.000	36	30	25	22	19						
10.000	37	31	26	23	20	15					
20.000	41	34	29	25	22	17					
40.000	44	37	32	28	24	19	15				
80.000	48	40	35	30	27	21	17				
100.000	49	41	36	31	27	22	17				
200.000	52	44	38	34	30	24	19				mínimo 15 cm
400.000	56	47	41	36	32	26	21				
800.000	59	51	44	39	34	28	23	15			
1.000.000	60	52	45	39	35	28	23	16			
2.000.000	64	55	47	42	38	30	25	17			
4.000.000	68	58	50	45	40	33	27	19			
8.000.000	71	61	53	47	42	35	29	20			
10.000.000	72	62	54	48	43	35	29	21			

Fonte: adaptada pelo autor de ABCP (2010).

Não havendo os valores exatos tanto de CBR quanto do número N, fez-se as interpolações necessárias para que fosse possível encontrar a espessura correta conforme as Tabelas 10, 11 e 12.

Tabela 10 – Interpolação 1 (para CBR = 3,5%)

N	Hsb+b
200.000	34
354.008	X
400.000	36

Fonte: autor (2022).

A espessura resulta em 35,54cm.

Tabela 11 – Interpolação 2 (para CBR = 4,0%)

N	Hsb+b
200.000	30
354.008	X
400.000	32

Fonte: autor (2022).

A espessura resulta em 31,54cm.

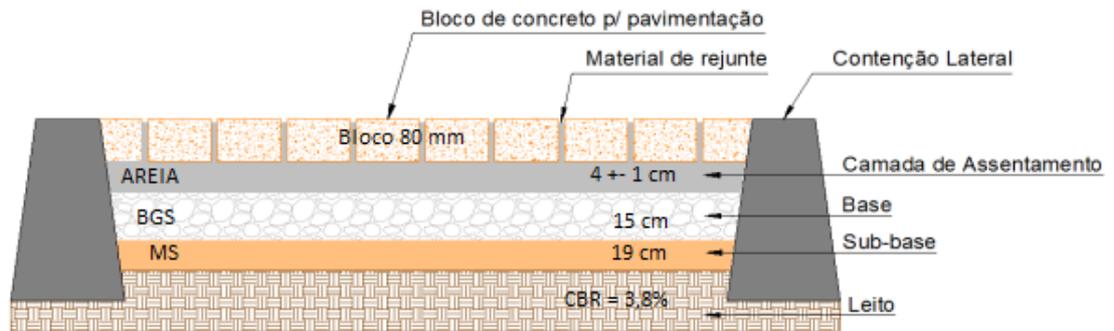
Tabela 12 – Interpolação 3 (para CBR = 3,8%)

CBR	Hsb+b
3,5	35,54
3,8	X
4,0	31,54

Fonte: autor (2022).

A espessura resulta em 33,14cm. Adotou-se, dessa a forma, para a camada de sub-base e base juntas, uma espessura de 34,00cm. Conhecendo os limites de cada camada conforme a Tabela 12, adotou-se uma base de Brita Graduada Simples (BGS) de 15cm e uma sub-base de Macadame Seco (MS) de 19cm. Dessa forma, a estrutura resultante está exposta na Figura 17.

Figura 17 – Estrutura final – dimensionamento PCA 1984



Fonte: adaptado pelo autor de SINAPI (2017).

Além disso, considerando que o tráfego é de veículos comerciais, adotou-se o bloco de 80 mm, em formato retangular angular e arranjo espinha de peixe, de modo a gerar melhor desempenho para a via.

3.3 DIMENSIONAMENTO PELO MÉTODO CMAA 2010

Neste dimensionamento fez-se o uso do *Software Design Pave v2.0*, desenvolvido pela CMAA. Para melhor entendimento do *Software* e seu funcionamento, fez-se o uso do roteiro desenvolvido por Marcuz (2021). Portanto, inicialmente, alterou-se o formato de região do computador para Inglês (Austrália) para que se obtivessem os resultados reais. Ao entrar no *Software* é necessário preencher um breve cadastro e, posteriormente, optou-se pelas seguintes opções. Primeiramente, foi selecionada a opção “*Design Pave*” e, em seguida, a opção “*Design*”, visto que o objetivo é criar um novo projeto de pavimento. Escolheu-se, então, a opção “*Road*” entre as opções de estrada e indústria. Por fim, a opção “*ESA = Equivalent Standard Axle*” que, assim como no método PCA 1984, faz o uso de um eixo padrão para o dimensionamento.

Na próxima aba, entrou-se com os valores de N e de CBR do subleito e calculou-se o módulo equivalente conforme a Figura 18.

Figura 18 – Dados de entrada para o dimensionamento

DesignPave v1.0

File Navigation Help

SUBGRADE MATERIAL PROPERTIES AND EQUIVALENT STANDARD AXLE (ESA) LOAD

CMAA
CONCRETE MASONRY ASSOCIATION OF AUSTRALIA

D method >> Road/Indus >> ESA/AADT >> Subgrade >> Layers >> Design >> Cost >> Report

This page allows you to input an estimated design traffic figure using ESA and calculate the strength of the subgrade using the California Bearing Ratio (CBR).

Estimated ESA repetitions = 354008

Estimated subgrade CBR

Subgrade CBR (%) = 3.8

Or

Sample CBRs

Sample subgrade CBR (%) = 4

Remove Add

Calculate

Equivalent subgrade modulus = 380 MPa

Equivalent subgrade CBR (%) =

< Previous Save Next >

Fonte: CMAA (2022).

Após isso, optou-se pela estrutura de base + sub-base (FIGURA 19).

Figura 19 – Escolha da estrutura do pavimento

DesignPave v1.0

File Navigation Help

SELECT LAYER SYSTEM

CMAA
CONCRETE MASONRY ASSOCIATION OF AUSTRALIA

D method >> Road/Indus >> ESA/AADT >> Subgrade >> Layers >> Design >> Cost >> Report

This page allows you to select the proposed structure below the pavement.

Selection of the right pavement structure will depend on the CBR of the subgrade. As a guide, a soaked CBR for the subgrade of:

- 4% or more will not require the use of a sub-base;
- 4% or less will need a sub-base inserted; or
- 2% or less will need a stabilised sub-base inserted.

BASE COURSE

SUBGRADE

BASE COURSE

SUB-BASE

SUBGRADE

BASE COURSE

STABILISED SUB-BASE

SUBGRADE

< Previous

Fonte: CMAA (2022).

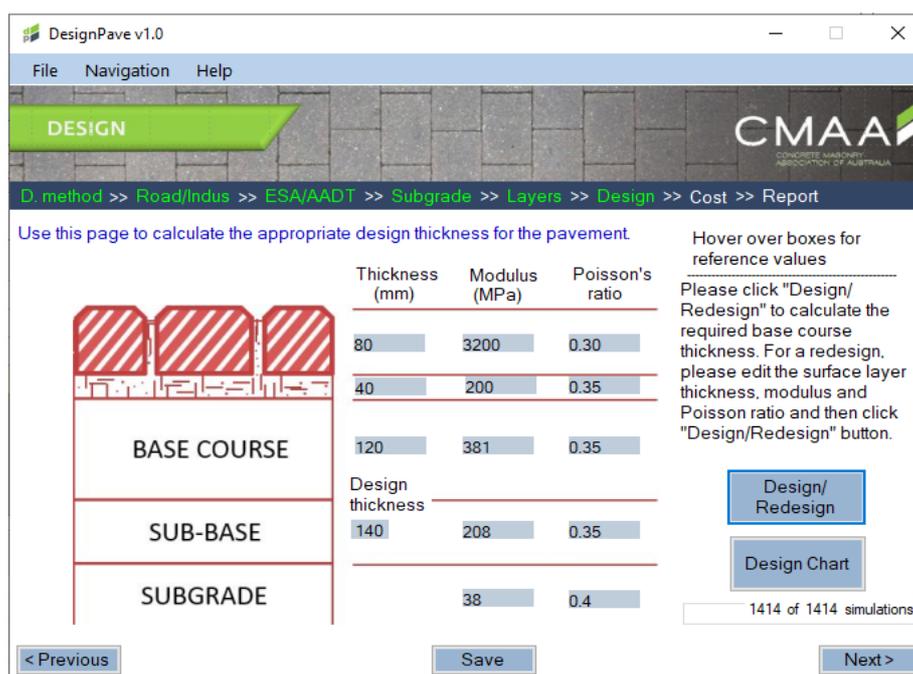
Para dar continuidade no dimensionamento, foi necessário entrar com alguns valores no *Software*, de modo a caracterizar melhor o solo. Os valores foram atribuídos respeitando os limites do programa (TABELA 13).

Tabela 13 – Espessura das camadas pavimento intertravado

	Espessura (mm)		Módulo de Resiliência (Mpa)		Coeficiente de Poisson	
	Limite	Adotado	Limite	Adotado	Limite	Adotado
Bloco concreto	60 – 120	80	500 – 7500	3200	0 – 0,5	0,3
Areia assentamento	20 – 40	40	100 – 400	200	0 – 0,5	0,35
Base BGS	≥100	120	200 – 800	381	0 – 0,5	0,35
Sub-base MS	≥100	X	150 - 450	208	0 – 0,5	0,35
Subleito	-	-	-	-	0- 0,5	0,40

Fonte: CMAA (2022).

Após isso, o programa determinou as espessuras de base e sub-base (FIGURA 20).

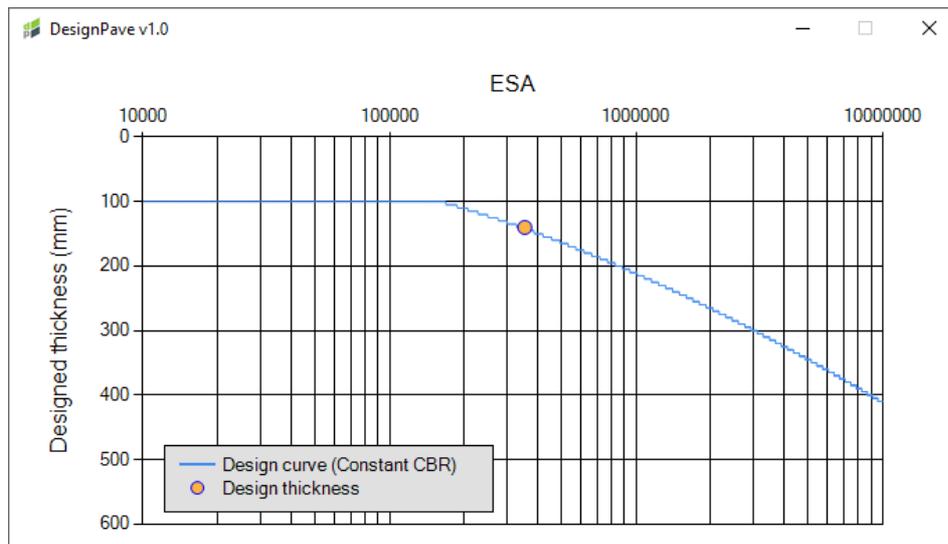
Figura 20 – Dimensionamento final *Design Pave v2.0*

Fonte: CMAA (2022).

Dessa forma, a camada de sub-base foi definida em 14 cm. Entretanto, a espessura mínima para uma camada de macadame seco é de 16 cm e, por isso, determinou-se a espessura da camada como esse último valor.

Além disso, é gerado um gráfico no programa que correlaciona o número de solicitações N com a espessura da sub-base (FIGURA 21).

Figura 21 – Gráfico N x espessura sub-base gerado pelo CMAA



Fonte: CMAA (2022).

Dessa forma, a estrutura dimensionada pelo Software é conforme a Figura 22.

Figura 22 – Estrutura final – dimensionamento CMAA 2010

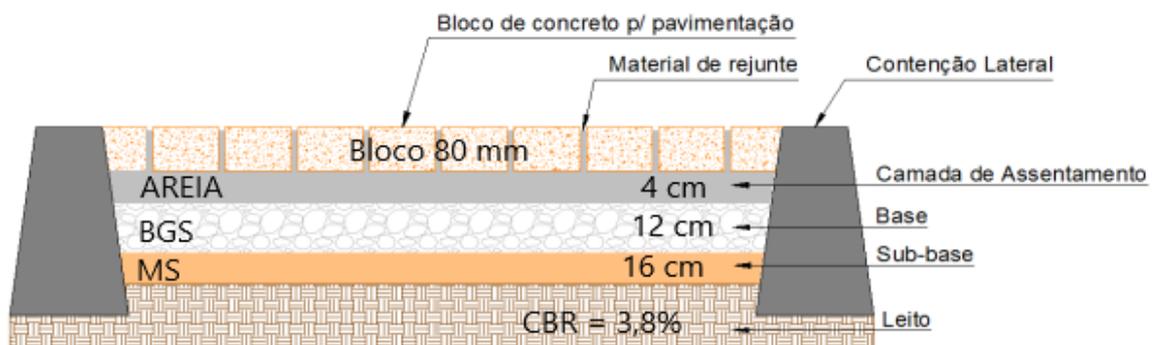


Figura 1: Componentes do pavimento intertravado

Fonte: autor adaptado de SINAPI (2017).

Conforme a Tabela 13 citada anteriormente, para tráfegos superiores a 10000, a CMAA recomenda o uso de blocos segmentados, uma espessura de 80 mm e o arranjo “espinha de peixe”.

3.4 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO PELO MÉTODO DO DNER – ESTRUTURA COMPLETA

Nesta seção, dimensionou-se a estrutura para um pavimento flexível de revestimento em concreto asfáltico através do Método do DNER, baseado no método do CBR da USACE.

Inicialmente, para o cálculo do número N de solicitações, diferentemente do dimensionamento de pavimentos intertravados, fez-se o uso das equações da USACE para a determinação do FEC, item necessário no cálculo do Fator de Veículo (Fv). As demais incógnitas e composições de tabelas mantiveram-se e o número N também foi dividido em duas fases. Dessa forma, o valor de Fv da primeira etapa foi obtido a partir da Tabela 14.

Tabela 14 – Fator de Veículos primeira etapa

Eixos	Carga (tf)	Quantidade	Pi (%)	FEC	Pi (%) x FEC
ESRS	6	136,438	117,19	0,2779	32,57
ESRD	10	56,395	45,44	3,2895	159,33
ETD	17	60,033	51,56	8,5488	440,80
					$\Sigma = 632,70 = 6,33$

Fonte: autor (2021).

Nesse caso, o FEC do eixo ESRD com carga igual a 10tf, por exemplo, foi calculado da seguinte forma:

$$FC = 1,8320 * 10^{-6} * (10)^{6,2542} = 159,33 \quad (11)$$

Com os mesmos valores para os demais coeficientes, determinou-se o número N.

$$VDM = 116,427$$

$$P = 2 \text{ anos}$$

$$Ff = 1$$

$$Fs = 0,5$$

$$Fr = 1$$

$$Fd = 1$$

$$N = 365 * 116,427 * 2 * 6,33 * 1 * 0,5 * 1 * 1 \quad (12)$$

De acordo com a Equação 12, tem-se que o N da primeira fase é $2,69 \times 10^5$.

Admitindo os mesmos 8 caminhões que transitarão pelo condomínio diariamente, foi possível determinar o N pós-ocupação dos moradores, inicialmente calculando o Fv (TABELA 15).

Tabela 15 – Fator de Veículo segunda etapa

Eixos	Carga (tf)	Quantidade	Pi (%)	FEC	Pi (%) x FEC
ESRS	6	16	100,00	0,2779	27,79
ESRD	10	16	100,00	3,2895	328,95
					$\Sigma = 356,74 = 3,57$

Fonte: autor (2021).

Sabendo que o período de projeto é de 15 anos, definiu-se o número N para a segunda fase, conforme a Equação 13.

$$N = 365 * 16 * 15 * 3,57 * 1 * 0,5 * 1 * 1 \quad (13)$$

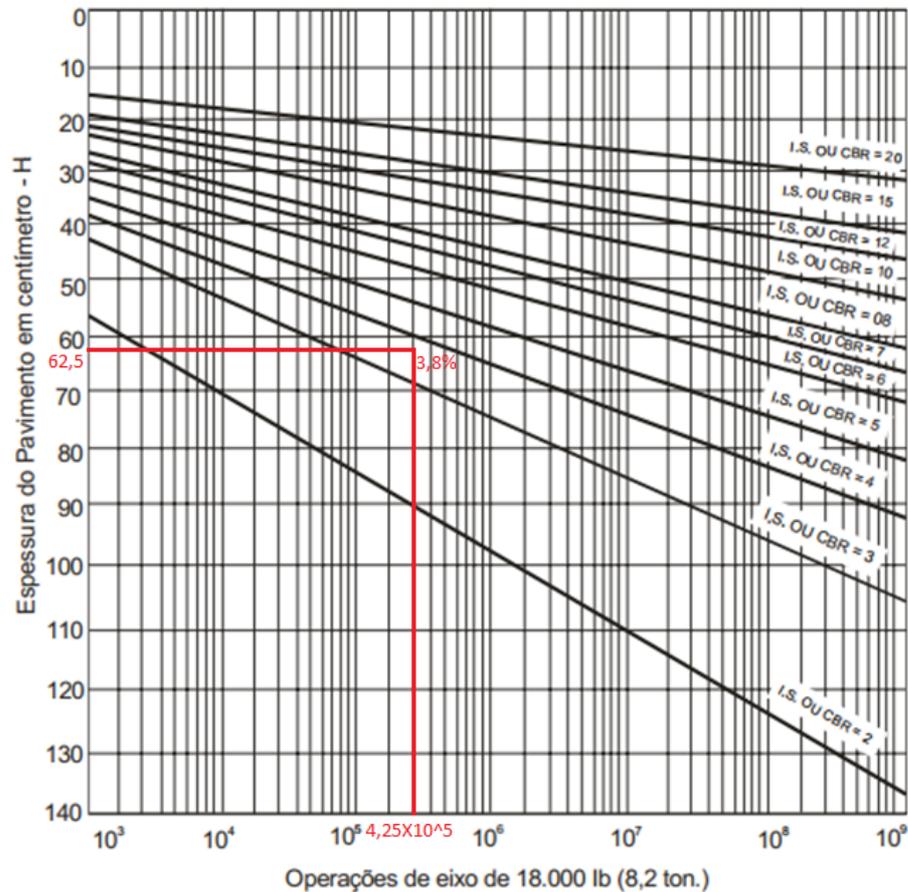
Dessa forma, o número N da segunda fase é de $1,56 \times 10^6$.

Portanto, o número N total para o dimensionamento do pavimento utilizando o concreto asfáltico é de $4,26 \times 10^5$.

Com isso, foi possível iniciar o dimensionamento de fato. Como já foi abordado anteriormente, a Equação 3, para tráfegos abaixo de 1×10^6 , acaba superdimensionando as espessuras e, portanto, considerando que o tráfego estimado se enquadra nessa situação, dimensionou-se Hm, H20 e Hn a partir do ábaco que relaciona o N, o CBR e a espessura.

A determinação do Hm, ou seja, da espessura total de pavimento acima do subleito pode ser observada na Figura 23.

Figura 23 – Determinação da altura Hm sobre a camada de subleito

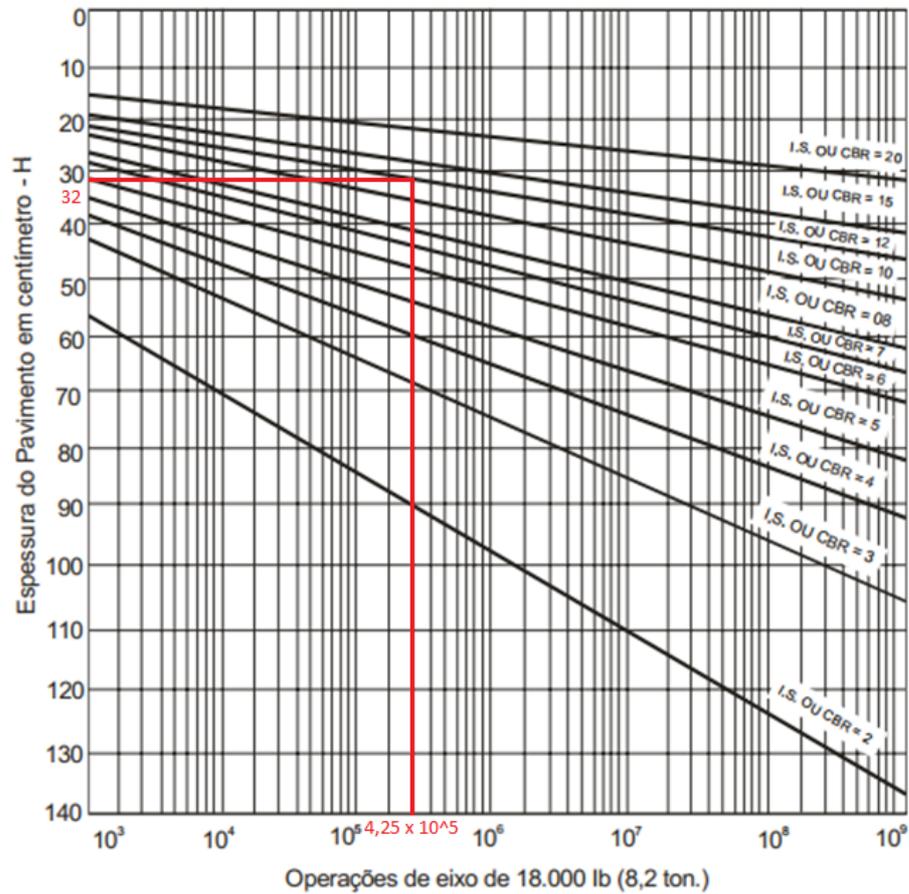


Fonte: adaptada pelo autor de DNIT (2006).

Portanto, confrontando-se os valores, obteve-se uma espessura de Hm de 62,50 cm.

Considerando o baixo valor de CBR do subleito, optou-se por dimensionar um reforço para esse subleito e, para fins de dimensionamento, estipulou-se um CBR de 12%, uma vez que a condição desejada para o reforço é que seu CBR seja maior que o próprio subleito. Sendo assim, com o mesmo número N, entrou-se novamente no ábaco a fim de dimensionar, dessa vez, o Hn, ou seja, espessura necessária que deve ficar acima do reforço do subleito. O resultado pode ser observado na Figura 24.

Figura 24 – Determinação da altura Hn sobre a camada de reforço do subleito

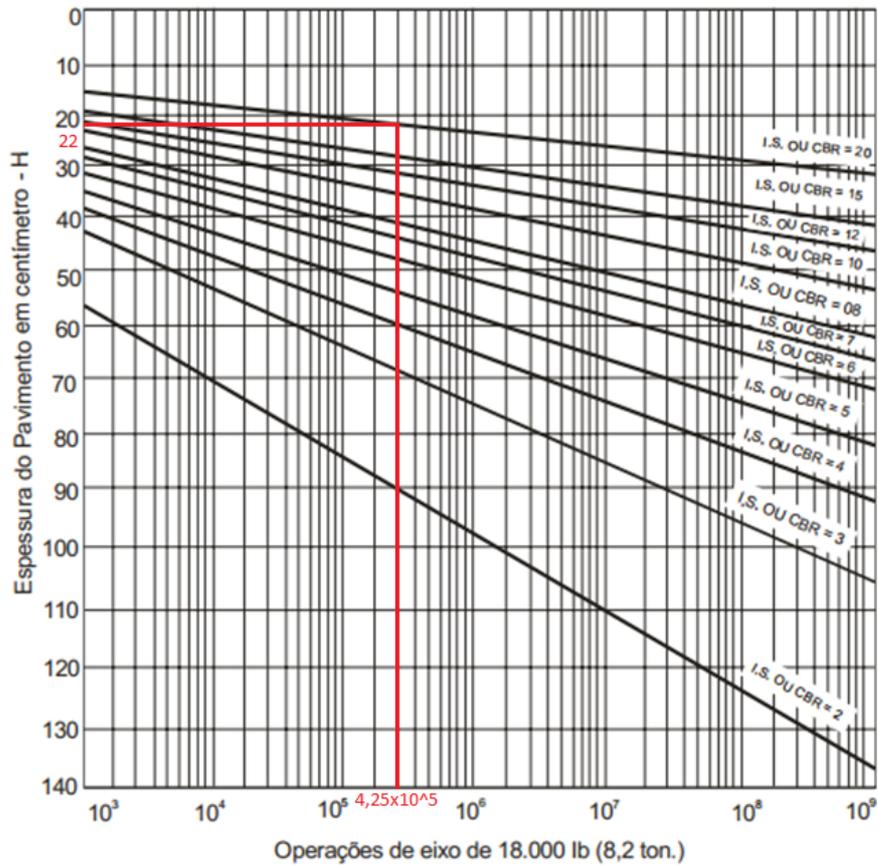


Fonte: adaptada pelo autor de DNIT (2006).

Portanto, ao rebater os valores, obteve-se uma espessura de Hn de 32,00 cm.

Por fim, a partir do mesmo ábaco, obteve-se o valor de H20, que é a camada necessária acima da sub-base. Para que fosse possível determinar esse valor, estipulou-se uma sub-base de Macadame Seco, material disponível na região, com CBR de 20%. A espessura da camada está demonstrada na Figura 25.

Figura 25 – Determinação da altura H20 sobre a camada de sub-base



Fonte: adaptada pelo autor de DNIT (2006).

Portanto, ao rebater os valores, obteve-se uma espessura de H_n de 22,00 cm.

Com esses valores foi possível fazer o uso das inequações e determinar a espessura específica de cada camada. Além disso, adotou-se os seguintes valores de K para cada camada (TABELA 16).

Tabela 16 – Valor do coeficiente K para cada tabela

Camada	K
Revestimento	2
Base	1
Sub-base	0,77
Reforço do subleito	0,71

Fonte: autor (2022).

Também foi necessário dimensionar a camada de revestimento de acordo com os limites exibidos anteriormente na Tabela 16. Como o tráfego é pequeno e

considerando a aplicação de revestimento betuminoso, determinou-se uma espessura de 5 cm para tal camada.

Com esses dados, determinou-se a altura da base conforme a Equação 14.

$$5 * 2 * B * 1 = 22 \quad (14)$$

Portanto, a camada da base deve ser de 12 cm.

Posteriormente, determinou-se a espessura da camada sub-base (h_{20}), como mostra a Equação 15.

$$5 * 2 + 12 * 1 + h_{20} * 0,77 = 32 \quad (15)$$

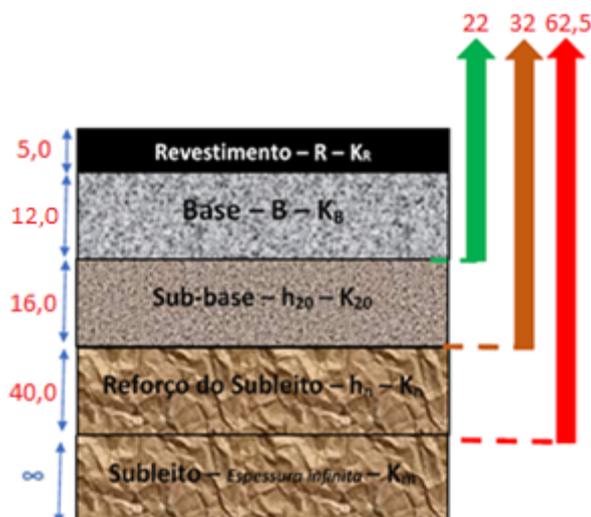
A camada da sub-base, nesse caso, resultou em, aproximadamente, 13 cm. Entretanto, considerando os limites estipulados, 13 cm não é um resultado válido e, por isso, considerou-se 16 cm, limite mínimo. Dessa forma, determinou-se, por fim, a espessura do reforço do subleito (EQUAÇÃO 16).

$$5 * 2 + 12 * 1 + 16 * 0,77 + h_n * 0,71 = 62,50 \quad (16)$$

A Equação acima resultou em uma camada de reforço do subleito de espessura igual a, aproximadamente, 40 cm. Como o limite máximo da espessura da camada é de 20 cm, nesse caso, sugere-se duas camadas de 20 cm.

Portanto, o dimensionamento direto a partir do Método DNER resultou na estrutura exibida na Figura 26.

Figura 26 – Estrutura dimensionada pelo método do DNER



Fonte: adaptada pelo autor de Pereira (2020b).

3.5 DIMENSIONAMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO PELO MÉTODO MeDiNa – ESTRUTURA COMPLETA

Nesta seção, dimensionou-se a estrutura para um pavimento flexível de revestimento em concreto asfáltico através do Método MeDiNa, fazendo o uso do Software Medina v1.1.5.0 – dezembro/2020.

O tráfego utilizado nesse dimensionamento foi o mesmo utilizado para o dimensionamento pelo Método do DNER, de 425.123, visto que o método de cálculo é o mesmo para ambos os dimensionamentos e é baseado no eixo-padrão. Entretanto, o software estima o número N em função do VDM do 1º ano, da taxa de crescimento do tráfego e do período de projeto. Sendo assim, considerando a taxa de crescimento nula e o período de projeto 17 anos e sabendo que VDM do 1º ano não é igual para os 17 anos, estipulou-se um VDM de modo a obter o N de $4,25 \times 10^5$. Além disso, no dimensionamento foi considerado como o tipo de via o sistema local, uma vez que é uma via de condomínio particular e de baixo tráfego. Isso implica em uma avaliação do dimensionamento com 65% de confiabilidade (FIGURA 27).

Figura 27 – Primeiros dados de entrada no *software*

EIXO PADRÃO RODOVIÁRIO	
DADOS DO TRÁFEGO	
Tipo de Via:	Sistema Local
VMD (1º ano):	69
FV:	1,000
N anual (1º ano):	2,52e+04
% Veículos na faixa de projeto:	100
N Anual da faixa:	2,52e+04
Taxa de crescimento (%):	0,0
Período de projeto (anos):	17
N Total:	4,28e+05

Fonte: adaptada pelo autor de MeDiNa (2022).

Diferentemente dos métodos anteriores, o dimensionamento pelo software e método MeDiNa não possibilita que se entre com o valor do CBR de cada camada, sendo caracterizado o material a partir do seu Módulo de Resiliência (MR) e seu Coeficiente de Poisson. Dessa forma, modelou-se cada camada de modo a aproximar o máximo possível da condição real. Há uma relação, conforme Santos apud Heukelon e Foster (1960), em que os parâmetros MR e CBR para solos finos correlacionam-se da seguinte maneira (EQUAÇÃO 17).

$$MR = 10,4 * CBR \quad (17)$$

Como não há outros ensaios que não seja o valor de CBR disponível para o dimensionamento, fez-se essa relação para determinar o MR da camada e, conseqüentemente, chegar mais próximo da realidade possível. Para a camada subleito, a qual caracteriza-se por um CBR de 3,8%, criou-se uma nova camada com os mesmos parâmetros da camada existente de solo não laterítico de menor MR, alterando somente este último parâmetro para 40. A composição da camada pode ser observada na Figura 28.

Figura 28 – Composição da camada de subleito

Propriedades do Subleito

BASE DE DADOS	SUBLEITO																		
Projeto	Material: Solo siltoso NS' MR = 40																		
Solo Siltoso NS'	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Parâmetros</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Espessura (cm)</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de Poisson</td> <td>0,45</td> </tr> <tr> <td>Contato</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Parâmetros		Espessura (cm)	0,0	Coefficiente de Poisson	0,45	Contato	-										
Parâmetros																			
Espessura (cm)	0,0																		
Coefficiente de Poisson	0,45																		
Contato	-																		
Solo Fino NA	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Módulo (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Modelo Constituinte</td> <td>Resiliente Linear</td> </tr> <tr> <td>Módulo (MPa)</td> <td>40</td> </tr> </tbody> </table>	Módulo (MPa)		Modelo Constituinte	Resiliente Linear	Módulo (MPa)	40												
Módulo (MPa)																			
Modelo Constituinte	Resiliente Linear																		
Módulo (MPa)	40																		
Solo siltoso NS' MR = 40	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Características</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Descrição do Material</td> <td>Solo siltoso Papucaia - RJ</td> </tr> <tr> <td>Grupo MCT</td> <td>NS'</td> </tr> <tr> <td>MCT - Coeficiente c'</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td>MCT - Índice e'</td> <td>1,68</td> </tr> <tr> <td>Massa específica (g/cm³)</td> <td>1,8</td> </tr> <tr> <td>Umidade Ótima (%)</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>Energia Compactação</td> <td>normal</td> </tr> <tr> <td>Norma ou Especificação</td> <td>DNIT ES 137</td> </tr> </tbody> </table>	Características		Descrição do Material	Solo siltoso Papucaia - RJ	Grupo MCT	NS'	MCT - Coeficiente c'	1,0	MCT - Índice e'	1,68	Massa específica (g/cm³)	1,8	Umidade Ótima (%)	13	Energia Compactação	normal	Norma ou Especificação	DNIT ES 137
Características																			
Descrição do Material	Solo siltoso Papucaia - RJ																		
Grupo MCT	NS'																		
MCT - Coeficiente c'	1,0																		
MCT - Índice e'	1,68																		
Massa específica (g/cm³)	1,8																		
Umidade Ótima (%)	13																		
Energia Compactação	normal																		
Norma ou Especificação	DNIT ES 137																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Deformação Permanente</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Modelo:</td> <td>$ep = psi1 \cdot (s3^psi2) \cdot (sd^psi3) \cdot (N^psi4)$</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de Regressão (k1 ou psi1):</td> <td>0,244</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de Regressão (k2 ou psi2):</td> <td>0,419</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de Regressão (k3 ou psi3):</td> <td>1,309</td> </tr> <tr> <td>Coefficiente de Regressão (k4 ou psi4):</td> <td>0,069</td> </tr> </tbody> </table>	Deformação Permanente		Modelo:	$ep = psi1 \cdot (s3^psi2) \cdot (sd^psi3) \cdot (N^psi4)$	Coefficiente de Regressão (k1 ou psi1):	0,244	Coefficiente de Regressão (k2 ou psi2):	0,419	Coefficiente de Regressão (k3 ou psi3):	1,309	Coefficiente de Regressão (k4 ou psi4):	0,069						
Deformação Permanente																			
Modelo:	$ep = psi1 \cdot (s3^psi2) \cdot (sd^psi3) \cdot (N^psi4)$																		
Coefficiente de Regressão (k1 ou psi1):	0,244																		
Coefficiente de Regressão (k2 ou psi2):	0,419																		
Coefficiente de Regressão (k3 ou psi3):	1,309																		
Coefficiente de Regressão (k4 ou psi4):	0,069																		
	<p>Material</p> <p>Nome do Material pré-ensaiado ou ensaiado para o projeto.</p>																		

Excluir Atualizar Salvar OK Cancel

Fonte: adaptada pelo autor de MeDiNa (2022).

Para as demais camadas, fez-se a mesma associação e determinou-se o solo mais próximo, de modo a dimensionar o pavimento de maneira adequada. Adotou-se no revestimento uma camada de concreto asfáltico com espessura mínima de 5 cm. O software, pelo seu dimensionamento, tornou possível, em função da espessura da camada de revestimento atrelado ao baixo número de solicitações, a diminuição das espessuras das camadas subjacentes quando comparado ao dimensionamento pelo método DNER. Sendo assim, a disposição final das camadas no software MeDiNa ficou conforme a Figura 29.

Figura 29 – Caracterização das camadas no dimensionamento pelo MeDiNa

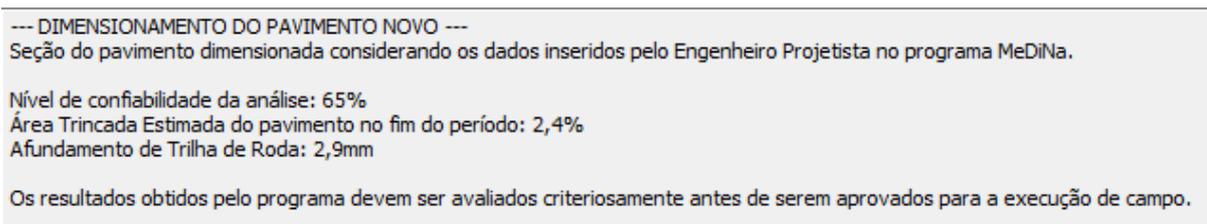
CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
1	CONCRETO ASFÁLTICO	Classe 1	5,0	5764	0,30
>> 2 <<	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaise C5	15,0	381	0,35
3	MATERIAL GRANULAR	Sub-base MS - MR = 208	15,0	208	0,35
SL	SUBLEITO	Solo siltoso NS' 2	0,0	40	0,40

Fonte: adaptada pelo autor de MeDiNa (2022).

As camadas de base e sub-base resultaram em 15 cm, espessura máxima sugerida e permitida pelo software. Além disso, não se fez necessário o uso de camada de reforço do subleito.

O resultado do dimensionamento está exposto na Figura 30.

Figura 30 – Resultado do dimensionamento pelo MeDiNa

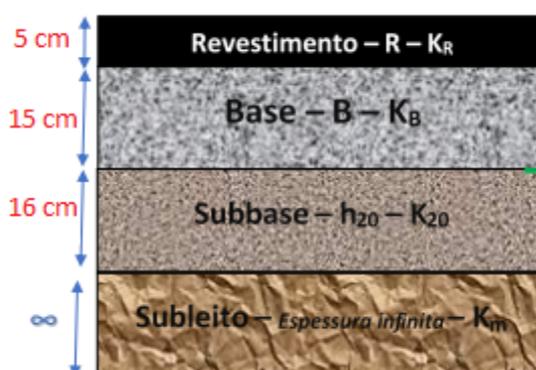


Fonte: MeDiNa (2022).

Pode-se perceber que, para a confiabilidade de 65% do tipo de via Sistema Local, no final dos 17 anos de projeto, haverá um afundamento de trilha de roda de 2,9 mm e uma área trincada estimada de 2,4%. Os valores ficaram abaixo dos limites já citados de 30% para área trincada e 20mm para afundamento de trilha de roda e, portanto, o dimensionamento considerando o limite mínimo de espessura das camadas atende às solicitações geradas.

Como o valor mínimo de execução da camada macadame seco é 16 cm, adotou-se esse valor para a camada. A estrutura do dimensionamento pode ser vista na Figura 31.

Figura 31 – Estrutura dimensionada pelo método do MeDiNa



Fonte: adaptada pelo autor de Pereira (2020b).

3.6 DIMENSIONAMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO PELO MÉTODO DNER – SEM SUB-BASE

Objetivando determinar a melhor e mais otimizada estrutura resultante a partir dos métodos de dimensionamento de concreto asfáltico e também para fins comparativos, dimensionou-se uma estrutura de pavimento contendo as seguintes camadas: reforço do subleito, base e revestimento. Dessa forma, foram considerados os mesmos fatores do dimensionamento anterior, sendo o número N $4,26 \times 10^5$, a espessura H_m 62,5 cm e a espessura H_n 32,00 cm. Além disso, foi mantida a espessura mínima do revestimento asfáltico de 5,00 cm.

Para determinar a espessura da base fez-se o uso da Equação 18:

$$5 * 2 + B * 1 = 32 \quad (18)$$

A camada de base deve ter uma espessura de 22,00 cm, mas respeitando os limites da camada de base de BGS de 12 a 20 cm, foi considerada a execução de duas camadas de 12,00 cm e, portanto, uma espessura total de 24,00 cm.

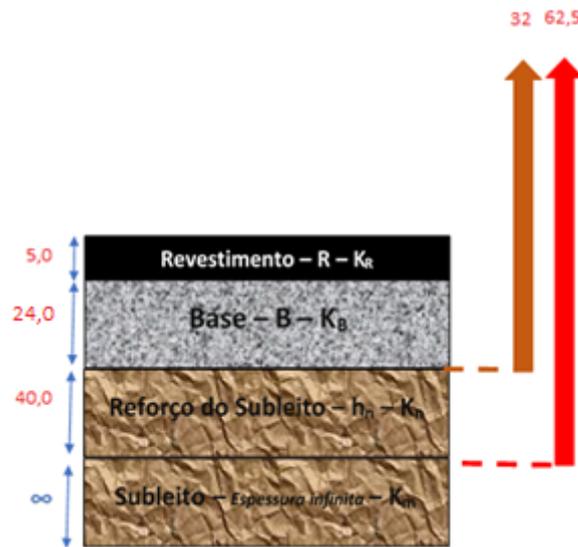
Dessa forma, determinou-se, por fim, a espessura do reforço do subleito (EQUAÇÃO 19).

$$5 * 2 + 24 * 1 + h_n * 0,71 = 62,5 \quad (19)$$

A Equação acima resultou em uma camada de reforço do subleito de espessura igual a, aproximadamente, 40 cm. Como o limite máximo da espessura da camada é de 20 cm, nesse caso, sugere-se duas camadas de 20 cm.

Portanto, o dimensionamento direto a partir do Método DNER resultou na estrutura exibida na Figura 32.

Figura 32 – Estrutura dimensionada pelo método do DNER



Fonte: adaptada pelo autor de Pereira (2020b).

3.7 DIMENSIONAMENTO DE CONCRETO ASFÁLTICO PELO MÉTODO MeDiNa – SEM SUB-BASE

No dimensionamento do pavimento sem a camada de sub-base no *software*, foram feitas as mesmas considerações do procedimento descrito no item 3.5, sendo excluída, somente, a camada de sub-base.

A estrutura, portanto, está exibida na Figura 33.

Figura 33 – Caracterização das camadas no dimensionamento pelo MeDiNa

CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
1	CONCRETO ASFÁLTICO	Classe 1	5,0	5764	0,30
>> 2 <<	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaisse C5	15,0	381	0,35
SL	SUBLEITO	Solo siltoso NS' 2	0,0	40	0,35

Fonte: adaptada pelo autor de MeDiNa (2022).

Foram mantidas as espessuras mínimas para as camadas de base e de revestimento, considerando o limite aplicado pelo programa. A partir dessa disposição, o programa fez a seguinte análise (FIGURA 34).

Figura 34 – Resultado do dimensionamento pelo MeDiNa

--- ANÁLISE DO PAVIMENTO NOVO ---
 Seção do pavimento analisada considerando os dados inseridos pelo Engenheiro Projetista no programa MeDiNa.

Nível de confiabilidade da análise: 65%
 Área Trincada Estimada do pavimento no fim do período: 3,1%
 Afundamento de Trilha de Roda: 2,0mm

Fonte: MeDiNa (2022).

Pode-se perceber que, para a confiabilidade de 65% do tipo de via Sistema Local, no final dos 17 anos de projeto, haverá um afundamento de trilha de roda de 2,0 mm e uma área trincada estimada de 3,1%. Os valores ficaram abaixo dos limites já citados de 30% para área trincada e 20mm para afundamento de trilha de roda e, portanto, o dimensionamento considerando o limite mínimo de espessura das camadas atende às solicitações geradas.

A estrutura do dimensionamento pode ser vista na Figura 35.

Figura 35 – Estrutura dimensionada pelo método do MeDiNa



Fonte: adaptada pelo autor de Pereira (2020b).

3.8 DIMENSIONAMENTO DE TRATAMENTO ASFÁLTICO PELO MÉTODO DNER

Uma vez que, para tráfegos inferiores a 10^6 , é sugerida a aplicabilidade de tratamento superficial a uma espessura de 3cm para o dimensionamento de pavimentos, esta situação também foi analisada no presente trabalho. Mantém-se, neste caso, o mesmo número N do dimensionamento de revestimento asfáltico, o qual é 425.123. Além disso, tem-se os mesmos valores para as espessuras H_m, H_n e H₂₀, que são 62,50 cm, 32,00 cm e 22,00 cm, respectivamente. Neste item é alterado somente o valor de K para a camada de tratamento superficial, a qual, segundo tabela

já apresentada, é de 1,2. Sendo assim, os valores de K estão expressos na Tabela abaixo.

Tabela 17 – Valor do coeficiente K para cada tabela

Camada	K
Tratamento Superficial	1,2
Base	1
Sub-base	0,77
Reforço do subleito	0,71

Fonte: autor (2022).

Sendo assim, tornou-se possível determinar a altura da base a partir da Equação 20.

$$3 * 1,22 + B * 1 = 22 \quad (20)$$

Portanto, a camada da base deve ser de 18,4 cm, considerando, então, 19 cm. Posteriormente, determinou-se a espessura da camada sub-base (h_{20}), como mostra a Equação 21.

$$3 * 1,2 + 19 * 1 + h_{20} * 0,77 = 32 \quad (21)$$

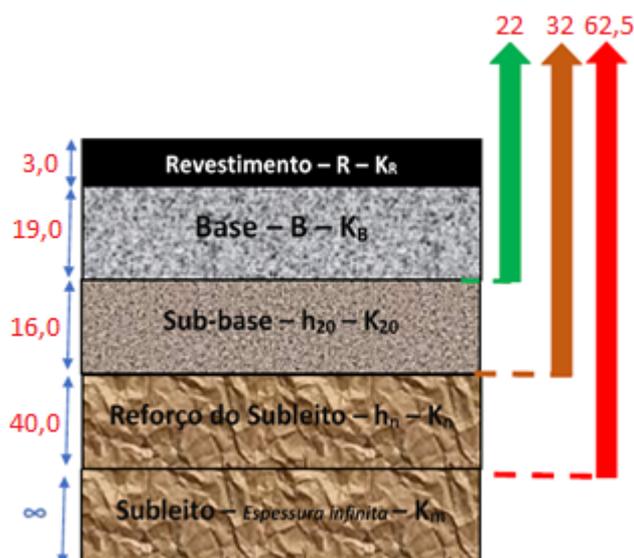
A camada da sub-base, nesse caso, resultou em, aproximadamente, 12,20 cm. Entretanto, considerando os limites estipulados, 12,20 cm não é um resultado válido e, por isso, considerou-se 16 cm, limite mínimo. Dessa forma, determinou-se, por fim, a espessura do reforço do subleito (EQUAÇÃO 22).

$$3 * 1,2 + 19 * 1 + 16 * 0,77 + h_n * 0,71 = 62,5 \quad (22)$$

A Equação acima resultou em uma camada de reforço do subleito de espessura igual a, aproximadamente, 40 cm. Como o limite máximo da espessura da camada é de 20 cm, nesse caso, sugere-se duas camadas de 20 cm.

Portanto, o dimensionamento direto de tratamento superficial a partir do Método DNER resultou na estrutura apresentada na Figura 36.

Figura 36 – Estrutura dimensionada para tratamento superficial pelo método do DNER



Fonte: adaptada pelo autor de Pereira (2020b).

3.9 DIMENSIONAMENTO DE TRATAMENTO SUPERFICIAL PELO MÉTODO MeDiNa

Para o dimensionamento do pavimento asfáltico considerando uma camada de tratamento superficial foram feitas as mesmas considerações de tráfegos, de via, de período de projeto e de camadas adjacentes que para o dimensionamento de concreto asfáltico, alterando, somente, a camada superior. Considerou-se, então, uma camada de tratamento superficial duplo, com espessura de 3 cm. Dessa forma, obtiveram-se os seguintes resultados para a composição da estrutura (FIGURA 37).

Figura 37 – Características das camadas da estrutura a partir do dimensionamento pelo MeDiNa

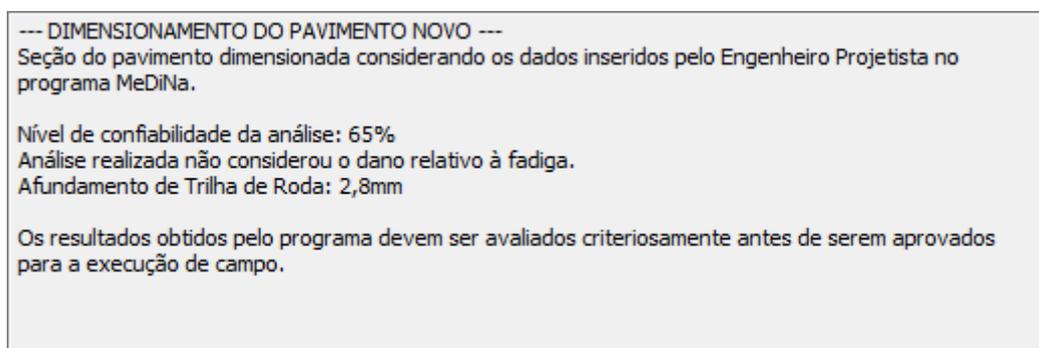
CAMADA	DESCRIÇÃO DO MATERIAL	TIPO	ESPESSURA (cm)	MÓDULO (MPa)	COEFICIENTE DE POISSON
1	TRATAMENTO SUPERFICIAL	Tratamento Superficial Duplo	3	1000	0,25
>> 2 <<	MATERIAL GRANULAR	Brita Graduada - Gnaisse C5	15,0	381	0,35
3	MATERIAL GRANULAR	Sub-base MS - MR = 208	15,0	208	0,35
SL	SUBLEITO	Solo siltoso NS' 2	0,0	40	0,35

Fonte: adaptada pelo autor de MeDiNa (2022).

As camadas de base e sub-base resultaram em 15 cm, espessura mínima sugerida e permitida pelo software. Além disso, não se fez necessário o uso de camada de reforço do subleito. Como a espessura mínima permitida para a camada de macadame seco é de 16 cm, considerou-se para esse dimensionamento uma camada de sub-base de 16 cm.

A análise do software para tal dimensionamento está exibida na Figura 38.

Figura 38 – Análise do *software* sobre o dimensionamento



Fonte: MeDiNa (2022).

O resultado do *software* torna o dimensionamento satisfatório no que diz respeito ao afundamento de trilha de roda, gerando um ATR de 2,8 mm, quando o limite máximo é de 20mm. Entretanto, ao utilizar o software MeDiNa, o uso da camada de tratamento superficial não analisa a ruptura por fadiga, ou seja, o trincamento da superfície, uma vez que não sofre degradação por fadiga. Para tratamento superficial, o principal mecanismo de ruptura é a deformação permanente, porém não há ensaios e caracterizações do solo quanto a esse parâmetro disponível para o desenvolvimento deste estudo.

A Tabela 18 apresenta um resumo da composição de camadas e suas respectivas espessuras para cada dimensionamento realizado.

Tabela 18 – Composição e espessura de cada estrutura dimensionada

	Pavimento Intertravado		Concreto asfáltico – estrutura completa		Concreto asfáltico – s/ sub-base		Tratamento Superficial	
	PCA/84	CMAA	DNER	MeDiNa	DNER	MeDiNa	DNER	MeDiNa
Revestimento	80 mm	80 mm	5 cm	5 cm	5 cm	5 cm	3 cm	3 cm
Base	15 cm	12 cm	12 cm	15 cm	24 cm	15 cm	19 cm	15 cm
Sub-base	19 cm	16 cm	16 cm	16 cm	-	-	16 cm	16 cm
Reforço subleito	-	-	40 cm	-	40 cm	-	40 cm	-

Fonte: autor (2022).

3.10 COMPARAÇÃO ECONÔMICA

Por fim, foi realizado uma comparação econômica entre os oito estudos executados para que pudesse determinar o método mais viável economicamente. Para isso, fez-se o uso do sistema SINAPI, para os dimensionamentos em pavimento intertravado, e do sistema SICRO, para os dimensionamentos em pavimento de concreto asfáltico.

Para o orçamento através do SINAPI, fez-se o uso das composições analíticas para o Rio Grande do Sul de maio de 2022 não desoneradas. Portanto, para a execução da estrutura de pavimento intertravado solicitada foram elencadas as seguintes atividades (TABELA 19).

Tabela 19 – Composição de custos para orçamento do pavimento intertravado

Número da composição	Descrição do serviço	Custo por unidade
Composição 96400	Execução e compactação de base e/ou sub-base para pavimentação de macadame seco – exclusive carga e transporte	R\$102,65/m ³
Composição 96396	Execução e compactação de base e/ou sub-base para pavimentação de BGS – exclusive carga e transporte	R\$112,63/m ³
Composição 94275	Assentamento de guia (meio-fio) em trecho reto, confeccionada em concreto pré-fabricado, dimensões 100x15x13x20 cm (comprimento x base inferior x base superior x altura), para urbanização interna de empreendimentos	R\$47,03/m
Composição 94276	Assentamento de guia (meio-fio) em trecho curvo, confeccionada em concreto pré-fabricado, dimensões 100x15x13x20 cm (comprimento x base inferior x base superior x altura), para urbanização interna de empreendimentos	R\$38,91/m
Composição 92405	Execução de VIA em piso intertravado, com bloco 16 faces de 22x11 cm, espessura 8 cm	R\$74,76/m ²

Fonte: adaptada pelo autor de Sinapi (2022).

A composição 92405, referente a execução de via em piso intertravado com bloco 16 faces de 22x11 cm e espessura de 80 mm inclui a mão de obra, a partir de calceteiro e servente, além de equipamentos como placa vibratória reversível e cortadora de piso e, por fim, areia e pó de brita para a camada de assentamento e para o rejunte dos blocos e o próprio bloco para pavimentação. Sua precificação é medida em metros quadrado.

Portanto, a partir disso determinou-se o custo de cada etapa e total final para o dimensionamento pelo método PCA 1984 e CMAA 2010, respectivamente, e eles estão expostos nas Tabelas 20 e 21.

Tabela 20 – Orçamento estrutura dimensionada pelo método PCA 1984

Camada	Área/Comprimento	Espessura	Preço unit.	Preço total
Sub-base	19.289,79 m ²	0,19	R\$102,65/m ³	R\$375.218,42
Base	19.289,79 m ²	0,15	R\$112,63/m ³	R\$325.891,36
Assentamento reto	4850,0 m	-	R\$47,03/m	R\$228.095,50
Assentamento curvo	1050,0 m	-	R\$38,91/m	R\$40.855,50
Pav. intertravado	19.289,79 m ²	-	R\$74,76/m ²	R\$1.442.104,70
TOTAL	-	-	-	R\$2.412.165,48

Fonte: autor (2022).

Tabela 21 – Orçamento estrutura dimensionada pelo método CMAA 2010

Camada	Área/Comprimento	Espessura	Preço unit.	Preço total
Sub-base	19.289,79 m ²	0,16	R\$102,65/m ³	R\$316.815,51
Base	19.289,79 m ²	0,12	R\$112,63/m ³	R\$260.713,09
Assentamento reto	4850,0 m	-	R\$47,03/m	R\$228.095,50
Assentamento curvo	1050,0 m	-	R\$38,91/m	R\$40.855,50
Pav. intertravado	19.289,79 m ²	-	R\$74,76/m ²	R\$1.442.104,70
TOTAL	-	-	-	R\$2.288.584,30

Fonte: autor (2022).

Para o orçamento dos dimensionamentos de pavimentos com revestimento de concreto asfáltico e com tratamento superficial fez-se o uso da tabela do SICRO. Os custos de referência foram utilizados os de janeiro de 2022 para o Rio Grande do Sul, sendo esses os mais atuais disponíveis à época analisada. Foi considerada a largura da via de 6,0 m, o comprimento total de 3.394 m, sem acostamento e as espessuras das camadas obtidas pelo método do DNER. Além disso, foram consideradas as seguintes distâncias médias de transportes (DMT) (TABELA 22):

Tabela 22 – Distâncias médias de transporte (DMT) para cada material

	Materiais em transporte	DMT (km)
PAVIMENTAÇÃO	Jazida de solo	10
	Jazida de brita	12
	Jazida de areia	10
	Usinagem do CA	100
	Brita produzida em central de 80 m³/h	0,5
	Cal hidratada para usinagem do CA	50
	Tube PE para areia extraída com draga de sucção	130
	Transporte de material fresado	10

Fonte: autor (2022).

Foi considerado como tipo de concreto asfáltico o CA faixa C (areia extraída e brita produzida), com uma densidade de 2,4 t/m³. Para isso, foi atribuído o cimento asfáltico CAP 50/70, com preço unitário de maio de 2022 de R\$4,3048/kg. Os custos unitários utilizados para o orçamento dos dimensionamentos para a solução de pavimento asfáltico estão exibidos na Tabela 23.

Tabela 23 – Composição de custos para orçamento de pavimento asfáltico

Item de orçamento	Unidade de medida	Valor unitário
Regularização do subleito	m ²	R\$0,92
Reforço do subleito com material da jazida	m ³	R\$22,28
Sub-base MS com brita produzida	m ³	R\$87,73
Base de BGS	m ³	R\$88,02
Imprimação com asfalto diluído	m ²	R\$5,15
Pintura de ligação	m ²	R\$1,14
Concreto asfáltico – faixa C – areia extraída, brita produzida	t	R\$461,01

Fonte: autor (2022).

Sendo assim, o custo final obtido foi de R\$3.221.889,23 (TABELA 24).

Tabela 24 – Orçamento do pavimento de concreto asfáltico via DNER (estrutura completa)

Dados da Pista		
Comprimento da via	3,39	km
Largura da via	6,00	m
Espessura do revestimento	5,00	cm
Espessura da base	12,00	cm
Espessura da sub-base	16,00	cm
Espessura reforço do subleito	40,00	cm
Número de pinturas de ligação	1	
Densidade (t/m ²) do CA	2,4	t/m ²
TOTAL DA OBRA SEM BDI		R\$ 3.221.889,23

Tipo de concreto asfáltico escolhido: concreto asfáltico – faixa C – areia extraída, brita produzida

Fonte: autor (2022).

Para o dimensionamento com concreto asfáltico realizado pelo Método MeDiNa alterou-se somente as espessuras da camada, o custo final resultante foi de R\$3.094.205,69 (TABELA 25).

Tabela 25 – Orçamento do pavimento de concreto asfáltico via MeDiNa (estrutura completa)

Dados da Pista		
Comprimento da via	3,39	km
Largura da via	6,00	m
Espessura do revestimento	5,00	cm
Espessura da base	15,00	cm
Espessura da sub-base	16,00	cm
Espessura reforço do subleito	0,00	cm
Número de pinturas de ligação	1	
Densidade (t/m ²) do CA	2,4	t/m ²
TOTAL DA OBRA SEM BDI		R\$ 3.094.205,69

Tipo de concreto asfáltico escolhido: concreto asfáltico – faixa C – areia extraída, brita produzida

Fonte: autor (2022).

Da mesma forma, para as estruturas obtidas sem a camada de sub-base, o orçamento foi realizado com condições análogas às anteriores. Sendo assim, para o resultado obtido a partir do dimensionamento pelo Método DNER obteve-se um custo de R\$3.151.125,65 (FIGURA 26).

Tabela 26 – Orçamento do pavimento de concreto asfáltico via DNER (estrutura sem sub-base)

Dados da Pista		
Comprimento da via	3,39	km
Largura da via	6,00	m
Espessura do revestimento	5,00	cm
Espessura da base	24,00	cm
Espessura da sub-base	0,00	cm
Espessura reforço do subleito	40,00	cm
Número de pinturas de ligação	1	
Densidade (t/m ²) do CA	2,4	t/m ²
TOTAL DA OBRA SEM BDI		R\$ 3.151.125,65

Tipo de concreto asfáltico escolhido: concreto asfáltico – faixa C – areia extraída, brita produzida

Fonte: autor (2022).

Para o dimensionamento com concreto asfáltico realizado pelo Método MeDiNa alterou-se somente as espessuras da camada, o custo final resultante foi de R\$2.808.352,57 (TABELA 27).

Tabela 27 – Orçamento do pavimento de concreto asfáltico via MeDiNa (estrutura sem sub-base)

Dados da Pista		
Comprimento da via	3,39	km
Largura da via	6,00	m
Espessura do revestimento	5,00	cm
Espessura da base	15,00	cm
Espessura da sub-base	0,00	cm
Espessura reforço do subleito	0,00	cm
Número de pinturas de ligação	1	
Densidade (t/m ²) do CA	2,4	t/m ²
TOTAL DA OBRA SEM BDI		R\$ 2.808.352,57

Tipo de concreto asfáltico escolhido: concreto asfáltico – faixa C – areia extraída, brita produzida

Fonte: autor (2022).

Para possibilitar a precificação dos dimensionamentos da estrutura com tratamento superficial fez-se o uso das tabelas SICRO de janeiro de 2022, levando em consideração os itens de largura da via, comprimento, DMTs e sinalização análogos às cotações anteriormente citadas. Quanto ao ligante asfáltico, considerou-se o uso de Emulsões Asfálticas RR-2C na mistura do tratamento superficial. Sendo assim, para o dimensionamento pelo método do DNER o custo total foi de R\$2.896.734,78 (TABELA 28).

Tabela 28 – Orçamento do tratamento superficial pelo método DNER

Dados da Pista		
Comprimento da via	3,39	km
Largura da via	6,00	m
Espessura do revestimento	3,00	cm
Espessura da base	19,00	cm
Espessura da sub-base	16,00	cm
Espessura reforço do subleito	40,00	cm
Número de pinturas de ligação	1	
Densidade (t/m ²) do CA	2,4	t/m ²
TOTAL DA OBRA SEM BDI		R\$ 2.896.734,78

Tipo de concreto asfáltico escolhido: tratamento superficial duplo com banho diluído – brita produzida

Fonte: autor (2022).

Embora o dimensionamento da estrutura com tratamento superficial tenha apresentado resultado incompleto pelo software MeDiNa, uma vez que uma das análises não é critério de ruptura para tal revestimento, realizou-se o orçamento com a estrutura obtiva e resultou em um custo final de R\$2.643.582,34 (TABELA 29).

Tabela 29 – Orçamento do tratamento superficial pelo método MeDiNa

Dados da Pista		
Comprimento da via	3,39	km
Largura da via	6,00	m
Espessura do revestimento	3,00	cm
Espessura da base	15,00	cm
Espessura da sub-base	16,00	cm
Espessura reforço do subleito	0,00	cm
Número de pinturas de ligação	1	
Densidade (t/m ²) do CA	2,4	t/m ²
TOTAL DA OBRA SEM BDI		R\$ 2.643.582,34

Tipo de concreto asfáltico escolhido: tratamento superficial duplo com banho diluído – brita produzida

Fonte: autor (2022).

Por fim, os seis custos estão exibidos na Tabela 30.

Tabela 30 – Orçamentos finais para os dimensionamentos

Método de dimensionamento	Custo total	Ranking de menor custo
PCA 1984 – intertravado	R\$2.412.165,48	2
CMAA 2010 – intertravado	R\$2.288.584,30	1
DNER – concreto asfáltico completo	R\$3.221.889,23	8
MEDINA – concreto asfáltico completo	R\$3.094.205,69	6
DNER – concreto asfáltico s/ sub-base	R\$3.151.125,65	7
MEDINA – concreto asfáltico s/ sub-base	R\$2.808.352,57	5
DNER – tratamento superficial	R\$2.896.734,78	4
MEDINA – tratamento superficial	R\$2.643.582,34	3

Fonte: autor (2022).

Dessa forma, pôde-se perceber que as soluções em pavimentos intertravados possuem menor valor agregado, enquanto os pavimentos asfálticos custam mais, tanto para o método de dimensionamento do DNER quanto pelo MeDiNa. Percebeu-se, portanto, a diferença de custo entre os dois métodos de revestimento, especialmente, uma vez que foram considerados os mesmos materiais para as camadas subjacentes de todas as estruturas calculadas. Ao comparar, por exemplo, o custo final obtido para o pavimento intertravado determinado pelo método do PCA/84 e o custo final para o pavimento asfáltico em sua estrutura completa dimensionado pelo *software* MeDiNa, os quais possuem estruturas similares, percebeu-se que o revestimento em concreto asfáltico é consideravelmente mais custoso que o

pavimento intertravado, auxiliando também, dessa forma, nos orçamentos mais elevados para os dimensionamentos de pavimento asfáltico.

Além disso, os dimensionamentos realizados a partir do método DNER apresentaram estruturas com espessuras elevadas, em função do baixíssimo CBR do subleito de projeto. Comparando as estruturas com os resultados obtidos a partir o MeDiNa, percebe-se que a estrutura pelo método vigente em território nacional está superdimensionada, uma vez que os materiais utilizados são os mesmos e os resultados consideravelmente superiores. Enquanto o sistema convencional necessita de 40 cm de reforço para auxiliar a camada de fundação (subleito) atuante, o *software* exclui essa necessidade e, ainda, atende às solicitações impostas, apresentando baixos danos à via, com as espessuras mínimas para camadas de base e sub-base. Portanto, com a grande diferença nos resultados dos métodos de dimensionamento para pavimento asfáltico, o MeDiNa torna-se um resultado mais adequado para este caso.

De maneira a obter um maior custo-benefício para o pavimento asfáltico, dimensionou-se a estrutura alterando a composição de camadas. A intenção, portanto, foi avaliar se a exclusão da sub-base e a ampliação da base geram ou não economia no custo final. Sendo assim, pôde-se perceber que, neste caso, foi mais econômico não aplicar uma camada de sub-base e aumentar a espessura de base.

Embora o dimensionamento do revestimento de tratamento superficial tenha resultado em custos inferiores quando comparados com os custos gerados pelo revestimento de concreto asfáltico, ainda apresentou custo superior ao pavimento intertravado e essa opção como forma de revestimento não é uma prática comum utilizada no país. Ademais, por se tratar de uma espessura delgada, não cobrir grandes irregularidades e possuir resistência inferior quando comparado ao concreto asfáltico, necessita de maiores intervenções em um espaço menor de tempo (VEGGI; MAGALHÃES, 2014). Portanto, não é indicada esta solução para a situação avaliada neste projeto.

Analisando os métodos de dimensionamento utilizados neste projeto, foi possível perceber que a solução de dimensionamento obtida a partir do *software* CMAA para pavimentos intertravados é uma opção compatível com a utilizada em território nacional, PCA/84, apresentando resultados semelhantes. Sendo assim, torna-se viável para uso.

Por fim, a aplicação mais adequada para esta análise é a execução de pavimentos intertravados. Este acaba sendo, na maioria das vezes, a escolha para a infraestrutura de condomínios fechados, sejam eles horizontais ou verticais, de baixo ou alto padrão.

4 CONCLUSÃO

Com o presente trabalho, foi possível analisar oito opções de dimensionamento de pavimento, sendo dois dimensionamentos de pavimentos intertravados, quatro dimensionamentos para pavimento com revestimento de CA e dois dimensionamentos para pavimentos com tratamento superficial.

Foi possível determinar um número de solicitações N para o projeto, considerando condições semelhantes existentes e respeitando as particularidades de dimensionamento para o pavimento intertravado e para o pavimento asfáltico.

Dimensionou-se oito diferentes estruturas para o mesmo tráfego e o mesmo CBR de subleito, sendo necessário, por vezes, determinar valores e esclarecer situações de modo a tornar possível e realístico o dimensionamento. Os materiais utilizados em projeto foram definidos considerando os materiais mais utilizados e amplamente disponíveis na região.

Pôde-se perceber que o método de dimensionamento do DNER, quando comparado aos resultados obtidos pelo método de dimensionamento do MeDiNa, apresentou uma estrutura superdimensionada, uma vez que foram aplicadas camadas menos espessas no *software* e, ainda assim, estimou-se à estrutura, no final dos 17 anos de projetos, danos baixíssimos relacionados à área trincada e ao afundamento de trilha de roda.

Em função da maior precisão na caracterização das propriedades no programa computacional, é imprescindível que se tenham valores adequados para que seja possível a obtenção de um dimensionamento satisfatório. Dessa forma, é necessária uma maior demanda de ensaios laboratoriais de cada material considerado na análise, para que todos os parâmetros necessários sejam preenchidos adequadamente.

Foi possível notar uma diferença também entre o método de dimensionamento do PCA 1984 e CMAA, trazendo este uma estrutura resultante menor, mas similar ao resultado obtido pelo método vigente no país. Portanto, considerou-se este resultado satisfatório de bom desempenho.

Por fim, analisou-se os oito valores de custo total e percebeu-se que os menores valor obtidos foram nos dimensionamentos pelos métodos CMAA e PCA/84. Sendo assim, considerando o tráfego solicitante e o uso da via de sistema local, o pavimento intertravado é a opção mais indicada nesta situação. Com uma boa execução, o dimensionamento apresentará resultados satisfatórios. É imprescindível

considerar que a conclusão deste trabalho foi baseada em um comparativo entre um método de dimensionamento empírico, PCA/84, e um método de dimensionamento mecanístico-empírico, MeDiNa. Sendo assim, tem-se um grau de precisão maior quando dimensionado pelo método MeDiNa. Ainda, o método de dimensionamento DNER caracteriza-se, também, por ser um método empírico e baseado em um método existente oriundo dos Estados Unidos, enquanto que o MeDiNa possui calibração nacional. Tais comparativos podem afetar nas divergências entre os dimensionamentos apresentadas.

REFERÊNCIAS

ABCP. Associação Brasileira de Cimento. **Manual de Pavimento Intertravado: Passeio Público**. Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, São Paulo, 2010. Disponível em: <https://abcp.org.br/wp-content/uploads/2016/01/Manual_Pavimento_Intertravado-1.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2022.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15953: pavimento intertravado com peças de concreto – execução**. Rio de Janeiro, 2011. BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARRA, Breno Salgado. **Avaliação do desempenho mecânico de misturas asfálticas densas utilizando materiais do estado do Pará com o emprego de pó calcário**. 2005. 202 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2005.

BERNUCCI, L. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro - PETROBRAS: ABEDA, 2006.

BEZERRA NETO, Rogério S. **Análise Comparativa de Pavimentos dimensionados através dos métodos empírico do DNER e mecanístico e proposta de um catálogo simplificado de pavimentos para a região de Campo Grande (MS)**. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2004. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-03052004-153504/publico/dissertacao_rogerio.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2022.

BROERING, Wellington B. et al. Dimensionamento de pavimentos rígidos pelo método PCA (1984) – roteiro de dimensionamento e exemplo de cálculo. **6 Simpósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense – SICT-Sul**. 2019. Disponível em: <http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/gptr/files/2019/01/Artigo-Dimensionamento-de-Pavimentos-r%C3%ADgidos-Método-PCA_84.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2022.

CASTRO, Pery C. G. de. **Concreto asfáltico para rodovias**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2015.

CMAA – Concrete Masonry Association of Australia. **PA01 – Concrete Segmental Pavements – Detailing Guide**. ABN 33 065 618 804. 2014.

CNT. **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília: CNT, 2017.

CONTRAN. **Resolução CONTRAN nº 210**. Estabelece os limites de peso e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres e dá outras providências. 2006. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=104243>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

DATA FOLHA. **Censo de Moradia Quinto andar**. 2021. Disponível em: <<https://indd.adobe.com/view/814d6ccb-0ea1-4858-8ed1-479886a0a68e>>. Acesso em: 30 maio 2022.

DEINFRA-SC. **ES-P 08/16**: tratamentos superficiais asfálticos por penetração – à frio. Santa Catarina, 2016. Disponível em: <<https://www.sie.sc.gov.br/webdocs/sie/doc-tecnicos/engenharia-rodoviaria/especificacao-servico/pavimentacao/ES-P-08-16.pdf>>. Acesso em: 30 maio 2022.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. **IPR 719** – Manual de pavimentação. 3. ed. Rio de Janeiro, 2006a.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. **IPR 723** – Manual de estudos de tráfego. Rio de Janeiro, 2006b.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Manual de Custos de Infraestrutura de Transportes**. 1. ed. Brasília, 2017.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Execução de estudos e pesquisa para elaboração de método de análise mecanístico** - empírico de dimensionamento de pavimentos asfálticos. Manual de Utilização do programa MeDiNa. Apresentação dos programas. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/medina/medina-1-1-4-manual-de-utilizacao.pdf>>. Acesso em: 25 fev. 2022.

DNIT – Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **NORMA DNIT 140/2022 – ES**. Pavimentação – Sub-base de solo melhorado com cimento – Especificação de serviço. Janeiro, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-normas/coletanea-de-normas/especificacao-de-servico-es/dnit_140_2022_es.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2022.

DRESCH, Fernanda. **Projetos de Estradas**. 1. ed. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

FRANCO, Filipe A. C. de P. **Método de dimensionamento mecanístico empírico de pavimentos asfálticos** – SisPav. 315 f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

FRANCO, Filipe A. C. de P. Análise de projeto de reforço utilizando o método M-E de dimensionamento nacional – MeDiNa. **33º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET**. Balneário Camburiú – SC, 2019. Disponível em: <https://www.anpet.org.br/anais/documentos/2019/Infraestrutura/Dimensionamento,%20Avalia%C3%A7%C3%A3o%20e%20Gest%C3%A3o%20de%20Pavimentos%20VI/6_448_AC.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2022.

GODINHO, Dalter P. **Pavimento intertravado**: Uma reflexão sob a ótica da Durabilidade e sustentabilidade. 158 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/MMMD-8PDFFY/1/disserta__o_dalter.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2022.

GONZAGA, Amanda. SICRO: o que é e como utilizar a tabela do DNIT. **Papo de Engenheiro**. 2021. Disponível em: <<https://www.orcafascio.com/papodeengenheiro/sicro/>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

GOOGLE MAPS. **Condomínio Casa Viva**. 2022. Disponível em: <https://www.google.com/maps/dir/-29.3842616,-51.9262768/condominio+casa+viva+santa+maria/@-29.5616292,-53.9568957,8z/data=!3m1!4b1!4m9!4m8!1m1!4e1!1m5!1m1!1s0x9503cb24b5fe3ae9:0xf8e6eee7603f0bb9!2m2!1d-53.745037!2d-29.7067928>. Acesso em: 30 maio 2022.

MARCUZ, Leonardo M. **Pavimento intertravado**: estudo de caso em um condomínio horizontal na cidade de Santa Maria. 68 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, 2021.

MELNICK Even Prata Empreendimentos Imobiliários. **Fotos da obra**. 2022.

NODA, Etsuro; KASAHARA, Atshushi; YAGINUMA, Hiroshi. Revised manual for interlocking block pavement design and construction. Technical Reseach Institute, 2007.

PEREIRA, Deividi. **Estudo do tráfego** – TRP-1001 Infraestrutura de Transportes. 2020a.

PEREIRA, Deividi. **Introdução aos Pavimentos Intertravados**: TRP-1001 – Infraestrutura de Transportes. 2020b.

PINTO, Carlos de S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PINTO, Salomão; PINTO, Isaac E. **Pavimentação asfáltica** – Conceitos fundamentais sobre materiais e revestimentos asfálticos. LTC, 2015.

SILVA, José E. G. **Método nacional de dimensionamento de pavimentos** – MeDiNa, avaliação da duplicação AL-145. 76 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas. Delmiro Gouveia, 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/4810/1/M%c3%a9todo%20nacional%20de%20dimensionamento%20de%20pavimentos%20-%20medina%2c%20avalia%c3%a7%c3%a3o%20da%20duplica%c3%a7%c3%a3o%20da%20AL-145.pdf>. Acesso em: 30 maio 2022.

SINAPI. **Cadernos técnicos de composições para pavimento intertravado**. Lote 3. Brasília: Caixa, 2017. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aferidas-lote3-saneamento-infraestrutura-urbana/SINAPI_CT_LOTE3_INTERTRAVADO_v004.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2022.

SINAPI. **Metodologias e Conceitos**: Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. Caixa Econômica Federal. 8. ed. Brasília: Caixa, 2020. Disponível em: <https://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-manual-de-metodologias-e-conceitos/Livro1_SINAPI_Metodologias_e_Conceitos_8_Edicao.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2022.

SOUZA, Murillo L. de. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. 3. ed. Rio de Janeiro: IPR, 1981. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/667_metodo_de_projeto_de_pavimentos_flexiveis.pdf>. Acesso em: 15 dez. 2021.

SOUZA, Walber. Saiba por que a SINAPI é exigida em licitações públicas. **Papo de Engenheiro**. 2019. Disponível em: <<https://www.orcafascio.com/papodeengenheiro/qual-a-importancia-do-uso-da-tabela-sinapi-para-licitacoes-publicas-caixa-economica-federal/>>. Acesso em: 20 jan. 2022.

STRATURA ASFALTOS. **Método de Dimensionamento Nacional – MeDiNa**. 2020. Disponível em: <<https://stratura.com.br/wp-content/uploads/2020/09/Boletim-Tecnico-No-03.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2022.

VEGGI, Edgar dos S.; MAGALHÃES, Sérgio L. M. Análise Comparativa de Custos Entre Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e Tratamento Superficial Duplo (TSD). **Engineering and Science**, v. 2, n. 1, 2014. Disponível em: <<https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/2071>>. Acesso em: 25 jun. 2022.

VENESCAU, Ricardo. Conheça o método de dimensionamento nacional – MeDiNa. **Engenharia Rodoviária**. 2022. Disponível em: <http://engenhariarodoviaria.com.br/conheca-o-novo-metodo-de-dimensionamento-nacional-medina/#respond>. Acesso em: 20 abr. 2022.

WIKIPEDIA. **Santa Maria** (Rio Grande do Sul). 2022. Disponível em: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Santa_Maria_\(Rio_Grande_do_Sul\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Santa_Maria_(Rio_Grande_do_Sul))>. Acesso em: 30 maio 2022.