

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS**  
**UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**JÉSSICA DE PAULA VERLINDO**

**RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTO ATRAVÉS DA FRAGMENTAÇÃO:**  
**Estudo de caso - Rodovia ERS 118**

**São Leopoldo**  
**2018**

JÉSSICA DE PAULA VERLINDO

**RECUPERAÇÃO DE PAVIMENTO ATRAVÉS DA FRAGMENTAÇÃO:  
Estudo de caso - Rodovia ERS 118**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Graduado em Engenharia Civil, pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Malysz

São Leopoldo

2018

Dedico este trabalho a minha mãe e a todas as mulheres que, com suas lutas, abriram o caminho para que eu pudesse chegar até aqui.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, que está sempre conosco.

À minha mãe Lucimar de Paula Verlindo e ao meu pai Osmerildo Alves Verlindo pela minha formação pessoal, pelos exemplos de princípios e valores que se tornaram fundamentais em todos os campos da minha vida e me guiam nas escolhas por caminhos honestos, com eles aprendi a lutar pelo que quero com a premissa do respeito ao próximo. Ao meu pai também agradeço a inspiração para este trabalho.

Ao meu companheiro Adriano Crestani Lombardi, por estar ao meu lado durante toda a graduação, período no qual tivemos muitos obstáculos que foram vencidos sempre com a certeza do que queremos, agradeço todo o apoio e motivação, ele fez parte desta conquista.

Ao meu irmão Iuri de Paula Verlindo, pois estar com ele me remete aos sonhos da juventude, a sua presença é uma âncora de esperança.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Malysz, por todo o conhecimento e paciência, para que fique claro que seu suporte foi fundamental para a realização deste trabalho.

O homem pré-histórico, na sua busca de alimentação e água, procurava deixar os caminhos entre a sua caverna e os campos de caça ou poços de água em condições de permitir sua passagem o mais fácil possível. Estava, assim, atendendo ao princípio fundamental do transporte: melhorar o caminho por onde devia passar [...]. (SENÇO,1997, p.3).

## RESUMO

O presente trabalho estuda o caso da recuperação do pavimento da rodovia ERS-118, localizada no estado do Rio Grande do Sul. As condições desfavoráveis de utilização, a insegurança do usuário e a grande ocorrência de acidentes são fatores que demonstram o nível de degradação da estrada e acentuam a necessidade de restauração. Para executar a recuperação da estrada foi utilizada a técnica da fragmentação, onde as placas de concreto são fragmentadas com equipamento que atua por vibração ressonante e que preserva a base do pavimento composto. Para o estudo da técnica, foi determinado, com base teórica, o comportamento da camada formada pelo produto da fragmentação dentro desse novo sistema, que passa a ter comportamento flexível. A camada fragmentada passa a exercer a função de base e recebe um novo revestimento, no caso da ERS-118, a recuperação foi executada com revestimento asfáltico. O produto da fragmentação foi comparado ao longo das análises com a brita graduada simples, material que também é granular e utilizado como base em pavimentos flexíveis. A análise da efetividade da nova composição do pavimento foi realizada de acordo com o modelo de dimensionamento adotado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), estabelecido no manual DNER/IPR 667-22/81. A técnica foi estudada também do ponto de vista econômico, incluindo a produtividade, para que seja possível entender suas vantagens em relação à execução da substituição das placas de concreto por uma nova base para o pavimento. As análises mostraram que a solução é vantajosa sob diversos aspectos, a técnica produz um agregado resistente, o que torna seguro o dimensionamento do novo pavimento, além disso, proporciona economia financeira e maior produtividade quando comparada a substituição da placa de concreto por brita graduada simples. Existem também questões sociais e ambientais que são favorecidas por esta solução, a recuperação da rodovia valoriza a comunidade local através do retorno do tráfego seguro em menor tempo, e não há a necessidade de novos materiais para a composição da base, que seriam extraídos de jazidas.

**Palavras-chave:** Fragmentação. Pavimentação. Recuperação de pavimento rígido. ERS-118.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de várias camadas .....	16
Figura 2 – Resposta mecânica de pavimento flexível: pressões concentradas .....	17
Figura 3 – Resposta mecânica de pavimento rígido: pressões distribuídas.....	17
Figura 4 – Seção transversal típica – pavimento flexível .....	18
Figura 5 – Seção transversal típica– pavimento rígido.....	20
Figura 6 – Fissuras por Reflexão .....	28
Figura 7 – Seção transversal do pavimento com britagem <i>in situ</i> .....	29
Figura 8 – Processo de fragmentação .....	30
Figura 9 – Características em função da fragmentação.....	32
Figura 10 – Trecho do mapa rodoviário do Rio Grande do Sul .....	33
Figura 11 - Bases e sub-bases flexíveis e semi-rígidas .....	35
Figura 12 - Seção tipo das camadas do pavimento .....	36
Figura 13 – Ábaco para espessura equivalente do pavimento.....	38
Figura 14 – Composição do pavimento.....	41
Figura 15 – Espessura equivalente para I.S.C. de projeto .....	45
Figura 16 – Seção dimensionada conforme DNIT.....	49
Figura 17 – Seção conforme projeto .....	49
Figura 18 – Espessura equivalente do projeto executivo .....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estrutura da rodovia .....	36
Tabela 2 – Camadas do revestimento asfáltico.....	36
Tabela 3 – Valores de N para 20 anos.....	37
Tabela 4 – Coeficientes de equivalência dos materiais (k) .....	39
Tabela 5 – Coeficientes de equivalência dos materiais (k) .....	39
Tabela 6 – Espessura do revestimento .....	40
Tabela 7 – Composição de custos .....	42
Tabela 8 – Custo unitário espalhamento bota-fora.....	42
Tabela 9 – Produtividade dos serviços.....	43
Tabela 10 – Produtividade de corte e remoção.....	43
Tabela 11 – Dados para o dimensionamento.....	45
Tabela 12 – Coeficientes utilizados no dimensionamento.....	46
Tabela 13 – Dados para cálculo de $K_{\text{pavimento}}$ .....	50
Tabela 14 – Custos de material para a base por pavimento .....	52
Tabela 15 – Custos incluindo a remoção da placa de concreto .....	52
Tabela 16 – Custos incluindo espalhamento do bota-fora .....	53
Tabela 17 – Produtividade por tipo de base.....	53
Tabela 18 – Produtividade para a substituição da placa .....	54

**LISTA DE FOTOGRAFIAS**

Fotografia 1 – Sub-base em CCR preservada .....	47
Fotografia 2 - Fissuras horizontais e verticais na placa de concreto .....	55
Fotografia 3 - Fissuras horizontais e verticais no revestimento asfáltico.....	56
Fotografia 4 - Placa de concreto antes e após a fragmentação .....	56
Fotografia 5 - Produto da fragmentação.....	57
Fotografia 6 - Produto da fragmentação.....	57
Fotografia 7 - Equipamento.....	58

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 Definição do Tema</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2 Delimitação do Tema</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3 Objetivos</b> .....	<b>13</b>
1.3.1 Objetivo Geral .....	13
1.3.2 Objetivos Específicos .....	14
<b>1.4 Justificativa</b> .....	<b>14</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>15</b>
<b>2.1 Pavimento</b> .....	<b>15</b>
2.1.1 Classificação dos Pavimentos .....	16
<b>2.2 Camadas de Pavimentação Asfáltica</b> .....	<b>18</b>
2.2.1 Revestimento .....	18
2.2.2 Base e sub-base .....	18
2.2.3 Subleito, regularização e reforço do subleito.....	19
<b>2.3 Pavimentos de Concreto</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 Placa de concreto simples.....	20
<b>2.4 Projeto de Pavimentação</b> .....	<b>21</b>
2.4.1 Dimensionamento de pavimento flexível .....	21
2.4.2 Dimensionamento de pavimento rígido .....	21
<b>2.5 Tipos de Bases</b> .....	<b>22</b>
2.5.1 Base de macadame hidráulico - MH .....	22
2.5.2 Base de brita graduada simples- BGS .....	23
2.5.3 Brita graduada tratada com cimento – BGTC.....	23
2.5.4 Brita de macadame betuminoso (base negra).....	23
2.5.5 Base de solo estabilizado granulometricamente .....	23
2.5.6 Usinagem do solo estabilizado .....	24
2.5.7 Base ou sub-base de solo arenoso fino laterítico - SAFL.....	24
2.5.8 Base ou sub-base de solo-cimento .....	24
2.5.9 Base de solo-asfalto .....	24
2.5.10 Base de solo-cal .....	25
2.5.11 Escória de alto-forno .....	25
2.5.12 Escória de aciaria .....	25

<b>2.6 Métodos de Restauração de Pavimento de Concreto .....</b>	<b>25</b>
2.5.1 Manifestações patológicas em pavimentos de concreto .....	26
2.5.2 Manutenção de pavimentos de concreto.....	26
<b>2.7 Britagem <i>in situ</i> e Fragmentação.....</b>	<b>28</b>
2.7.1 Objetivos da fragmentação.....	30
2.7.2 Condições para a fragmentação .....	31
2.7.2 Produto da fragmentação .....	31
2.7.3 Execução da fragmentação – condições básicas.....	32
<b>3. METODOLOGIA .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1 Informações de Projeto.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2 Descrição da Obra.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3 Camada Fragmentada .....</b>	<b>35</b>
<b>3.4 Classificação do Pavimento .....</b>	<b>35</b>
<b>3.5 Análise do Pavimento .....</b>	<b>36</b>
3.3.1 Tráfego.....	37
3.3.2 Informações Geotécnicas.....	37
<b>3.6 Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis .....</b>	<b>38</b>
<b>3.5 Custos .....</b>	<b>41</b>
<b>3.6 Produtividade .....</b>	<b>43</b>
<b>3.7 Situação da Rodovia .....</b>	<b>44</b>
<b>4. ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>45</b>
<b>4.1 Dimensionamento .....</b>	<b>45</b>
4.1.1 Critérios para o Dimensionamento .....	45
4.1.2 Condições para o Dimensionamento.....	46
4.1.3 Verificação das Camadas do Projeto Executivo .....	47
4.1.4 Dimensionamento pelo Método DNER.....	48
4.1.5 Capacidade da Rodovia de Projeto .....	50
4.1.6 Dimensionamento DNER/81 e AASHTO/93.....	51
<b>4.2 Análise de Custos .....</b>	<b>52</b>
<b>4.3 Análise de Produtividade.....</b>	<b>53</b>
<b>4.4 Análise das Condições da Rodovia .....</b>	<b>54</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>59</b>
<b>5.1 Conclusões .....</b>	<b>59</b>
<b>5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros .....</b>	<b>60</b>

<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXO A – PROJETO DE RESTAURAÇÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO B – CUSTOS .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO C – ESPALHAMENTO BOTA-FORA.....</b>	<b>70</b>
<b>ANEXO D – PRODUTIVIDADE FRAGMENTAÇÃO.....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO E – PRODUTIVIDADE SUB-BASE OU BASE BRITA GRADUADA .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXO F – PRODUTIVIDADE CORTE E REMOÇÃO MECÂNICA .....</b>	<b>73</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O modal rodoviário é o maior método de transportes de cargas utilizado no Brasil, em 2016 foram quase 2 bilhões de veículos autorizados para este fim, mesmo assim, apenas 13,7% das estradas do país estão pavimentadas (BRASIL, 2017). No site da Confederação Nacional de Transporte (CNT) a informação é de que, apesar de estar evoluindo, 57,3% das rodovias públicas têm condições inadequadas para o tráfego, como deficiências no pavimento, na sinalização e na geometria (CNT, 2017).

Entende-se então que, a conservação das rodovias existentes é essencial para o desenvolvimento econômico do país, segundo Andrade (2018), é necessário melhorar a qualidade das rodovias brasileiras, isso deve ser feito através da obtenção de dados precisos e de estratégias executivas e financeiras, com o objetivo de que seja possível utilizar todo o potencial rodoviário atual. Para o país, possuir um sistema rodoviário eficiente gera recursos e permite direcionar investimentos públicos para o seu crescimento e para o incentivo a pesquisas de tecnologia e otimização do sistema. Além disso, a construção de novas rodovias gera impactos ambientais: são necessários recursos naturais e modificações no ambiente local, o que reforça a necessidade de melhoria na conservação das estradas existentes.

O tipo de manutenção adotada para cada caso dependerá do pavimento existente, da análise dos materiais e do estado de conservação, com essas informações é possível determinar o método ideal e proporcionar novamente uma rodovia em pleno funcionamento. Em relação às rodovias de concreto, de acordo com Felix (2008), apesar das vantagens da sua utilização, os tipos de patologias e métodos de manutenção, além do alto investimento inicial, podem dificultar a escolha de contratantes e empreiteiros por este tipo de pavimento. Na Europa, as rodovias de concreto são utilizadas a mais de um século, o tempo de utilização dessas estradas exigiu que se desenvolvessem técnicas para a reutilização de pavimentos condenados, segundo Balbo (2009), entre outros tipos de soluções, tornou-se usual adotar o método da fragmentação do pavimento de concreto, proporcionando a extensão da vida útil e continuidade do tráfego local.

## **1.1 Definição do Tema**

Este trabalho tratará especificamente da solução aplicada ao pavimento rígido da rodovia ERS-118, localizada no estado brasileiro do Rio Grande do Sul. Trata-se, segundo o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER) (2018a), da obra mais importante do estado e de um trajeto essencial para o desenvolvimento econômico da região. Essa rodovia teve um dos seus trechos avaliado e classificado como não funcional (TUTIKIAN et al., 2015), atualmente, está sendo restaurada através do processo de fragmentação – método em que é feita a demolição do pavimento através de fraturas gerando um material que será utilizado como base ou sub-base do pavimento (BALBO, 2009).

## **1.2 Delimitação do Tema**

Este estudo inicia-se com a compreensão da estrutura das rodovias e da composição dos pavimentos rígidos e flexíveis, pavimentos intertravados não serão estudados. Para auxiliar a compreensão do novo sistema de camadas que será formado após fragmentação, aborda-se neste trabalho o dimensionamento de pavimentos flexíveis. Os tipos de base explorados pertencem ao grupo das utilizadas para pavimentos flexíveis, pois este será o comportamento do pavimento após a fragmentação. Métodos de restauração de pavimento rígido também estão compreendidos para fins de análise da técnica adotada. Por fim, há o entendimento da técnica, do comportamento da camada fragmentada e a análise dos resultados, incluindo estudo financeiro e de produtividade, que compara o pavimento resultante da técnica da fragmentação a um pavimento com brita graduada simples em sua composição.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo Geral**

Verificar a escolha da técnica da fragmentação como solução adotada para pavimentos rígidos que estejam danificados a ponto de terem sua vida útil comprometida.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

O objetivo geral será atingido por meio do desenvolvimento dos objetivos específicos a seguir:

- a) verificar e comparar a concepção dos pavimentos rígidos e flexíveis;
- b) verificar os métodos de manutenção do pavimento rígido;
- c) verificar a nova constituição do pavimento com a técnica da fragmentação;
- d) verificar a viabilidade financeira da técnica adotada;
- e) verificar a viabilidade de produção da técnica adotada;
- f) verificar as vantagens e desvantagens da técnica adotada.

### 1.4 Justificativa

Uma rodovia subutilizada gera prejuízos econômicos e sociais, no caso da ERS-118, são registrados inúmeros acidentes em consequência do mau estado de conservação da rodovia (TUTIKIAN et al., 2015). Estes problemas não acontecem somente nesta estrada, portanto, o método estudado se tornará uma alternativa a ser aplicada em situações semelhantes no país, caso as condições sejam favoráveis à fragmentação.

Conforme informado pelo DAER (2018a), esta é a primeira obra nacional a adotar esse procedimento, que é realizado com equipamento importado. Devido à falta de referências em estradas brasileiras, é possível que esse se torne um método apropriado e lucrativo para a economia do país, pois o tratamento correto na recuperação das rodovias gera economia a longo prazo. A economia dentro do sistema rodoviário abre a possibilidade de que os recursos financeiros sejam direcionados ao seu desenvolvimento, e gera assim a melhoria da malha rodoviária do Brasil.

O método utilizado também promove vantagens ambientais, pois o material danificado, por outras vezes inutilizado, passa a ser utilizado como base para um novo pavimento, portanto é considerado como uma reciclagem do pavimento de concreto (WISDOT, 2013).

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

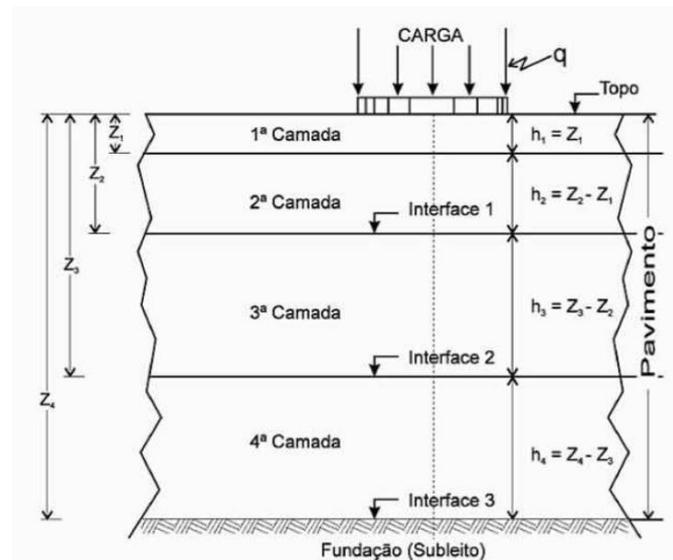
### 2.1 Pavimento

Para Balbo (2007), pavimentar uma via de circulação de veículos é diretamente proporcional a melhoria operacional do tráfego, o autor conta que, a primeira civilização a dimensionar a pavimentação com esse objetivo foi a romana, em seu período republicano, e só entre 1825 e 1895 é que surgiram teorias que contribuíram para as normas de construção de vias. Em 1870, nos Estados Unidos, foi construído o primeiro pavimento com revestimento betuminoso, e em 1876, também nos Estados Unidos e concomitantemente na França, eram construídos os primeiros pavimentos urbanos de concreto. Em 1958, a Associação Americana de Funcionários de Rodovias e Transportes do Estado (AASHTO), iniciou a construção e monitoramento de pistas experimentais e estudou o desempenho de pavimentos asfálticos e de concreto, empregando os mesmos tipos de base e sub-base, gerando sucessivos guias de projeto, e a partir de 1960, com o avanço de técnicas computacionais, começaram a ser desenvolvidos diversos programas computacionais. Os conceitos que se referem à gerenciamento das rodovias começaram a ser desenvolvidos na década de 1970.

Segundo Senço (1997, p. 5), o dimensionamento do pavimento pode variar quanto “[...] à espessura, [...] aos materiais utilizados, [...] em consonância com as solicitações [...] e com a função que a estrada está exercendo ou irá exercer”. Neste sentido, na elaboração do projeto, devemos basear os estudos em diversos métodos, a fim de buscar amplo conhecimento para atingir o melhor dimensionamento do pavimento.

Senço (1997, p. 6) explica que, “Pavimento é a estrutura construída sobre a terraplenagem [...]”, seu papel é resistir aos esforços, e promover conforto e segurança aos usuários. É composto por um sistema de camadas conforme a figura 1:

Figura 1 – Sistema de várias camadas



Fonte: Senço (1997, p. 7).

Segundo Balbo (2007), o objetivo estrutural do pavimento é o de receber e transmitir esforços a fim de aliviar pressões de acordo com seu dimensionamento e função de cada camada.

### 2.1.1 Classificação dos Pavimentos

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (2006), classifica os pavimentos, de um modo geral, da seguinte forma:

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

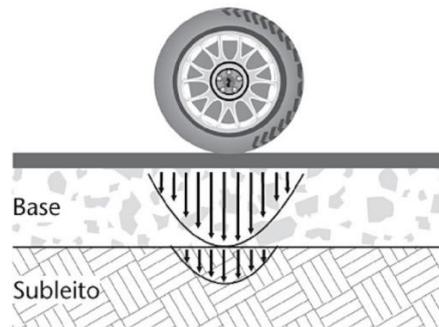
**Semi-rígido:** caracteriza-se por uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica.

**Rígido:** aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento Portland.

Balbo (2007 apud YODER; WITCZAK, 1975) utilizou o conceito que consiste em classificar o pavimento de acordo com a forma que distribui os esforços de uma carga atuante:

- a) “[...] um pavimento flexível impõe nessa estrutura um campo de tensões muito concentrado, nas proximidades do ponto de aplicação dessa carga[...]”, a exemplo da figura 2;

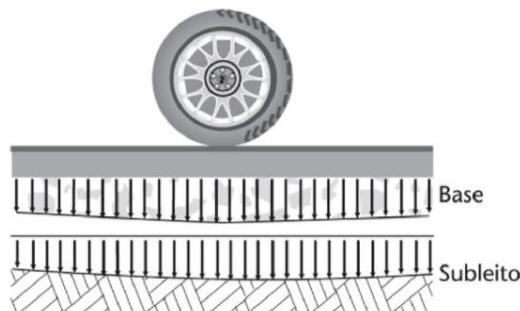
Figura 2 – Resposta mecânica de pavimento flexível: pressões concentradas



Fonte: Balbo (2007, p. 47).

- b) “[...] em um pavimento rígido, verifica-se um campo de tensões bem mais disperso, com efeitos da carga distribuídos de maneira semelhante em toda a dimensão da placa[...]”, a exemplo da figura 3.

Figura 3 – Resposta mecânica de pavimento rígido: pressões distribuídas



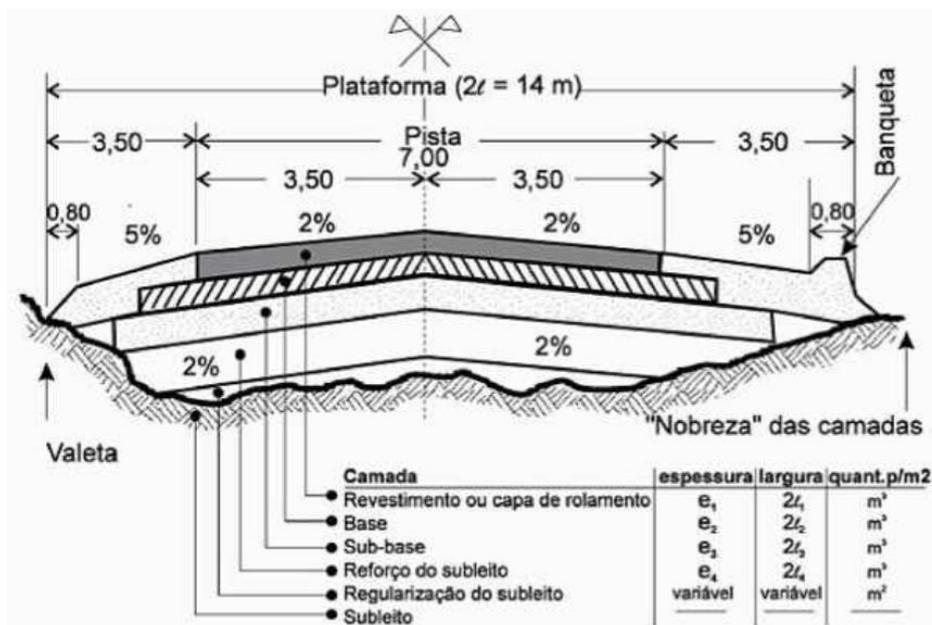
Fonte: Balbo (2007, p. 47).

Para pavimento semi-rígido, Balbo (2007 apud CHILDS; NUSSBAUM, 1962) utilizou o conceito em que o revestimento deve ser asfáltico e ter uma camada composta por material estabilizado com ligante hidráulico, não deve haver camada de concreto na estrutura, e deve apresentar um comportamento de distribuição de esforços intermediário, entre o flexível e o rígido.

## 2.2 Camadas de Pavimentação Asfáltica

As camadas que compõem o pavimento são dimensionadas de acordo com sua função e com diferentes materiais, têm como objetivo receber e transmitir esforços para aliviar as pressões exercidas pelo tráfego sobre as camadas inferiores. Essas camadas geralmente são como as que estão representadas na figura 4: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito (BALBO, 2007).

Figura 4 – Seção transversal típica – pavimento flexível



Fonte: Senço (1997, p. 16).

### 2.2.1 Revestimento

Os revestimentos asfálticos geralmente são divididos em camada de rolamento, que é o acabamento da rodovia e fica em contato direto com as ações de carga e fatores ambientais, e camada de ligação, situada entre a base e a camada de rolamento (BALBO, 2007). O revestimento deve resistir ao desgaste aumentando a durabilidade da rodovia, e é impermeável.

### 2.2.2 Base e sub-base

A base tem como função aliviar a solicitação sobre as camadas inferiores, também atua na drenagem superficial dos pavimentos. Dependendo da espessura

necessária, é viável técnica e financeiramente, dividi-la em duas camadas, criando a sub-base. Segundo Balbo (2007), podem ser compostas por “[...] solo estabilizado naturalmente, mistura de solo e agregados [...], brita graduada, brita graduada tratada com cimento, [...] etc.”

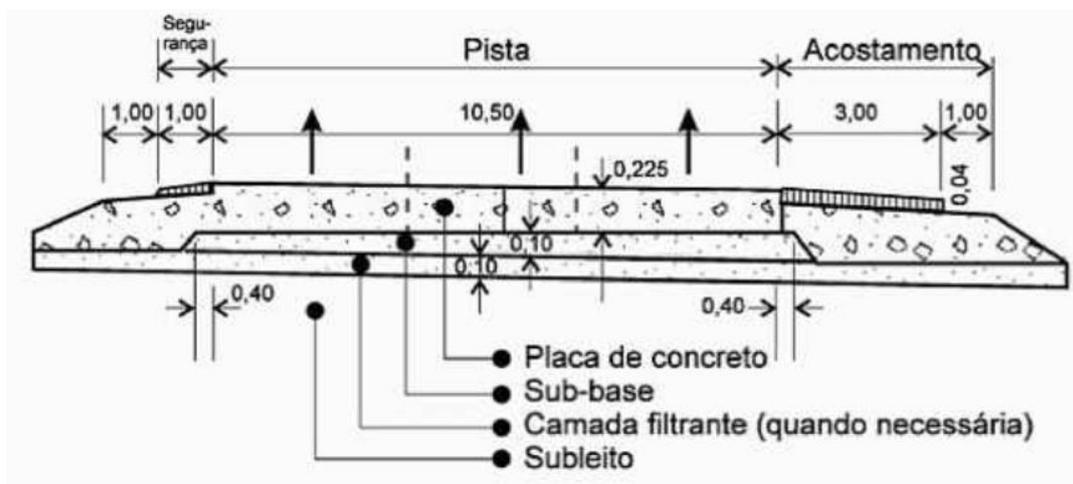
### 2.2.3 Subleito, regularização e reforço do subleito

O subleito vai transmitir e aliviar os esforços solicitados pela rodovia, as tensões desses esforços são transmitidas e se dispersam geralmente até o primeiro metro de profundidade, portanto, é neste ponto em que deve haver maior preocupação com o solo do local. Caso o subleito tenha um solo de baixa resistência, é realizado o reforço do subleito. O reforço se trata de uma camada de solo de melhor qualidade, assim pressões menores são transmitidas ao subleito. A utilização do reforço também se faz vantajosa, pois proporciona ao sistema a possibilidade de diminuir as camadas superiores, gerando economia no projeto (BALBO, 2007). Senço (1997) explica que, a regularização tem como objetivo conformar o subleito geometricamente com suas características definitivas, terão inclusive as inclinações transversais do pavimento acabado.

## 2.3 Pavimentos de Concreto

Os pavimentos de concreto possuem sub-base e subleito com as mesmas definições do pavimento asfáltico, é possível acrescentar entre essas duas camadas uma que detenha a passagem de partículas, trata-se de uma característica particular de projeto (SENÇO, 1997). A figura 5 demonstra a seção transversal de um pavimento de concreto:

Figura 5 – Seção transversal típica– pavimento rígido



Fonte: Senço (1997, p. 17).

Há diversas técnicas para se dimensionar a placa de concreto de um pavimento, ela pode ser executada com concreto simples, armado, protendido, entre outros (BALBO, 2009). O pavimento em estudo é constituído por placas de concreto simples, portanto, neste trabalho abordaremos apenas esse tipo de revestimento para pavimentos rígidos.

### 2.3.1 Placa de concreto simples

O concreto utilizado no pavimento poderá ser convencional, de alta resistência ou compactado com rolo, é moldado *in loco* e marcado por juntas transversais e longitudinais, executadas para o controle de retração hidráulica do concreto, e por isso, o sistema passa a ter suas condições geométricas, para fins de dimensionamento, tratadas como placas que ficam delimitadas pelas juntas. Por não possuir armadura estrutural, a resistência do concreto é o ponto principal ao dimensionar o pavimento. Dependendo do método utilizado no dimensionamento, entre as placas de concreto são instaladas barra de aço nas juntas transversais a fim de gerar transferência de carga de uma placa para outra. Também são instaladas barras nas juntas longitudinais, o objetivo é evitar o deslocamento horizontal entre as placas lateralmente. Há casos em que se utiliza armadura de retração em forma de tela, acima da linha neutra, mantendo a característica de concreto simples por não combater esforços de tração (BALBO, 2009).

## 2.4 Projeto de Pavimentação

De acordo com o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), o projeto de pavimentos flexíveis se inicia pelo estudo do subleito, a partir desse estudo se determinam as características das demais camadas e mais adiante o traçado geométrico. Para cada camada é determinado um tipo de material e de espessura a fim de proteger o subleito e resistir aos esforços da estrada.

Para o projeto de pavimentos rígidos, devem ser seguidas as orientações do Manual de Pavimentos Rígidos do DNIT (2005). O projeto de um pavimento rígido é baseado no estudo dos agregados e na prospecção de jazidas e pedreiras. Além disso, ensaios normatizados são realizados para “[...] estimar as quantidades e formas das britas de cada graduação que poderão ser obtidas[...]”.

### 2.4.1 Dimensionamento de pavimento flexível

O Manual de Pavimentação (DNIT, 2006) adota o Método proposto pelo Eng<sup>o</sup> Murillo Lopes de Souza - DNER/IPR 667-22/81, para o dimensionamento de pavimentos flexíveis. Cada camada do pavimento possui um coeficiente estrutural específico, os coeficientes foram determinados a partir de resultados obtidos da pista experimental da AASHTO/93. O método tem como base “A Capacidade de Suporte do subleito e dos materiais constituintes dos pavimentos” que é dada pelo Índice de Suporte Califórnia (I.S.C.) através de ensaios normatizados.

### 2.4.2 Dimensionamento de pavimento rígido

A partir da seleção definitiva das fontes de materiais, novos ensaios são realizados para estabelecer os índices de qualidade dos agregados (DNIT, 2005). Não há restrições quanto ao tipo de cimento portland utilizado no dimensionamento, os mais adequados são os de alta resistência e de processo de cura mais lento, o objetivo é reduzir a fissuração. Diferente dos agregados, que se estuda os materiais disponíveis de acordo com as jazidas, o cimento Portland, por ser industrializado, pode ser produzido com as características determinadas pelo projetista. As exigências estabelecidas para o cimento portland destinado a obras de pavimentação rígida constam da norma DNIT 050/2004-EM, também devem ser

realizados “[...] ensaios de caracterização tecnológicas em amostras de água[...]” para o amassamento do concreto, também pode ser feito o uso de aditivos de acordo com a necessidade do dimensionamento. Em relação ao suporte do subleito, o parâmetro utilizado é o Coeficiente de Recalque “[...] é determinado em uma prova de carga estática, conforme a norma DNIT 055/2004-ME[...]” (DNIT, 2005).

O manual de pavimentos rígidos do DNIT (2005) aborda dois métodos de dimensionamento de pavimento de concreto simples, um “[...] fundamentado no Modelo de Fadiga de Concreto e no sistema de análise estrutural ligado ao caso de placas estáticas apoiadas em fundação contínua [...] e outro no modelo de Erosão com “[...] considerações sobre o escalonamento e que emprega análise estrutural por elementos finitos;”, os dois métodos são da Portland Cement Association (PCA). O terceiro método apresentado pelo manual trata de pavimento de concretos armados,

[...] baseado na determinação das tensões atuantes e dos momentos fletores, de acordo com o modelo proposto por Westergaard por meio de Cartas de Influência de Pickett e Ray. O cálculo estrutural é conduzido no Estádio III, de acordo com as prescrições da Norma NBR 6118, considerando-se o emprego de telas soldadas produzidas com aço CA-60. Para o concreto do pavimento, considera-se que a sua resistência seja superior a 25 MPa, para que se tenha uma resistência ao desgaste compatível com o grau de sollicitação imposto aos pavimentos rodoviários.

## 2.5 Tipos de Bases

O pavimento da Rodovia ERS-118, inicialmente com pista de rolamento em concreto simples (TUTIKIAN et al., 2015), teve seu revestimento fragmentado para desempenhar a função de base para a execução de um novo revestimento asfáltico. Com o intuito de entender melhor as possibilidades existentes para compor a base de um pavimento e analisar o seu comportamento, segue uma visão geral sobre os tipos de bases utilizadas na pavimentação.

### 2.5.1 Base de macadame hidráulico - MH

De acordo com Senço (2001), trata-se de uma camada de pedra britada e material de enchimento, utiliza-se água para que o material penetre pelos vazios entre as britas, com esse procedimento se evita o descolamento da brita. O material de enchimento é composto por partículas de saibro, areia ou pó de pedra, também é

possível utilizar o resíduo de material resultante do processo de compactação através de rolo ou tráfego obre a camada, esse material deve ser peneirado antes do uso. O autor ainda informa que “O fundamental para obter um bom macadame é que o agregado graúdo forme uma estrutura bem travada e o mais indeformável possível.”, para isso, a distribuição granulométrica deve seguir graduações específicas gerando uma densa camada.

#### 2.5.2 Base de brita graduada simples- BGS

Senço (2001) descreveu como “[...] uma base resultante da mistura em usina de agregado previamente dosado [...]”. O material deve apresentar uniformidade quanto às especificações e origem, para isso diversos ensaios são realizados e devem ser refeitos no caso de troca de jazida. O Departamento de Estradas de Rodagem (DER) (2005), define como brita graduada “[...] a camada de base ou sub-base composta por mistura em usina de produtos de britagem de rocha sã e que, ao serem enquadradas em uma faixa granulométrica contínua, assegura a esta camada estabilidade.”

#### 2.5.3 Brita graduada tratada com cimento – BGTC

Difere da brita graduada na resistência à compressão simples, já que possui cimento adicionado à sua composição, o teor de cimento é determinado através de ensaios químicos (SENÇO, 2001).

#### 2.5.4 Brita de macadame betuminoso (base negra)

É constituída por camadas de agregados unidos por pinturas de ligação feitas de material betuminoso. O número dessas camadas pode variar de acordo com o projeto e são compostas, de baixo para cima, cada vez com uma granulometria menor (SENÇO, 2001).

#### 2.5.5 Base de solo estabilizado granulometricamente

Consiste em solos e rochas, naturais ou alterados, dependerá da combinação determinada em projeto. Para que atenda a estabilidade necessária, pode conter

pedregulho, misturado naturalmente ao solo, ou pedra britada adicionada ao solo, neste caso chamado de solo brita. Para estabilizar o solo combina-se na proporção correta solo arenoso com solo argiloso, tornando possível obter um desempenho intermediário: sem poeira nos períodos de seca e sem lama nos períodos de chuva (SENÇO, 2001).

#### 2.5.6 Usinagem do solo estabilizado

Ao utilizar o solo brita, existe a preocupação quanto a homogeneidade dessa mistura, seu preparo é realizado em usinas para garantir as condições de projeto (SENÇO, 2001).

#### 2.5.7 Base ou sub-base de solo arenoso fino laterítico - SAFL

Trata-se de uma base de características arenosa de graduação fina e laterizada, ou seja, possui grande concentração de hidróxidos de ferro e de alumínio, é classificada pela metodologia da Miniatura Compactado Tropical (MCT) (SENÇO, 2001).

#### 2.5.8 Base ou sub-base de solo-cimento

Neste caso, os solos são estabilizados para obter a resistência e estabilidade solicitada em projeto com cimento de acordo com um teor ótimo, que vai depender do tipo de solo. As misturas que não atendem às resistências necessárias, apesar de apresentarem melhores condições comparadas ao solo bruto, não podem ser classificadas como solo-cimento. É constituído na sua maior parte por solo, mas também pode apresentar na mistura pedregulho, areia, silte e argila, a mistura pode ser usinada e receber aditivos (SENÇO, 2001).

#### 2.5.9 Base de solo-asfalto

Como explica Senço (2001), “é uma mistura de solo, ou solo mais agregados, com asfalto diluído às suas temperaturas próprias de aplicação em dosagens adequadas [...]”. Mesmo agregando estabilidade e resistência à base, a escolha por

sua utilização é muito mais econômica do que técnica e deve ser avaliada em relação ao consumo de asfalto necessário.

#### 2.5.10 Base de solo-cal

A cal tem propriedades que podem incorporar qualidade ao o solo, tornando-o resistente o suficiente para ser estabilizado com outro material. Nos casos em que se trata de um solo de boa qualidade, é possível que apenas a mistura já apresente as características necessárias para base ou sub-base e poderá ser utilizada como produto final (SENÇO, 2001).

#### 2.5.11 Escória de alto-forno

Dentro dos dois tipos de escória de alto-forno, granulada e bruta, Senço (2001) explica que,

A escória granulada pode ser utilizada como base ou sub-base [...] desde que misturada com brita e cal, enquanto a escória bruta, que é composta de grãos com as dimensões atuais das britas utilizadas em pavimentação, pode ser empregada na construção de bases e sub-bases de pavimentos, apenas com adição da cal.

O autor ressalta que, uso desse material exige cuidados químicos, como em relação à estabilidade química, impurezas como o enxofre, teor de chumbo, e a quantidade de óxido de cálcio e de magnésio deve ser limitada pela presença de alumina e sílica

#### 2.5.12 Escória de aciaria

Por possuir alta resistência a abrasão comparada a outros agregados, pode desempenhar este papel em bases estabilizadas (SENÇO, 2001).

### **2.6 Métodos de Restauração de Pavimento de Concreto**

“Qualquer tipo de revestimento de pavimento está sujeito à deterioração ou degradação com o passar dos anos, em razão das solicitações de tráfego e

ambientais que lhe são impostas.” (BALBO, 2009, p. 433). O pavimento estudado trata-se, originalmente, de um pavimento rígido.

### 2.5.1 Manifestações patológicas em pavimentos de concreto

As manifestações patológicas podem afetar o pavimento de modo estrutural, quando comprometem sua resistência às cargas de tráfego, ou de modo funcional, quando comprometem a segurança e condições de tráfego da via. As manifestações estruturais se estendem por toda a espessura da placa, geralmente se apresentam como trincas, as funcionais estão estabelecidas através de defeitos superficiais. (SILVA, 2008).

### 2.5.2 Manutenção de pavimentos de concreto

A determinação do método de manutenção do pavimento se inicia através do diagnóstico das manifestações patológicas, tem como objetivo manter a eficiência de projeto do pavimento pelo maior tempo possível, através de manutenções preventivas ou corretivas. O diagnóstico pode ser realizado de modo destrutivo, através da extração de corpos de prova, ou não destrutivo, identificação das camadas do pavimento através de radares de penetração de solo ou prova de carga. Além do diagnóstico, deve-se estudar cada alternativa de manutenção de acordo com a sua viabilidade técnica e econômica (BALBO, 2009; SILVA, 2008).

No Quadro 1, seguem as principais manifestações patológicas e suas causas mais comuns.

Quadro 1 – Defeitos mais comuns nos pavimentos de concreto

(continua)

Nomenclatura	Causas	Métodos de Reparo
Desgaste superficial	Qualidade de argamassa insuficiente para a abrasão de pneus de veículos; fissuras de retração plástica	Nada a fazer ou selagem
Fissuras finas e curtas interligadas	Retração plástica (durante a cura)	Nada a fazer ou selagem
Polimento	Intensa abrasão associada a agregados pouco duros	Nada a fazer ou nova ranhura

Quadro 2 – Defeitos mais comuns nos pavimentos de concreto

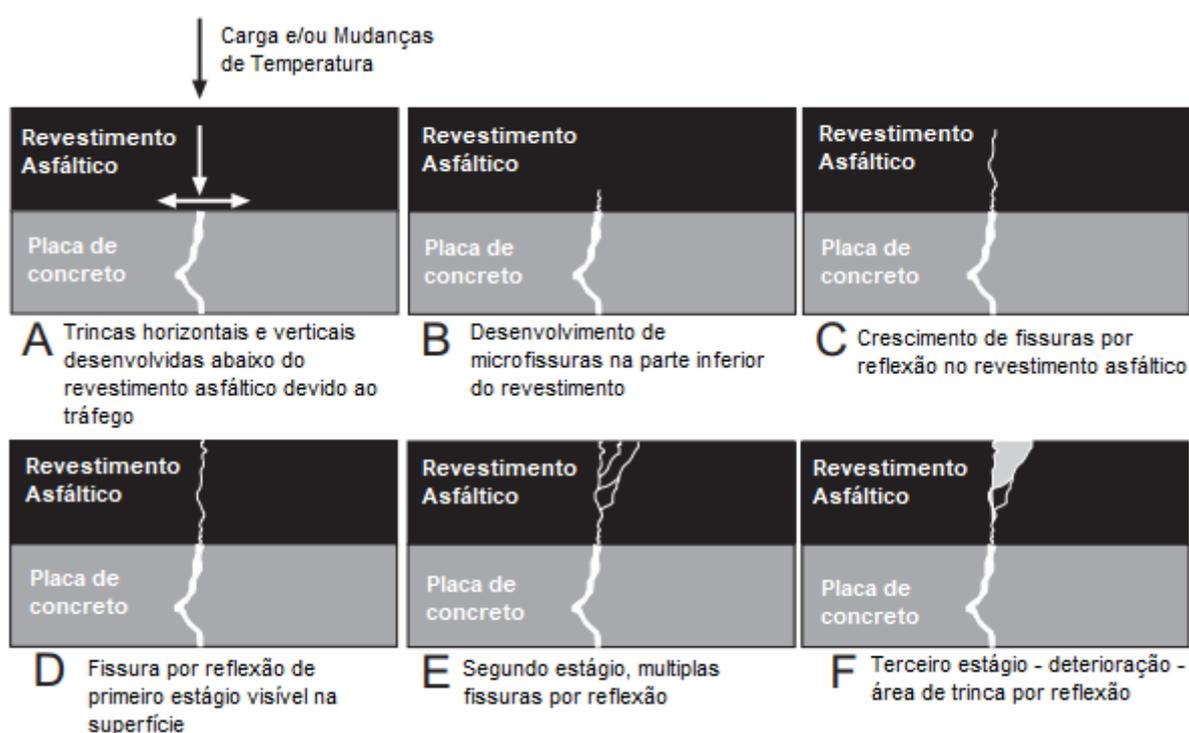
(conclusão)

Nomenclatura	Causas	Métodos de Reparo
Fissuras transversais	Retração de secagem; fadiga do concreto; perda de suporte; atraso em serragem de junta (secagem); mau posicionamento de barras de transferência	Selagem; <i>retrofit</i> ; remendo parcial de placa
Fissuras longitudinais	Retração de secagem;	Selagem; <i>retrofit</i> ; remendo parcial de placa
Abertura de junta longitudinal	Ausência de barras de ligação; insuficiência de barras de ligação	Enchimento de junta
Afundamento	Baixa resistência do terreno	Reconstrução da placa
Perda de suporte em junta com fissura transversal	Vazios sob a placa nas juntas, decorrentes de bombeamentos finos	Remendo parcial
Escalonamento	Afundamento plástico diferencial entre placas sucessivas; vazios sob a placa na junta	Nivelamento por fresagem na região afetada; substituição de placa
Perda de selante	Envelhecimento natural (com quebras); falta de manutenção em juntas	Resselagem
Alçamento	Compressão de placa contra placa em áreas de frenagem	Remendo parcial ou total e colocação de junta de expansão
Fissuras de canto	Fadiga e resistência	Selagem; remendo parcial
Buraco	Evolução com fissuras interligadas com quebras no concreto	Remendo parcial
Bombeamento de finos	Entrada e acúmulo de água	Selagem de juntas e fissuras; injeção de <i>grout</i> na base
Partição de placas	Fadiga e resistência	Selagem de fissuras; remendo parcial; substituição de placa
Fissuras em mapa ou carcaça de tartaruga	Reação álcalis-agregados	Nada a fazer; substituição da placa
Esborcinamentos	Causas construtivas; resistência do concreto na superfície excesso de pasta ou argamassa	Remendos parciais
Perda de selante	Desgaste do material	Resselagem
Remendos	Deterioração dos remendos	Novo remendo
Desnivelamento pista/acostamento	Afundamento	Substituição de placa; recapeamento asfáltico

Fonte: Balbo (2009, p. 434 apud BETONSTRASSEN, 1986; USACE, 1982)

Segundo a Associação Nacional de Pavimentos de Asfalto dos Estados Unidos (NAPA) (2006), o grande problema na restauração de pavimentos de concreto pela sobreposição de asfalto são as fissuras por reflexão. Movimentos horizontais e verticais ocorrendo na placa de concreto causam aberturas no revestimento, essas movimentações são causadas por mudanças de temperatura, umidade e tráfego que geram pequenas fissuras, essas aberturas aumentam de tamanho com o tempo como apresentado na figura 6:

Figura 6 – Fissuras por Reflexão



Fonte: adaptado de NAPA (2006, p. 8).

## 2.7 Britagem *in situ* e Fragmentação

Cada procedimento requer uma análise de viabilidade, também é importante a busca por novas tecnologias. Dois dos métodos já aplicados fora do Brasil são a britagem *in situ* e o processo de fragmentação, onde acontece a reciclagem das placas de concreto comprometidas.

A britagem *in situ*, de acordo com Balbo (2009, p. 441) trata-se de:

[...] um processo de fratura e demolição do pavimento de concreto para tamanhos bastante reduzidos, que é capaz de acabar com o comportamento de placa da camada de concreto, gerando um material

granular graúdo que é empregado como base ou sub-base de pavimento. Esse processo permite, após compactação enérgica do material britado *in situ*, a execução de nova camada de revestimento, em concreto ou mistura asfáltica, ou ambas, para a recomposição do pavimento e da superfície de rolamento, sem que ocorra a posterior propagação, para camadas superiores, de fissuras que existiam na placa de concreto, além de regularizar os escalonamentos anteriores existentes, permitindo uma camada de base nivelada. [...] Camadas asfálticas e remendos asfálticos devem ser removidos antes da britagem.

Entretanto, os manuais internacionais diferenciam os processos de britagem e de fragmentação do concreto (RESONANT MACHINES, 2012):

- a) Britagem é a reciclagem do concreto no local, transformando o material em agregado com diâmetros inferiores a 15 cm, esse material é escavado para reparos na sub-base e pode ser utilizado no mesmo local com o acréscimo de uma fina camada de um agregado novo, conforme a figura 7:

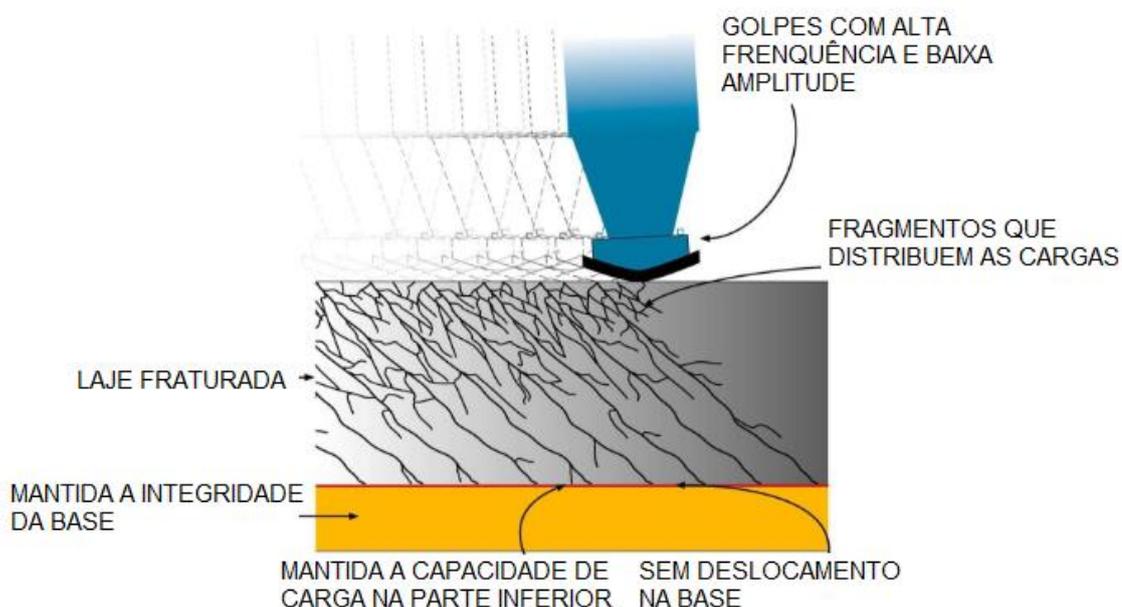
Figura 7 – Seção transversal do pavimento com britagem *in situ*



Fonte: adaptado de Fragmentação (2012)

- b) A fragmentação do concreto resulta em fragmentos angulares prontos para receber o revestimento direto, a sub-base da estrada não é comprometida, conforme a figura 8, “[...] a energia da fragmentação ressonante de baixa amplitude e alta frequência é absorvida pela laje de concreto, sem impelir as partes fraturadas para o interior da sub-base.” (RESONANT MACHINES, 2012). A laje será totalmente fraturada, e o coeficiente estrutural da base ficará entre 0,25 e 0,28, “O coeficiente estrutural de uma típica base de pedra britada é de 0,14; o de uma base estabilizada é de 0,25” (RESONANT MACHINES, 2012), estes coeficientes são os utilizados pelo método de dimensionamento da AASHTO/93 (FERNANDES, 2016).

Figura 8 – Processo de fragmentação



Fonte: adaptado de Fragmentação (2012)

### 2.7.1 Objetivos da fragmentação

O Departamento de Transportes de Wisconsin (WISDOT, 2013) explica que, é fundamental que a base e sub-base do pavimento existente estejam em condições para o bom desempenho da fragmentação, é importante identificar a causa das patologias do pavimento para determinar o método correto de reabilitação. A técnica produz fragmentos com comportamento intertravado e passa a exercer a função de base para o futuro revestimento, as fissuras por reflexão serão prevenidas justamente pela destruição da placa de concreto que não terá mais o comportamento de uma laje. A fragmentação é considerada pelo departamento como substituição de pavimento, e não como restauração. A técnica possui como vantagens (WISDOT, 2013, p. 2, tradução nossa):

- Evitar fissuras por reflexão no revestimento;
- Transformar a placa de concreto em base com alta qualidade;
- Reduzir/eliminar a necessidade de transporte do concreto existente;
- Executar o serviço ao lado de faixas de tráfego;
- Executar o serviço sobre infraestrutura existente;
- Executar o serviço em zonas urbanas e rurais;
- Reduzir o tempo de obra.

### 2.7.2 Condições para a fragmentação

O departamento considera a técnica viável somente para rodovias sem vida útil remanescente, após aprovação das condições do subleito e quando existirem uma ou mais das deficiências a seguir (WISDOT, 2013, p. 2, tradução nossa):

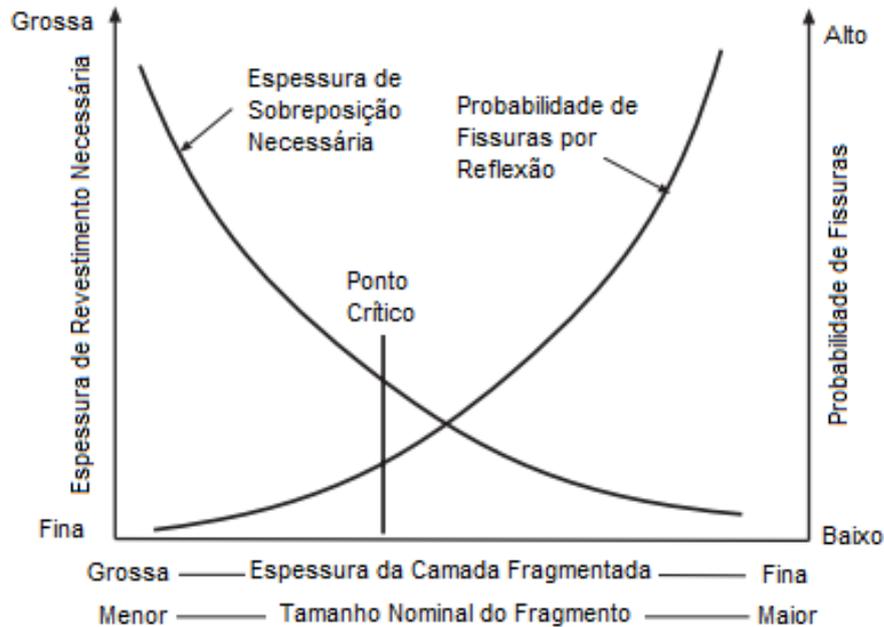
Reparo em mais de 20% das juntas;  
Remendos em mais de 20% da superfície;  
Mais de 20% das placas de concreto quebradas;  
Mais de 20% do comprimento do projeto com fissuras longitudinais maiores do que 4 polegadas de largura.

### 2.7.2 Produto da fragmentação

Segundo o Manual de Material e Construção do WisDOT (2004), o projetista deve dimensionar a granulometria da fragmentação baseado nas condições da base e do subleito do pavimento existente. Camadas mais resistentes permitem fragmentos menores produzidos por equipamentos que atuam por vibração ressonante, esses equipamentos possuem capacidade para produzir frequência inicial de baixa amplitude e evitar danos na base e estruturas adjacentes. O produto da camada fragmentada deve permitir o fluxo dos equipamentos para as operações e fornecer uma fundação estável para o pavimento.

NAPA (2006) explica que, a granulometria do fragmento é um importante parâmetro para o dimensionamento do revestimento pois, a resistência da camada fragmentada é função do tamanho nominal do fragmento. Segundo a Associação, com fragmentos menores é possível diminuir significativamente a probabilidade de fissuras no revestimento por reflexão, entretanto, diminuirá também a capacidade estrutural exigindo uma camada de revestimento asfáltico mais espessa, como mostra a figura 9.

Figura 9 – Características em função da fragmentação



Fonte: adaptado de NAPA (2006, p. 9).

### 2.7.3 Execução da fragmentação – condições básicas

A seguir, são descritas condições básicas para a execução da fragmentação (WISDOT, 2004):

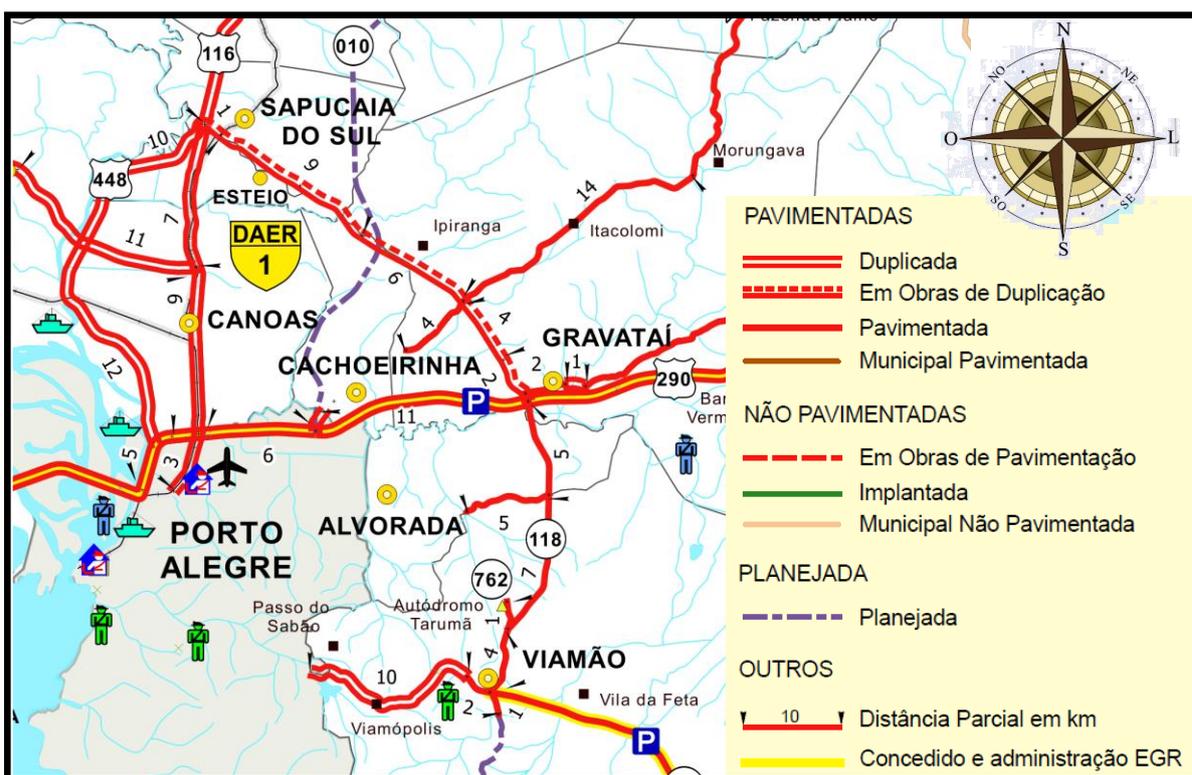
- Em locais onde há uma camada superficial de massa asfáltica revestindo a placa de concreto, deve ser realizada a retirada desse material através do processo de fresagem, também deverão ser removidos enchimentos de juntas e qualquer material expansivo.
- O sistema de drenagem definitivo deverá estar instalado e em funcionamento, também terá papel fundamental de drenagem durante o processo de execução.
- Os operadores devem ser orientados sobre como executar os serviços sobre o material.
- Após a fragmentação deve ser realizada a compactação da camada para acomodar o material e manter o entrosamento dos fragmentos, o material não deve ser removido ou deslocado pois perderia as propriedades geradas pelo intertravamento dos fragmentos.

### 3. METODOLOGIA

O presente trabalho analisa o método utilizado na Rodovia ERS-118, com localização apresentada na figura 10, que se trata da fragmentação das placas de concreto existentes e execução de novo revestimento asfáltico. Ao longo da Rodovia ERS-118, os serviços são divididos em três lotes. Neste trabalho foi analisado o lote 1, ao longo desse trecho, a rodovia apresenta diferentes etapas de execução, a seguir os trechos divididos por lote:

- Lote 1: quilômetros 11 ao 21,5 (município de Cachoeirinha a Gravataí);
- Lote 2: quilômetros 5 ao 11 (município de Esteio a Cachoeirinha);
- Lote 3: quilômetros 0 ao 5 (município de Sapucaia do Sul a Esteio).

Figura 10 – Trecho do mapa rodoviário do Rio Grande do Sul



Fonte: Adaptado de DAER (2017).

#### 3.1 Informações de Projeto

As informações do projeto da restauração foram obtidas através do edital de licitação disponível no site da Central de Licitações (CELIC) da Secretaria de

Modernização Administrativa e dos Recursos Humanos do Governo do Estado do Rio Grande do Sul (RIO GRANDE DO SUL, 2017a, 2017b, 2017c, 2017d). O edital tem como objeto as obras de restauração e remanescentes da duplicação da rodovia ERS-118 do km 11,00 ao km 21,50, através do processo 16/0435-0043323-3, edital CR 003/17, órgão: Departamento Autônomo de Estrada e Rodagem (DAER).

No Sistema Rodoviário Estadual (SRE) a rodovia pode ser localizada através dos códigos: 118ERS0010, 118ERS0030, 118ERS0040, 118ERS0050, 118ERS0070, 118ERS0090 e 118ERS220, trata-se do registro oficial das rodovias estaduais e federais localizadas no Rio Grande do Sul (DAER, 2018b).

O estudo da restauração foi elaborado pela empresa Serviços Técnicos de Engenharia S.A (STE) através de contrato com o DAER/RS. O dimensionamento do pavimento composto pela fragmentação foi realizado pelo PhD Guillermo Alfonso Thenoux Zeballos da Universidade Católica do Chile com o acompanhamento da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) (RIO GRANDE DO SUL, 2017a).

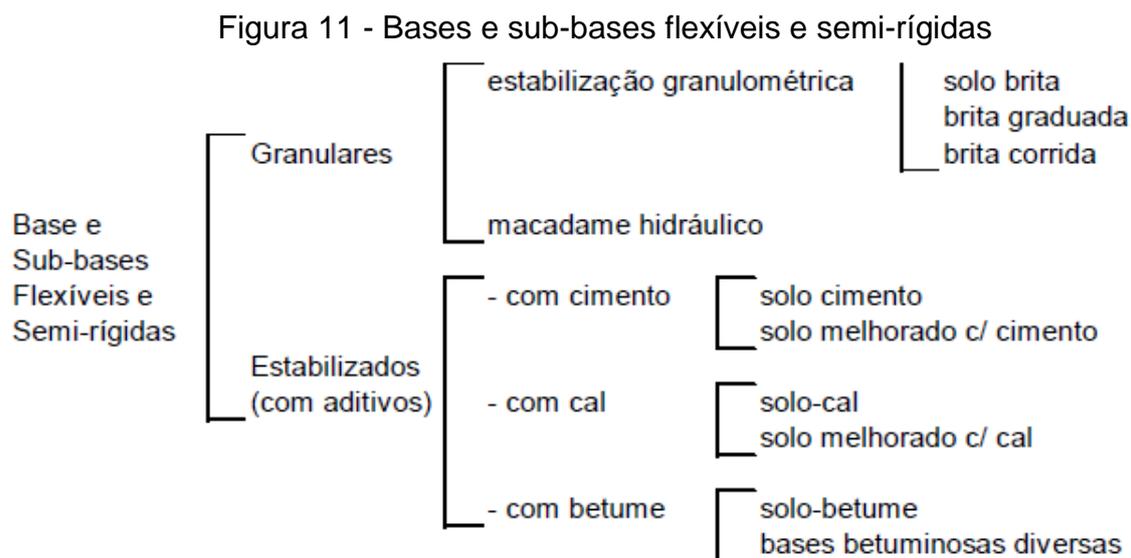
### **3.2 Descrição da Obra**

A obra da rodovia ERS-118, Lote 1, segmento km 11,00 ao km 21,50, contempla os seguintes tipos de trabalhos (RIO GRANDE DO SUL, 2017a, v.1, pt. 1, p. 49):

1. Complementação da obra de duplicação – construção de pista nova com 7,20 m de largura, 2,50 m de acostamento externo e 0,5 m de acostamento interno com a utilização de pavimento rígido nos segmentos faltantes; tratamento das patologias nas placas já executadas; e demais serviços remanescentes na duplicação.
2. Complementação das ruas laterais – construção de pista com 7,00 m nos segmentos faltantes; e demais serviços remanescentes na duplicação.
3. Obra de restauração – restauração da pista existente através da técnica de fragmentação com a utilização do material resultante como base e execução de sobrecamadas em revestimento asfáltico.

### 3.3 Camada Fragmentada

Como descrito no item 2.7.1, a camada fragmentada passa a exercer a função de base na constituição do pavimento. A figura 11 mostra um fluxograma para a classificação das bases e sub-bases flexíveis e semi-rígidas:



Fonte: DNIT (2006, p. 96)

Segundo o DNIT (2006, p. 96), camadas compostas por estabilização granulométrica “[...] são sempre flexíveis e são estabilizadas granulometricamente pela compactação de um material ou de mistura de materiais que apresentem uma granulometria apropriada e índices geotécnicos específicos [...]” Como o produto da fragmentação é granular, com granulometria determinada, e sofre compactação, será comparado neste trabalho à brita graduada simples.

### 3.4 Classificação do Pavimento

De acordo com a nova constituição do pavimento, composto por base granular e revestimento asfáltico, este passará a ter um comportamento flexível que é “[...] aquele que em todas as camadas sofre deformação elástica significativa sob o carregamento aplicado e, portanto, a carga se distribui em parcelas aproximadamente equivalente entre as camadas” (DNIT, 2006, p. 95).

### 3.5 Análise do Pavimento

Para analisar o comportamento da camada fragmentada, será realizado um o dimensionamento de uma nova rodovia nas mesmas condições de subleito e tráfego do pavimento em estudo. O dimensionamento considerando a fragmentação foi realizado pelo método AASHTO de 1993, que para 20 anos de serviço, apresentou a estrutura demonstrada na tabela 1 (RIO GRANDE DO SUL, 2017a).

Tabela 1 – Estrutura da rodovia

Camada	Espessura (cm)
Camada fragmentada estabilizada	20
Revestimento asfáltico	23

Fonte: Elaborada pela autora, com base em Rio Grande do Sul (2017a, v.1, pt. 4, p. 236-237).

A camada asfáltica foi dividida em 4 camadas, conforme tabela 2.

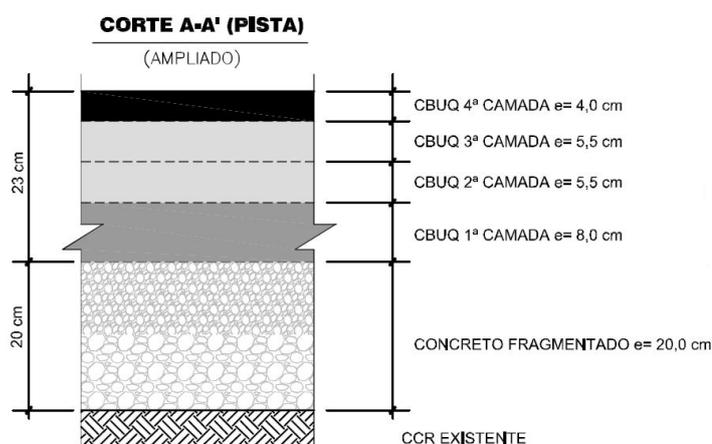
Tabela 2 – Camadas do revestimento asfáltico

Camada	Espessura (cm)
1ª camada asfáltica (Com CAP 50-70)	8,0
2ª camada asfáltica (Com SBS 60/85 E)	5,5
3ª camada asfáltica (Com SBS 60/85 E)	5,5
4ª camada asfáltica (Com CAP AMB)	4,0

Fonte: Elaborada pela autora, com base em Rio Grande do Sul (2017a, v.1, pt. 4, p. 237).

A figura 12 apresenta a seção tipo das camadas do pavimento, o projeto completo consta no Anexo A deste trabalho. A camada composta por concreto compactado a rolo (CCR) possui espessura de 10 centímetro (RIO GRANDE DO SUL, 2017a).

Figura 12 - Seção tipo das camadas do pavimento



Fonte: Rio Grande do Sul (2017b, v.2, pt. 21, p. 124)

### 3.3.1 Tráfego

O número de passagens equivalentes ao eixo padrão e outras estimativas, foram realizadas em 2016 para o ano de 2038, a contagem foi realizada conforme o Manual de Estudo de Tráfego IPR 723 do DNIT de 2016. O volume diário médio de veículos (VDM) totais foi expandido a um fator de 1,13, chegando a um VDM de 22.433 veículos em 2016 (RIO GRANDE DO SUL, 2017a). Ainda segundo o estudo, “[...] o crescimento homogêneo de 3% a.a. para o período avaliado é capaz de bem expressar a condição de demanda da rodovia.” (RIO GRANDE DO SUL, 2017a, v.1, pt. 2, p. 59), a partir desta taxa, a projeção de VDM categorizado, apenas coletivo e carga, para 2037 é de 8.448 por faixa. O fator caracterizador de tráfego (N) foi obtido através de duas técnicas: AASHTO e USACE. A tabela 3 apresenta os resultados para 20 anos:

Tabela 3 – Valores de N para 20 anos

Método	Ano	VDM comercial	N anual	N acumulado	Ano
AASHTO	2037	9.296	6,24E+06	9,56E+07	20º
USACE	2037	9.296	2,05E+07	3,14E+08	20º

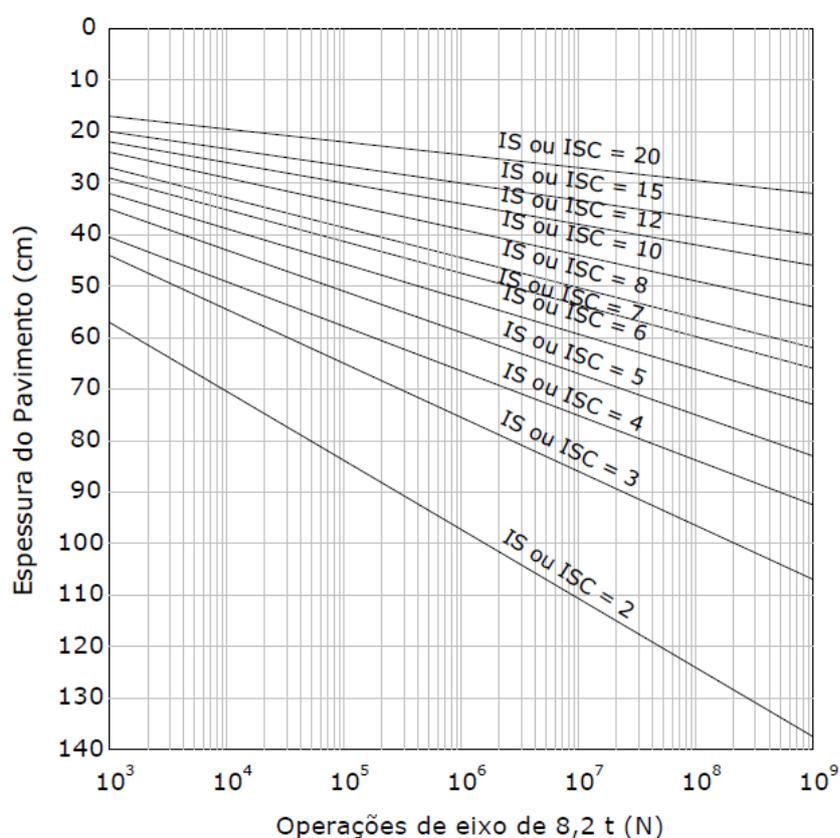
Fonte: Adaptada de Rio Grande do Sul (2017a, v.1, pt. 2, p. 63-66).

### 3.3.2 Informações Geotécnicas

Os valores das amostras para o subleito do segmento de restauração apresentam I.S.C. entre 11% e 14%, conservadoramente foi adotado o valor de 10%, foram utilizadas as leituras entre 55 cm e 60 cm de profundidade, onde se encontram as camadas de concreto, CCR e sub-base (RIO GRANDE DO SUL, 2017a).

### 3.6 Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis

O método de dimensionamento de pavimentos flexíveis utilizado para rodovias no Brasil é proposto pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza, DNER/IPR 667-22/81. Este método leva em consideração o I.S.C. e o tráfego previsto para o tempo de projeto, caracterizado pelo número N.



O método utiliza o ábaco apresentado na figura 13 para dimensionar pavimentos flexíveis e semirrígidos, o eixo das abcissas contém o número N em escala logarítmica, o eixo das ordenadas contém a espessura equivalente do pavimento, que deve ser considerada como a espessura mínima para que o subleito seja preservado, cada índice de suporte possui uma curva (DNER, 1981).

Figura 13 – Ábaco para espessura equivalente do pavimento

Fonte: DNER (1981, p. 18).

As espessuras fornecidas pelo ábaco são para materiais com coeficiente estrutural igual a 1, como camadas granulares por exemplo. Para dimensionamento

com diferentes materiais utilizamos os Coeficientes de Equivalência (k) apresentados na tabela 4.

Além dos coeficientes estabelecidos pelo DNIT, a Prefeitura Municipal de São Paulo (PMSP, 2004) apresenta uma série de coeficientes de equivalência estrutural que não foram descritos no método conforme tabela 5.

Tabela 4 – Coeficientes de equivalência dos materiais (k)

Componentes do pavimento	Coeficiente k
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,0
Base ou revestimento pré-misturado a quente de graduação densa	1,7
Base ou revestimento pré-misturado a frio de graduação densa	1,4
Base ou betuminoso por penetração	1,2
Camadas granulares	1
Solo-cimento com resistência a compressão a 7 dias superior a 45 kg/cm <sup>2</sup>	1,7
Solo-cimento com resistência a compressão a 7 dias entre 45 e 28 kg/cm <sup>2</sup>	1,4
Solo-cimento com resistência a compressão a 7 dias entre 28 e 21 kg/cm <sup>2</sup>	1,2
Bases de solo-cal	1,2

Fonte: DNER (1981, p. 15).

Tabela 5 – Coeficientes de equivalência dos materiais (k)

Componentes do pavimento	Coeficiente k
Concreto magro/compactado com rolo	2,0
Paralelepípedos	1,0
Brita Graduada Simples	1,0
Macadame Hidráulico	1,0

Fonte: Adaptado de PMSP (2004).

Com as espessuras obtidas no ábaco de acordo com o I.S.C. determinado, e utilizando os coeficientes de equivalência apresentados nas tabelas 4 e 5, é possível determinar as variáveis R, B,  $h_{20}$  e  $h_n$ , que são as espessuras das camadas de revestimento, base, sub-base e reforço do subleito, respectivamente, através das equações 1, 2 e 3 a seguir. Conforme o método, quando o número N for superior a  $10^7$ ,  $H_{20}$  deve ser multiplicado por 1,2 (DNER, 1981).

$$RK_R + BK_B \geq H_{20} \quad (1)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S \geq H_n \quad (2)$$

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S + h_nK_{Ref} \geq H_m \quad (3)$$

Onde:

R = Espessura do revestimento;

B = Espessura da base;

$h_{20}$  = Espessura da sub-base;

$h_n$  = Espessura do reforço do subleito;

$H_{20}$  = Espessura equivalente necessária para proteger a sub-base;

$H_n$  = Espessura equivalente necessária para proteger o reforço do subleito;

$H_m$  = Espessura equivalente necessária para proteger o subleito;

$k_R$  = Coeficiente de equivalência estrutural do revestimento;

$k_B$  = Coeficiente de equivalência estrutural da base;

$k_S$  = Coeficiente de equivalência estrutural da sub-base;

$k_{Ref}$  = Coeficiente de equivalência estrutural do reforço do subleito.

O método determina também valores mínimos para a espessura do revestimento de acordo com o número N, as espessuras mínimas estão apresentadas na tabela 6 (DNER, 1981):

Tabela 6 – Espessura do revestimento

N	Espessura mínima de revestimento betuminoso
$N \leq 10^6$	Tratamentos superficiais betuminosos
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimentos betuminosos com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 < N \leq 10^7$	Concreto betuminoso com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto betuminoso com 12,5 cm de espessura

Fonte: DNER (1981, p. 16).

Para camadas granulares, o DNIT (2006) indica que a espessura mínima construtiva deve ser de 15,0 cm.

A partir da resolução das equações 1, 2 e 3, chega-se à composição do pavimento, a exemplo da figura 14.

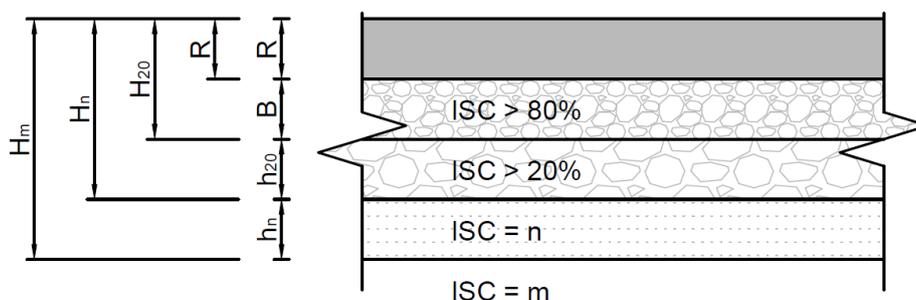


Figura 14 – Composição do pavimento

Fonte: Adaptado de DNER (1981, p. 18).

### 3.5 Custos

Junto com o projeto executivo deve conter uma estimativa de custo da obra, segundo o manual de pavimentação, “Serão então elaboradas listagens de equipamentos, materiais e mão-de-obra que serão utilizados na composição dos custos unitários dos serviços” (DNIT, 2006, p. 259). Devem ser considerados os custos diretos de cada serviço, contemplando equipamentos e materiais, incluindo a mão de obra, e custos indiretos, como mobilização, transporte e administração.

A composição de custos analisada teve como parâmetro os valores disponibilizados pelo edital da licitação (RIO GRANDE DO SUL, 2017c), as folhas em que constam os valores considerados no estudo estão disponíveis no Anexo B deste trabalho. O orçamento foi elaborado pela Equipe de Economia Rodoviária (EER), tratam-se de preços determinados através de pesquisa de mercado e são referências oficiais para as licitações de obras e serviços de engenharia em rodovias do Estado do Rio Grande do Sul (DAER, 2016). Assim como no dimensionamento, serão analisados os custos da base composta pela fragmentação da placa de concreto e da base composta por brita graduada simples.

O valor comercial da brita graduada simples é dado em metro cúbico, os valores foram multiplicados por 0,2 metros, que é a espessura da placa de concreto,

para comparar com a base fragmentada, que contém dados em metro quadrado, a tabela 7 apresenta um resumo dos valores do edital.

Tabela 7 – Composição de custos

Ítem do edital	Código DAER	Serviço	Unidade	Preço Unitário (R\$)
2.1.1.8	6283	SUB-BASE OU BASE BRITA GRADUADA BRITA COMERCIAL - exclusive transporte	m <sup>3</sup>	108,91
2.1.1.9	8010	TRANSPORTE BRITA BASE OU SUB-BASE Y=1,44Xs+1,13Xr+0,94Xp+2,40 (Xr=1,05;Xp=16,951Km)	m <sup>3</sup>	20,08
2.2.1	2511	DEMOLIÇÃO PLACAS CONCRETO - conforme projeto e inclusive transporte	m <sup>3</sup>	170,36
8.1	20204	FRAGMENTAÇÃO DE PLACA DE CONCRETO - inclusive mobil/desmobiliz - composição exclusiva para ERS-118	m <sup>2</sup>	46,2

Fonte: Adaptado de Rio Grande do Sul (2017c, ERS 118, pt. 3, f. 2-12).

Para o caso de remoção do pavimento de concreto, deve ser considerando ainda valores para espalhamento de bota-fora, as informações constam na tabela 8, a tabela completa consta no anexo C deste trabalho.

Tabela 8 – Custo unitário espalhamento bota-fora

Código DAER	Serviço	Unidade	Preço Unitário (R\$)
131	ESPALHAMENTO BOTA-FORA	m <sup>3</sup>	2,07

Fonte: Adaptado de DAER (2018c).

### 3.6 Produtividade

A produtividade analisada utilizou para o processo da fragmentação os dados disponibilizados pelo edital de licitação da obra (RIO GRANDE DO SUL, 2017d), o documento completo consta no Anexo D deste trabalho. Para a produtividade da base em brita graduada simples os dados são da EER (DAER, 2018c), constam no Anexo E deste trabalho. Assim como com os preços, os dados de produtividade são determinados através de pesquisa e histórico de obras e são referências oficiais para as licitações de obras e serviços de engenharia em rodovias do Estado do Rio Grande do Sul (DAER, 2016).

A produtividade da brita graduada simples também é dada em metro cúbico, os valores foram multiplicados por 0,2 metros, que é a espessura da placa de concreto, para comparar com a base fragmentada, que contém dados em metro quadrado, a tabela 9 apresenta a produtividade para cada serviço.

Tabela 9 – Produtividade dos serviços

Código DAER	Serviço	Produção da Equipe	Unidade
-	FRAGMENTAÇÃO DE PLACA DE CONCRETO	520,000	m <sup>2</sup> /h
862	SUB-BASE OU BASE BRITA GRADUADA BRITA COMERCIAL	102,080	m <sup>3</sup> /h

Fonte: Elaborada pela autora, com base em Rio Grande do Sul (2017d); DAER (2018c).

Para o estudo da produtividade da remoção do pavimento de concreto, pela comparação com os serviços disponibilizados pelo DAER (2018c), optou-se por mensurar a produtividade a partir do item descrito na tabela 10, pois não foram localizados registros de produção, as informações completas constam no Anexo F.

Tabela 10 – Produtividade de corte e remoção

Código DAER	Serviço	Produção da Equipe	Unidade
-------------	---------	--------------------	---------

---

543	CORTE E REMOÇÃO MECÂNICA PAVIM. P/ REMENDO SUBSUPERF. E PROFUNDO - inclusive transporte	8,00	m³/h
-----	---	------	------

---

Fonte: Adaptado de DAER (2018c).

### 3.7 Situação da Rodovia

A rodovia foi avaliada por Tutikian et al. (2015) de acordo com as manifestações patológicas da placa de concreto, foi utilizado o método do Índice de Condição do Pavimento (ICP) proposto pelo USACE. O estudo foi realizado entre os quilômetros 012+400 e 012+880 através de avaliações visuais. Concluiu-se que a rodovia não era mais funcional, situação que foi reforçada pelo desconforto dos usuários da estrada e pela visível quantidade de manifestações patológicas no revestimento, situação que torna a técnica da fragmentação viável, como consta no item 2.7.2. Com o objetivo de ratificar essa condição foi realizada visita ao local no dia 15 de abril de 2018, serão apresentadas imagens do local com informações locais e análise conforme a literatura estudada.

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 Dimensionamento

A tabela 11 apresenta as informações disponibilizadas no edital que são necessárias para o dimensionamento do pavimento através do método do DNER/IPR 667-22/8:

Tabela 11 – Dados para o dimensionamento

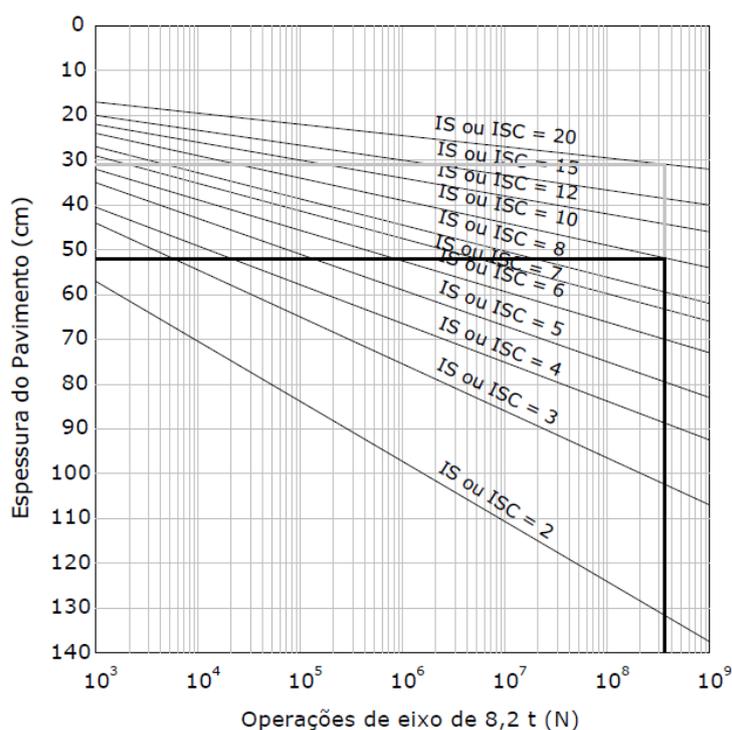
Dados para dimensionamento	
I.C.S.	10%
N (AASHTO)	$9,56 \times 10^7$
N (USACE)	$3,14 \times 10^8$

Fonte: Elaborada pela autora, com base em Rio Grande do Sul (2017a).

#### 4.1.1 Critérios para o Dimensionamento

Para verificar a espessura pelo ábaco, será considerado o valor de N (USACE) conforme indicado pelo método DNER/IPR 667-22/81:

Figura 15 – Espessura equivalente para I.S.C. de projeto



Fonte: Elaborada pela autora com base em DNER (1981, p. 18).

A tabela 12 apresenta os coeficientes estruturais utilizados no cálculo:

Tabela 12 – Coeficientes utilizados no dimensionamento

Componentes do pavimento	Coeficiente k
Base ou revestimento de concreto betuminoso	2,0
Brita Graduada Simples	1,0
Camadas granulares	1,0
Concreto magro/compactado com rolo	2,0

Fonte: Elaborada pela autora, com base em DNER (1981, p. 15); PMSP (2004).

#### 4.1.2 Condições para o Dimensionamento

A seguir é apresentado o resumo das considerações a serem utilizadas no dimensionamento do pavimento:

- a) 52 cm é a espessura para proteger o subleito;
- b) 31,5 cm é a espessura aproximada para  $H_{20}$ ;
- c) A espessura mínima para o revestimento betuminoso deverá ser de 12,5 cm, pois  $N$  é maior do que  $5 \times 10^7$ ;
- d) Por se tratar de uma camada granular, o  $k$  da camada fragmentada será considerado igual a 1,0;
- e)  $H_{20}$  deverá ser multiplicado por 1,2, pois  $N$  é maior do que  $6 \times 10^7$ ;
- f) Não há reforço do subleito;
- g) Serão considerados os materiais e as espessuras apresentadas em projeto: sub-base composta por concreto compactado a rolo de 10 cm, base composta por material fragmentado de 20 cm.

A sub-base é considerada com a sua integridade mantida mesmo após a fragmentação da placa de concreto. Além desta informação já ser relatada na literatura, foi possível verificar no local através de um dos pontos de inspeção realizados no local como mostra a fotografia 1:

Fotografia 1 – Sub-base em CCR preservada



Fonte: Registrada pela autora.

#### 4.1.3 Verificação das Camadas do Projeto Executivo

O dimensionamento tanto para a base fragmentada quanto para a brita graduada simples levam aos mesmos resultados pelo método do DNER (1981), já que são consideradas estruturas equivalentes, de mesmo  $k$ . As equações 1 e 2 foram utilizadas para verificar a espessura mínima exigida pelo DNER (1981) e conferir a conformidade das espessuras de revestimento, base e sub-base solicitadas em projeto. O reforço do subleito foi desconsiderado de acordo com o dimensionamento do edital (Rio Grande do Sul, 2017a):

$$RK_R + BK_B \geq 1,2 \times H_{20} \quad (1)$$

$$R \times 2,0 + 20 \times 1,0 \geq 1,2 \times 31,5$$

$$R \geq (37,8 - 20) / 2$$

$$R \geq 8,9 \text{ cm}$$

$$R = 12,5 \text{ cm}$$

$$H_n = H_m = 52 \text{ cm}$$

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_s \geq H_n \quad (2)$$

$$12,5 \times 2,0 + 20 \times 1,0 + h_{20} \times 2,0 \geq 52 \text{ cm}$$

$$h_{20} \geq (52 - 25 - 20) / 2$$

$$h_{20} \geq 3,5 \text{ cm}$$

$$h_{20} = 10,00 \text{ cm}$$

O DNIT (2006) exige espessura mínima de 15 cm para camadas granulares de coeficiente estrutural igual a 1,00, entretanto, o pavimento estudado tem sub-base composta por CCR, material com coeficiente estrutural igual a 2,0. Considerando que a espessura mínima para compactação segundo o manual é igual a 10 cm, considera-se que pode ser mantido 10 cm de espessura para uma camada de CCR, esta camada foi projetada inicialmente para o pavimento rígido.

O revestimento deve ter espessura mínima de 12,5 cm, o projeto executivo do edital (RIO GRANDE DO SUL, 2017a) exige 23,0 cm, portanto, é possível verificar que a camada de revestimento a ser executada atende às exigências do DNER (1981) e é 1,84 vezes mais espessa no que o mínimo exigido.

#### 4.1.4 Dimensionamento pelo Método DNER

Através das equações 1, 2 e 3, é possível dimensionar um pavimento seguindo os critérios do DNER (1981) para os mesmos materiais que compõem as camadas da rodovia em estudo:

$$RK_R + BK_B \geq 1,2 \times H_{20} \quad (1)$$

$$12,5 \times 2,0 + B \times 1,0 \geq 1,2 \times 31,5$$

$$B \geq 37,8 - 25$$

$$B \geq 12,8 \text{ cm}$$

$$B = 20,0 \text{ cm (resultante da fragmentação, portanto não pode ser alterado)}$$

$$RK_R + BK_B + h_{20}K_S \geq H_n \quad (2)$$

$$12,5 \times 2,0 + 15,0 \times 1,0 + h_{20} \times 2,0 \geq 52,0 \text{ cm}$$

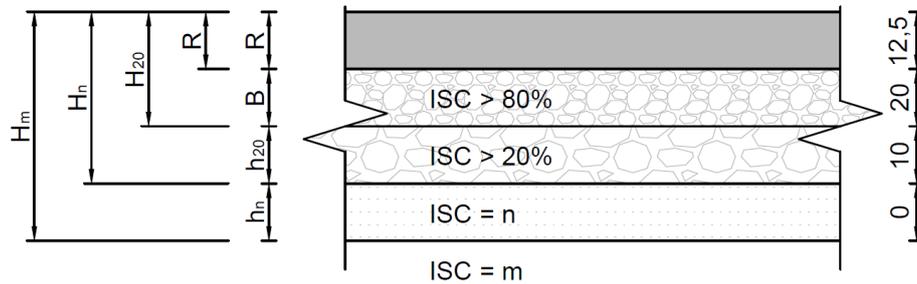
$$h_{20} \geq (52,0 - 25,0 - 15,0) / 2,0$$

$$h_{20} \geq 6,0 \text{ cm}$$

$$h_{20} = 10,0 \text{ cm (utilizada em projeto)}$$

Não há a necessidade para reforço do subleito, esta situação será mantida para que fique próxima a realidade da rodovia. É possível, portanto, verificar que o sistema de camadas apresentado na figura 16 atende à solicitação da rodovia.

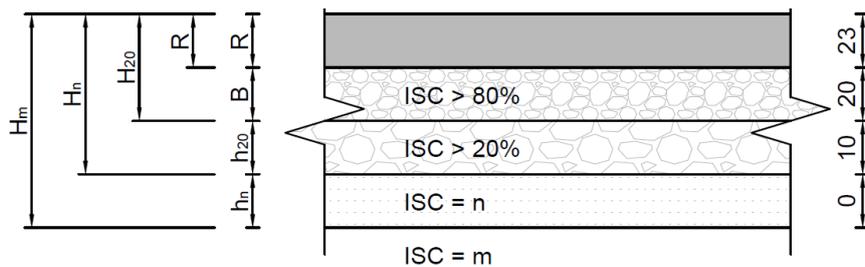
Figura 16 – Seção dimensionada conforme DNIT



Fonte: Elaborado pela autora, com base em DNER (1981, p. 18).

Entretanto, o projeto executivo apresenta o sistema demonstrado na figura 17:

Figura 17 – Seção conforme projeto



Fonte: Elaborado pela autora, com base em DNER (1981, p. 18).

Com o intuito de comparar a composição da rodovia dimensionada pelo método DNER (1981) com a composição da rodovia do projeto executivo (RIO GRANDE DO SUL, 2017b), foi calculado um coeficiente de resistência para cada composição tendo como base a espessura mínima obtida através do ábaco da figura 13, com materiais tendo  $k$  igual 1,0, através da seguinte equação:

$$(RK_R + BK_B + h_{20}K_S) / (R + B + h_{20}) = K_{\text{pavimento}} \quad (4)$$

Para materiais os materiais granulares considerados no ábaco da figura 13,  $K_{\text{pavimento}}$  é sempre igual a 1. Na tabela 13, seguem os resultados dos coeficientes para os pavimentos com as composições das figuras 16 e 17, dimensionado pelo método DNER (1981) e conforme o projeto executivo, respectivamente.

Tabela 13 – Dados para cálculo de  $K_{\text{pavimento}}$ 

Base	R x $K_R$	B x $K_B$	$h_{20}$ x $K_S$	$K_{\text{pavimento}}$
Brita Graduada Simples	12,5 x 2,0	20,0 x 1,0	10,0 x 2,0	1,53
Fragmentada	23,0 x 2,0	20,0 x 1,0	10,0 x 2,0	1,62

Fonte: Elaborada pela autora.

É possível, portanto, verificar um aumento de quase 6% no coeficiente estrutural geral do pavimento proposto pelo edital (RIO GRANDE DO SUL, 2017a), devido ao aumento na espessura do revestimento de 12,5 cm para 23,0 cm.

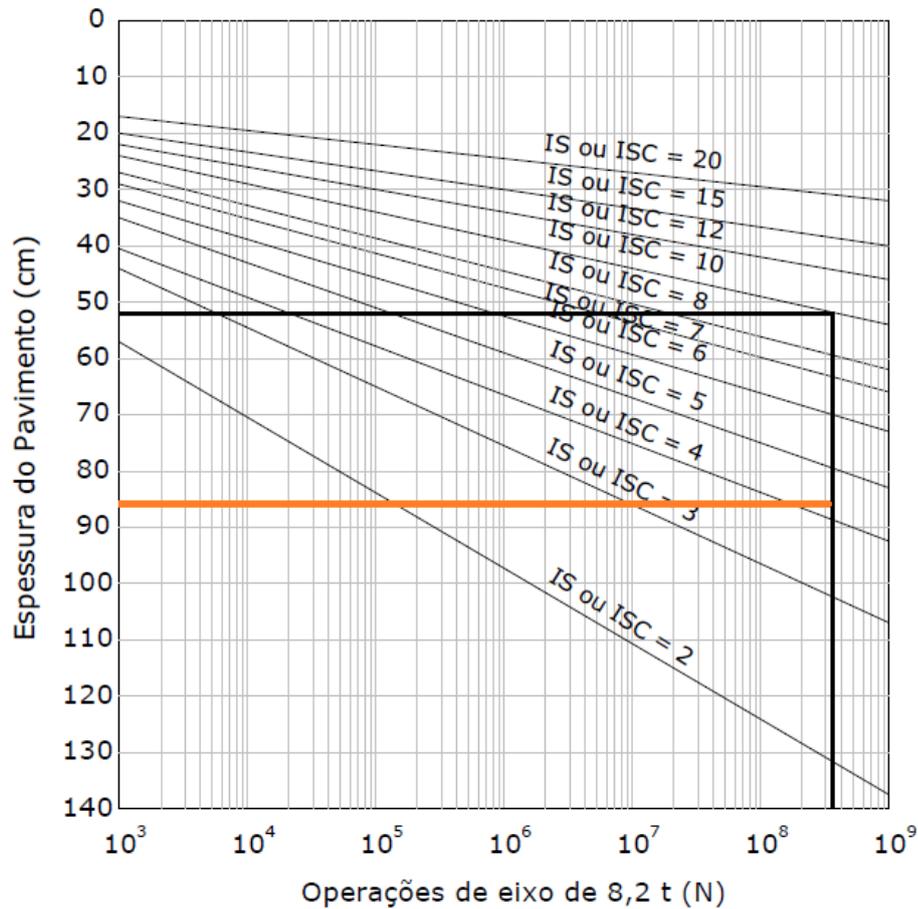
#### 4.1.5 Capacidade da Rodovia de Projeto

Através a equação 3, é possível chegar à espessura equivalente do projeto executivo para consulta ao ábaco apresentado na figura 13:

$$\begin{aligned}
 RK_R + BK_R + h_{20}K_S + h_nK_{\text{Ref}} &\geq H_m & (3) \\
 23(2,0) + 20(1,0) + 10(2,0) + 0 &\geq H_m \\
 H_m &= 86 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Como é possível verificar no ábaco da figura 18, a espessura de projeto atende a subleitos com I.S.C. mínimo de 4,35%. Considerando ainda o I.S.C. de 10%, resultado dos estudos no local da rodovia, a estrada atenderia a um N superior a  $10^9$ .

Figura 18 – Espessura equivalente do projeto executivo



Fonte: Elaborada pela autora, com base em DNER (1981, p. 18).

#### 4.1.6 Dimensionamento DNER/81 e AASHTO/93

O dimensionamento do pavimento com a técnica da fragmentação foi dimensionado conforme o edital pelo método AASHTO/93, o que explica a diferença na espessura do revestimento pelo método DNER (1981), de 23 cm para 12,5 cm, respectivamente. Fernandes (2016) explica que, o método utilizado no Brasil, comparado ao AASHTO/93, possui certa defasagem no método de dimensionamento, tendo em vista houveram alterações na estrutura rodoviária do Brasil e nos limites de carga desde 1981 e o método não foi revisado. Além de cargas mais elevadas, o método da AASHTO/93 considera diversas características das camadas, por exemplo, “[...] aderência entre as camadas, compactação das camadas de base, granulometria dos materiais, vazios e teor de ligante, dentre

outros. [...]”. Segundo o autor, a espessura de um revestimento pode ter um aumento de até 200% do método DNER (1981) para o AASHTO/93.

## 4.2 Análise de Custos

A tabela 14 apresenta o custo do material que constitui a base composta por brita graduada simples e pela placa fragmentada:

Tabela 14 – Custos de material para a base por pavimento

Base	R\$ / m <sup>3</sup>	Espessura	R\$ / m <sup>2</sup>	R\$ / m faixa	R\$ / km faixa
Brita Graduada Simples- exclusive transporte	108,91	20 cm	21,78	78,46	78.415,20
Fragmentada	-	20 cm	46,20	166,32	166.320,00

Fonte: Elaborada pela autora, com base em Rio Grande do Sul (2017c, ERS 118, pt 3, f. 2-12).

Somente quando os valores de transporte da brita graduada simples somado à demolição e transporte dos resíduos da placa de concreto forem 52,85% inferiores ao custo da fragmentação, a utilização de brita graduada simples será economicamente vantajosa.

Na tabela 15, segue a análise de custo específico para a ERS-118, considera o transporte da brita graduada simples, a demolição e o transporte dos resíduos das placas de concreto:

Tabela 15 – Custos incluindo a remoção da placa de concreto

Serviço	R\$ / m <sup>3</sup>	Espessura	R\$ / m <sup>2</sup>	R\$ / m faixa	R\$ / km faixa
Brita Graduada Simples - inclusive transporte	128,99	0,20	25,80	92,8728	92.872,80
Demolição das Placas de Concreto - inclusive transporte	170,36	0,20	34,47	124,0992	124.099,20
Total para demolição das placas de concreto e aquisição de brita graduada simples com transporte incluso para os dois serviços:					216.972,00

Fonte: Elaborada pela autora, com base em Rio Grande do Sul (2017c, ERS 118, pt. 3, f. 2-3).

Portanto, é possível verificar que o valor da substituição da placa de concreto por brita graduada simples supera em 30% o valor do método da fragmentação, deve-se avaliar ainda possíveis custos com correção da sub-base.

Dependendo do destino da material proveniente da demolição das placas, deverá ser considerado ainda o custo de espalhamento de bota-fora, como mostra a tabela 16.

Tabela 16 – Custos incluindo espalhamento do bota-fora

Serviço	R\$ / m <sup>3</sup>	Espessura	R\$ / m <sup>2</sup>	R\$ / m faixa	R\$ / km faixa
Espalhamento bota-fora	2,07	0,20	0,41	1,49	1.490,40
Total para demolição das placas de concreto, aquisição de brita graduada simples com transporte incluso para os dois serviços e espalhamento do bota-fora:					217.022,40

Fonte: Elaborada pela autora, com base em DAER (2018c).

### 4.3 Análise de Produtividade

A tabela 17 apresenta a produtividade dos serviços considerando a espessura da camada de 20 centímetros:

Tabela 17 – Produtividade por tipo de base

Serviço	m <sup>3</sup> /h	m <sup>2</sup> /h	m <sup>2</sup> /dia
Brita Graduada Simples	102,08	510,42	4491,65
Fragmentação	-	520,00	4576,00

Fonte: Elaborada pela autora, com base em Rio Grande do Sul (2017d); DAER (2018c).

A fragmentação apresenta uma produtividade quase 2% maior do que a produtividade da execução de base em brita graduada simples. Isoladamente, este item não parece determinante para a escolha do método a utilizar, entretando, o serviço de quebra da placa de concreto deve ser feito antes da execução da base de brita graduada. Esse serviço de demolição tem produtividade 10 vezes menor do que apresenta o equipamento de fragmentação, como mostra a tabela 18.

Tabela 18 – Produtividade para a substituição da placa

Serviço	m <sup>3</sup> /h	m <sup>2</sup> /h	m <sup>2</sup> /dia
Corte e Remoção Mecânica de Pavimento	8,000	44,00	352,00
Brita Graduada Simples	102,08	510,42	4491,65
Fragmentação	-	520,00	4576,00

Fonte: Elaborada pela autora, com base em Rio Grande do Sul (2017d); DAER (2018c).

Há ainda um agravante na opção pela remoção total da placa de concreto, pois a sub-base poderá ser comprometida durante a execução, neste caso, deve-se considerar também o serviço de correção.

#### 4.4 Análise das Condições da Rodovia

A seguir, serão apresentadas nas fotografias 2 a 7 registradas no dia 15 de abril de 2018, as condições da rodovia. Todas as manifestações patológicas registradas estão contempladas item 2.5.2 deste trabalho, confirmando as más condições pavimento.

A fotografia 2 foi feita entre os quilômetros 5 e 6 da rodovia, apresenta a placa de concreto com fissuras horizontais e verticais, esta situação é vista em diversos locais ao longo da rodovia.

Fotografia 2 - Fissuras horizontais e verticais na placa de concreto



Fonte: Registrada pela autora.

Na fotografia 3, entre os quilômetros 6 e 7, é possível verificar fissuras no revestimento por reflexão, causadas por movimentos horizontais e verticais, ocorrendo na placa de concreto. Situação presente ao longo da rodovia onde foi executado apenas o revestimento asfáltico como recuperação.

Fotografia 3 - Fissuras horizontais e verticais no revestimento asfáltico



Fonte: Registrada pela autora.

As fotografias 4 e 5 mostram o produto da fragmentação, que já estava em execução. Na fotografia 4 observa-se o limite entre a placa preservada e a placa fragmentada e na fotografia 5 os fragmentos produzidos pelo método.

Fotografia 4 - Placa de concreto antes e após a fragmentação



Fonte: Registrada pela autora.

Fotografia 5 - Produto da fragmentação



Fonte: Registrada pela autora.

A fotografia 6 apresenta o fragmento já como base do pavimento e a primeira camada de revestimento asfáltico.

Fotografia 6 - Produto da fragmentação



Fonte: Registrada pela autora.

A fotografia 7 apresenta o equipamento utilizado no processo de fragmentação.

Fotografia 7 - Equipamento



Fonte: Registrada pela autora.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Conclusões

Manter as boas condições das rodovias é decisivo para o desenvolvimento econômico do país, que tem como principal meio de transporte de carga o sistema rodoviário (ANDRADE, 2018). O WisDOT e a NAPA orientam que se faça a avaliação estrutural para entender os tipos e gravidades das manifestações patológicas das rodovias, mas explicam que, a maioria dos pavimentos rígidos são passíveis de recuperação pela técnica da fragmentação. Não houve acesso a documento ou laudo que afirme a condição positiva da rodovia para a técnica, porém, com base no que foi estudado, a fragmentação é provavelmente a solução mais indicada para a reconstituição da rodovia ERS-118.

Com base na literatura, a camada fragmentada é um material com coeficiente estrutural maior do que a brita graduada simples, os cálculos de dimensionamento mostraram que a estrutura executada atende às solicitações do método de dimensionamento praticado no Brasil, pois apresenta a camada de revestimento com espessura maior do que seria solicitado pelo método DNER (1981). Esta diferença entre os revestimentos, conforme o trabalho de Fernandes (2016), é causada pela diferença nos métodos de dimensionamento, o método AASHTO, que foi utilizado no dimensionamento do projeto executivo (RIO GRANDE DO SUL, 2017a), por ser mais conservador e considerar mais características dos materiais comparado ao método DNER (1981), proporcionou um projeto mais seguro em relação a vida útil da rodovia.

Conforme a análise de custos, sem a técnica da fragmentação, os valores para a execução da base com brita graduada simples seriam 30% maiores, considerando a demolição e remoção das placas de concreto e execução de uma nova base, sem considerar possíveis correções na sub-base que se façam necessárias na demolição e remoção das placas de concreto.

Em relação a produtividade, os métodos de execução da brita graduada simples e da fragmentação têm produtividades semelhantes, entretanto, antes de executar a base com brita graduada, seria necessária a remoção total das placas de concreto. Sem a técnica da fragmentação, há também o risco de comprometimento

da sub-base, causando a necessidade de correção, gerando novas etapas de trabalho.

Dos defeitos mais comuns citados por Balbo (2009, p. 434 apud BETONSTRASSEN, 1986; USACE, 1982), a rodovia apresentava em 15 de abril de 2018: desgaste superficial, fissuras transversais, fissuras longitudinais, abertura de junta longitudinal, fissuras de canto, esborcinamentos e remendos, essa situação era visível ao longo de toda rodovia. A rodovia também teve um dos seus trechos condenados pelo estudo de Tutikian et al. (2015), considerando que o trecho estudado tinha aspecto semelhante ao de toda a rodovia em concreto, concorda-se com a técnica da fragmentação utilizada para substituir o pavimento.

Apesar de não ter sido explorado ao longo do trabalho, não há como questionar as vantagens ambientais que a técnica possui. Os impactos ambientais causados por novas rodovias são diminuídos pela técnica da fragmentação, pois é dispensado o uso de recursos naturais para a constituição da base e sub-base, inclusive para o subleito no caso de necessidade de reforço pela demolição da estrutura do pavimento. Analisando ainda questões sociais, uma condição novamente eficiente da rodovia volta a fomentar o desenvolvimento das comunidades locais, pois muitos motoristas evitam a utilização da Rodovia ERS-118 pelo risco de acidentes devido a degradação da estrada, outra questão, e muito importante, haverá diminuição nos altos índices de acidentes devido a segurança da nova rodovia.

## **5.2 Sugestões para Trabalhos Futuros**

O estudo do método da fragmentação poderá ser completado pela a análise mecanística com aplicação de modelos de previsão de comportamento da rodovia, principalmente, como no caso de uma substituição do pavimento, para verificar a propensão a novas reflexões de trincas. Através de modelos mecanístico-empíricos, poderá ser estudado os efeitos da camada fragmentada. O Manual de Pavimentação do DAER (2006) recomenda alguns procedimentos para a avaliação da condição estrutural de uma rodovia.

Também se sugere a análise do projeto de drenagem indicado para o pavimento onde foi aplicada a fragmentação. Segundo Tutikian et al. (2015), o

sistema de drenagem falho foi um dos prováveis fatores que contribuíram para a deterioração do pavimento rígido da rodovia.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, Clésio. **Pesquisa CNT de Rodovias**. Confederação Nacional do Transporte. (CNT). Brasília, 2018. Disponível em: <<http://pesquisarodovias.cnt.org.br/>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

BALBO, José T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BALBO, José T. **Pavimentos de Concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BRASIL. Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil. **Síntese Setor Rodoviário**. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/component/content/article.html?id=5341>>. Acesso em: 11 abr. 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Estudo da CNT mostra relação entre investimentos e qualidade das rodovias brasileiras**. Confederação Nacional do Transporte. (CNT). Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/estudo-inedito-cnt-mostra-relacao-investimentos-qualidade-rodovias-brasileiras>>. Acesso em: 24 mar. 2018.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DAER). **Custos Rodoviários**. Porto Alegre, 2016. Disponível em: <<https://www.daer.rs.gov.br/custos-rodoviaros-2016-07>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DAER). **Mapa Rodoviário**. Porto Alegre, 2017. Disponível em: <<https://www.daer.rs.gov.br/mapas>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DAER). **Avançam as obras na ERS-118**. Porto Alegre, 10 maio 2018a. Disponível em: <<http://www.daer.rs.gov.br/avancam-as-obras-na-ers-118>>. Acesso em: 04 abr. 2018.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DAER). **Sistema Rodoviário Estadual**. Porto Alegre, jul. 2018b. Disponível em: <<https://www.daer.rs.gov.br/sistema-rodoviario-estadual>>. Acesso em: 04 ago. 2018.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM (DAER). **Composições do Referencial Completo de Serviços Maio 2018 Sem Desoneração Versão 3**. Porto Alegre, 2018c. Disponível em: <<https://www.daer.rs.gov.br/referencial-de-obra>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **DNER/IPR 667-22/81**: Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis. Rio de Janeiro, 1981. Disponível em: <[http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/667\\_metodo\\_de\\_projeto\\_de\\_pavimentos\\_flexiveis.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/667_metodo_de_projeto_de_pavimentos_flexiveis.pdf)>. Acesso em: 16 de maio de 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). **ET-DE-P00/008**: Sub-base ou base de brita graduada. São Paulo, 2005. Disponível em: <[ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-P00-008\\_A.pdf](ftp://ftp.sp.gov.br/ftpder/normas/ET-DE-P00-008_A.pdf)>. Acesso em: 26 mar. 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT/IPR-719/2006**: Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual%20de%20Pavimentacao%20de%2005.12.06.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual%20de%20Pavimentacao%20de%2005.12.06.pdf)>. Acesso em: 16 de maio de 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT/IPR 714/2005**: Manual de pavimento rígidos. Rio de Janeiro, 2005.

FELIX, Daniela B.C. **Avaliação da metodologia do USACE aplicada à análise das condições de rolamento dos pavimentos de concreto armado**. 2008. 360 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-09022009-143228/es.php>>. Acesso em: 10 maio 2018.

FERNANDES, Wagner D. **Análise comparativa entre os métodos de dimensionamento de pavimentos flexíveis do Brasil e o método da AASHTO**. 2016. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Santa Maria, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/7929>>. Acesso em: 10 set. 2018.

NATIONAL ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION (NAPA). **Information series 132**: Rubblization. Lanham, Maryland, 2006. Disponível em: <[http://driveasphalt.org/assets/content/resources/IS-132\\_Rubblization.pdf](http://driveasphalt.org/assets/content/resources/IS-132_Rubblization.pdf)>. Acesso em: 09 ago. 2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO (PMSP). **IP-05/2004**: Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis para Tráfego Meio Pesado, Pesado, Muito Pesado e Faixa Exclusiva de Ônibus. São Paulo, 2004. Disponível em:

<[https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/arquivos/SMSO%202018/NORMAS%20TECNICAS%20DE%20PAVIMENTACAO/INSTRUCAO%20DE%20PROJETOS/ip\\_05\\_2004\\_dimensao\\_de\\_pavimentos\\_flexiveis\\_para\\_trafego\\_meio\\_pesado\\_pesado\\_muito\\_pesado\\_e\\_corredores\\_de\\_onibus.pdf](https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/arquivos/SMSO%202018/NORMAS%20TECNICAS%20DE%20PAVIMENTACAO/INSTRUCAO%20DE%20PROJETOS/ip_05_2004_dimensao_de_pavimentos_flexiveis_para_trafego_meio_pesado_pesado_muito_pesado_e_corredores_de_onibus.pdf)>. Acesso em: 09 ago. 2018.

RESONANT MACHINES. **Fragmentação**. Overland Park, 2012. Disponível em:

<<http://br.resonantmachines.com/Fragmenta%C3%A7%C3%A3o/tabid/300/Default.aspx>>. Overland Park, 2012. Acesso em: 25 jun. 2018.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Modernização Administrativa e dos Recursos Humanos. Subsecretaria da Administração. Central de Licitações. **Editais**. Processo: 16/0435-0043323-3. Edital: CR 003/17. Porto Alegre: DAER, 14 fev. 2017a. v. 1, pt. 1-4. Disponível em:

<<http://www.celic.rs.gov.br/index.php?menu=editaldetalhe&id=10408&link=Y29kdD0mY29kbT0mY29kcz0mb3Jncz0mZHRhaT0mZHRhZj0mcGVzcT0mcHJvY2Vzc289Jm9iamV0bz0xMTgmb3JkPQ>>. Acesso em: 06 ago. 2018.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Modernização Administrativa e dos Recursos Humanos. Subsecretaria da Administração. Central de Licitações. **Editais**. Processo: 16/0435-0043323-3. Edital: CR 003/17. Porto Alegre: DAER, 14 fev. 2017b. v. 2, pt. 21. Disponível em:

<<http://www.celic.rs.gov.br/index.php?menu=editaldetalhe&id=10408&link=Y29kdD0mY29kbT0mY29kcz0mb3Jncz0mZHRhaT0mZHRhZj0mcGVzcT0mcHJvY2Vzc289Jm9iamV0bz0xMTgmb3JkPQ>>. Acesso em: 06 ago. 2018.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Modernização Administrativa e dos Recursos Humanos. Subsecretaria da Administração. Central de Licitações. **Editais**. Processo: 16/0435-0043323-3. Edital: CR 003/17. Porto Alegre: DAER, 14 fev. 2017c. ERS 118, pt. 3. Disponível em:

<<http://www.celic.rs.gov.br/index.php?menu=editaldetalhe&id=10408&link=Y29kdD0mY29kbT0mY29kcz0mb3Jncz0mZHRhaT0mZHRhZj0mcGVzcT0mcHJvY2Vzc289Jm9iamV0bz0xMTgmb3JkPQ>>. Acesso em: 06 ago. 2018.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Modernização Administrativa e dos Recursos Humanos. Subsecretaria da Administração. Central de Licitações. **Editais**. Processo: 16/0435-0043323-3. Edital: CR 003/17. Composição dos custos - Fragmentação. Porto Alegre: DAER, 14 fev. 2017d. Disponível em:

<<http://www.celic.rs.gov.br/index.php?menu=editaldetalhe&id=10408&link=Y29kdD0mY29kbT0mY29kcz0mb3Jncz0mZHRhaT0mZHRhZj0mcGVzcT0mcHJvY2Vzc289Jm9iamV0bz0xMTgmb3JkPQ>>. Acesso em: 06 ago. 2018.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: Pini, 1997. 1 v.

SENÇO, Wlastermiler. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: Pini, 2001. 2 v.

SILVA, Paulo F. A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos**. 2 ed. São Paulo: Pini, 2008.

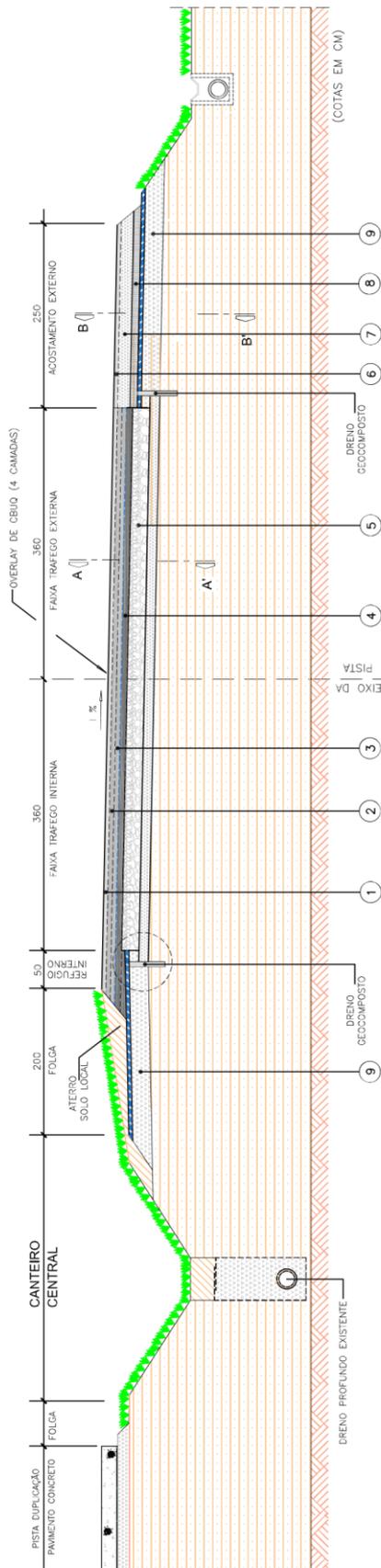
TUTIKIAN, Bernardo F. et al. Análise de trafegabilidade da rodovia segundo as manifestações patológicas nas placas de concreto: estudo de caso. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, São Leopoldo, vol. 11, n. 1, p. 9-21, jan/jun 2015. Disponível em: <[http://revistas.unisinos.br/index.php/estudos\\_tecnologicos/article/view/ete.2015.111.02/5080](http://revistas.unisinos.br/index.php/estudos_tecnologicos/article/view/ete.2015.111.02/5080)>. Acesso em: 15 maio 2018.

WISCONSIN DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (WisDOT). **Construction and Materials Manual**: Rubblizing Concrete Pavement, Chapter 3, Scetion 50. Wiscosin, 2004. Disponível em: <<https://wisconsin.gov/rdwy/cmm/cm-03-50.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

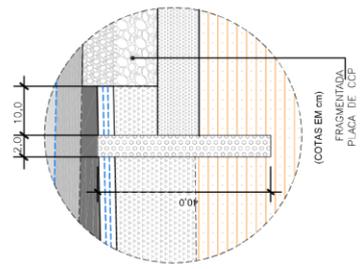
WISCONSIN DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (WisDOT). **Facilities Development Manual**: Concrete Pavement Rehabilitation Guidelines, Chapter 14, Scetion 25. Wiscosin, 2013. Disponível em: <<https://wisconsin.gov/rdwy/fdm/fd-14-25.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2018.

# ANEXO A – PROJETO DE RESTAURAÇÃO

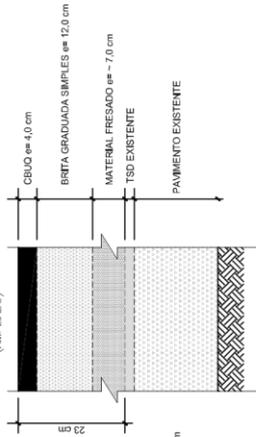
## SEÇÃO TRANSVERSAL TIPO DE PAVIMENTAÇÃO (RESTAURAÇÃO) SEGMENTO EM TANGENTE



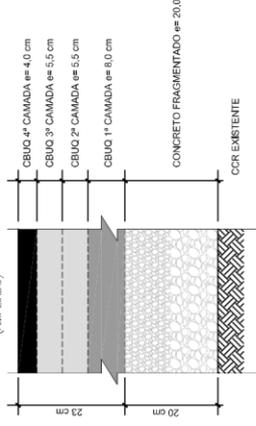
### DRENO CEGO GEOCOMPÓSITO (AMPLIADO)



### CORTE B-B' (ACOSTAMENTO)



### CORTE A-A' (PASTA)



- NOTAS:**
- 1)- Os serviços de fragmentação do pavimento de concreto deverão ser executados em subordinação a Especificação de Serviço EC-P 01/16.
  - 2)- A declividade transversal da pista deverá ser a mesma do pavimento existente
  - 3)- A primeira camada asfáltica sobre a camada fragmentada deverá ser de CBUQ com CAP convencional (CAP 50-70), faixa B do DAER (Especificação Serviço DAER-ES-P 16/91);
  - 4)- A segunda e terceira camadas asfálticas deverão ser de CBUQ com CAP SBS 60/85-E, faixa B do DAER, executado em subordinação a Especificação DN-RES 385/99;
  - 5)- A camada de rolamento (número 4) deverá ser de CBUQ com Asfalto Borracha com faixa granulométrica descontínua (GAP GRADED) conforme indicada na Especificação de serviço DNIT 112/2009-ES (Faixa C de CALTRANS).
  - 6)- Entre camadas betuminosas deve ser executada pintura de ligação com emulsão asfáltica RR-2C.

ITEM	DISCRIMINAÇÃO	UN	ESP.
1	4ª CAMADA: CBUQ MODIFICADO POR BORRACHA	cm	4,0
2	3ª CAMADA: CBUQ MODIFICADO POR POLÍMERO	cm	5,5
3	2ª CAMADA: CBUQ MODIFICADO POR POLÍMERO	cm	5,5
4	1ª CAMADA: CBUQ COM CAP CONVENCIONAL	cm	8,0
5	BASE DE CONCRETO FRAGMENTADO ESTABILIZADA (RUBILIZADA)	cm	20,0
6	REVESTIMENTO DE CBUQ COM CAP CONVENCIONAL	cm	4,0
7	BASE DE BRITA GRADUAÇÃO SIMPLES	cm	12,0
8	SUB-BASE DE MATERIAL FRESADO BRITADO # MAX. <math>\leq 1 \frac{1}{2}</math>	cm	7,0
9	PAVIMENTO EXISTENTE	cm	Var.

PROJETO POR: 

S.T. DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM  
 FUNDAÇÃO: RODOVIL-ERS-18  
 ESCALA: SEGMENTO - km 11+000 ao km 2+100  
 DATA: NOV./2016  
 PROJETO DE RESTAURAÇÃO  
 SEÇÃO TRANSVERSAL TIPO  
 FOLHA: PR4/1

## ANEXO B – CUSTOS

 <b>DAER - DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM</b> <b>DGP - DIRETORIA DE GESTÃO E PROJETOS</b> <b>SPR - SUPERINTENDÊNCIA DE PROGRAMAÇÃO RODOVIÁRIA</b> <b>EER - EQUIPE DE ECONOMIA RODOVIÁRIA</b>		<b>EXP.: 16/0435-0043323-3</b> <b>FOLHA: 02</b>				
<b>Código SRE: 118ERS0040-0070</b> <b>Rodovia: ERS-118</b> <b>Descrição do Trecho: ENTR.ERS-010 - ENTR.ERS-030</b> <b>Complemento: km 11+000 ao km 21+500</b> <b>Extensão: 10,50km</b> <b>Tipo de Orçamento: OBRA SEM DESONERAÇÃO</b> <b>Data-base: MAIO/2016</b> <b>Nº Orçamento: 0151 B</b> <b>BD: 34,29%</b>						
<b>ORÇAMENTO BÁSICO</b>						
Item	Código	Serviço	Un	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
1.1.18	136	COMPACTAÇÃO ATERROS 95% P.N.	m³	105.586,300	2,66	280.859,55
1.1.19	9247	ESCARIFICAÇÃO E CONFORMAÇÃO SUB-LEITO	ha	0,570	427,71	243,79
1.1.20	9258	CARGA TRANSP E DESCARGA MAT (medido no caminhão) Y=0,90Xs+0,71Xr+0,59Xp+2,38 (Xp=10,417km)	m³	5.725,800	8,68	49.698,94
1.1.21	9263	ESPALHAMENTO MATERIAL C/MOTONIVELADORA	m³	5.725,800	0,59	3.378,22
1.1.22	9258	CARGA TRANSP E DESCARGA MAT (medido no caminhão) Y=0,90Xs+0,71Xr+0,59Xp+2,38 (Xp=10,417km)	m³	44.054,050	8,68	382.389,15
1.1.23	9263	ESPALHAMENTO MATERIAL C/MOTONIVELADORA	m³	44.054,050	0,59	25.991,88
1.1.24	9258	CARGA TRANSP E DESCARGA MAT (medido no caminhão) Y=0,90Xs+0,71Xr+0,59Xp+2,38 (Xp=10,417km)	m³	2.305,950	8,68	20.015,64
		<b>TOTAL DO ITEM 1.1</b>				<b>2.648.322,02</b>
		<b>TOTAL DO ITEM 1</b>				<b>2.648.322,02</b>
<b>2</b>		<b>PAVIMENTAÇÃO E RESTAURAÇÃO</b>				
2.1		PAVIMENTO RÍGIDO				
2.1.1		PISTA				
2.1.1.1	20180	PAVIMENTAÇÃO COM PLACA DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND fcmk = 4,5 MPa COM RÉGUA VIBRATÓRIA SIMPLES, INCLUSIVE FORMA METÁLICA	m²	7.277,000	448,64	3.264.753,28
2.1.1.2	20182	CURA QUÍMICA ( INICIAL ) DE PLACA DE CONCRETO	m²	27.986,000	8,92	249.635,12
2.1.1.3	20183	CURA ÚMIDA ( PROLONGADA ) DA PLACA DE CONCRETO	m²	27.986,000	10,54	294.972,44
2.1.1.4	20184	JUNTA TRANSVERSAL DE RETRAÇÃO Ø=32 mm, INCLUSIVE CORTE E FORNECIMENTO DO AÇO, CORDÃO DE PROLIPROPILENO E SELANTE	m	5.598,000	130,13	728.467,74
2.1.1.5	20185	JUNTA LONGITUDINAL DE CONSTRUÇÃO Ø=10,0 mm, INCLUSIVE CORTE E FORNECIMENTO DE AÇO, CORDÃO DE PROLIPROPILENO	m	10.239,000	41,50	424.918,50
2.1.1.6	6330	CONCRETO COMPACTADO A ROLO fcmk=1,5MPa EM CENTRAL CONCRETO C/ BRITA COMERCIAL - inclusive materiais e transporte	m³	2.970,000	265,69	789.099,30
2.1.1.7	883	PINTURA DE LIGAÇÃO - exclusive asfalto	m²	29.693,000	0,16	4.750,88
2.1.1.8	6283	SUB-BASE OU BASE BRITA GRADUADA BRITA COMERCIAL - exclusive transporte	m³	4.497,000	108,91	489.768,27

Item	Código	Serviço	Un	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
 DAER - DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM DGP - DIRETORIA DE GESTÃO E PROJETOS SPR - SUPERINTENDÊNCIA DE PROGRAMAÇÃO RODOVIÁRIA EER - EQUIPE DE ECONOMIA RODOVIÁRIA						
EXP: 16/0435-0043323-3 FOLHA: 03						
Código SRE: 118ERS0040-0070 Rodovia: ERS-118 Descrição do Trecho: ENTR.ERS-010 - ENTR.ERS-030 Complemento: km 11+000 ao km 21+500 Extensão: 10,50km Tipo de Orçamento: OBRA SEM DESONERAÇÃO Data-base: MAIO/2016 Nº Orçamento: 0151 B BD: 34,29%						
<b>ORÇAMENTO BÁSICO</b>						
2.1.1.9	8010	TRANSPORTE BRITA BASE OU SUB-BASE $Y=1,44Xa+1,13Xr+0,94Xp+2,40$ ( $Xr=1,05; Xp=16,951$ km)	m²	4.497,000	20,08	90.299,76
		<b>TOTAL DO ITEM 2.1.1</b>				<b>6.336.665,29</b>
2.1.2		ACOSTAMENTO				
2.1.2.1	6283	SUB-BASE OU BASE BRITA GRADUADA BRITA COMERCIAL - exclusive transporte	m²	2.272,000	108,91	247.443,52
2.1.2.2	8010	TRANSPORTE BRITA BASE OU SUB-BASE $Y=1,44Xa+1,13Xr+0,94Xp+2,40$ ( $Xr=1,05; Xp=16,951$ km)	m²	2.272,000	20,08	45.621,76
2.1.2.3	6341	CONCRETO BETUMINOSO USINADO QUENTE SOBRE BASE GRANULAR BRITA COMERCIAL - exclusive asfalto e transporte	m²	274,000	228,29	62.551,46
2.1.2.4	7999	TRANSPORTE MASSA ASFALTICA - medido compactado $Y=1,81Xa+1,44Xr+1,20Xp+6,16$ ( $Xp=9,751$ km)	m²	274,000	17,86	4.893,64
2.1.2.5	881	IMPRIMAÇÃO - exclusive asfalto	m²	6.826,000	0,26	1.774,76
2.1.2.6	883	PINTURA LIGAÇÃO - exclusive asfalto	m²	6.826,000	0,16	1.092,16
		<b>TOTAL DO ITEM 2.1.2</b>				<b>363.377,30</b>
		<b>TOTAL DO ITEM 2.1</b>				<b>6.700.042,59</b>
2.2		TRATAMENTO DE PATOLOGIAS PAVIMENTO RÍGIDO				
2.2.1	2511	DEMOLIÇÃO PLACAS CONCRETO - conforme projeto e inclusive transporte	m²	702,000	170,36	119.982,72
2.2.2	20172	FURAÇÃO E INSTALAÇÃO DE BARRAS DE LIGAÇÃO Ø=10 mm	un	4.428,000	19,51	86.390,28
2.2.3	20173	FURAÇÃO E INSTALAÇÃO DE BARRAS DE TRANSFERÊNCIA Ø=25 mm	un	5.904,000	61,30	361.915,20
2.2.4	20175	GRAMPEAMENTO	un	1.552,000	262,40	407.344,80
2.2.5	20176	RECOMPOSIÇÃO DA SUB-BASE DE CONCRETO ROLADO COM CONCRETO fck = 15 MPa (CONCRETO COMERCIAL)	m²	134,000	599,77	80.386,18
2.2.6	20177	RECUPERAÇÃO DE JUNTAS ESBORCINADAS COM ARGAMASSA EPOXI	m²	15,000	609,72	9.145,80
2.2.7	20178	RECUPERAÇÃO DE JUNTAS ESBORCINADAS E PEQUENOS BURACOS COM GROUT (e=10 mm)	m²	9,000	246,10	2.214,90
2.2.8	20179	RECUPERAÇÃO DE JUNTAS ESBORCINADAS E PEQUENOS BURACOS COM GROUT (e=50 mm)	m²	7,000	283,71	1.985,97

Item	Código	Serviço	Un	Quantidade	Preço Unitário (R\$)	Preço Total (R\$)
8		FRAGMENTAÇÃO DE PLACA DE CONCRETO				
8.1	20204	FRAGMENTAÇÃO DE PLACA DE CONCRETO - inclusive mobilização - composição exclusiva para ERS-118	m²	65.232,000	46,20	3.013.718,40
		TOTAL DO ITEM 8				3.013.718,40
		TOTAL GERAL				40.293.442,86
		RESUMO ORÇAMENTO				
		1 TERRAPLENAGEM				2.648.322,02
		2 PAVIMENTAÇÃO E RESTAURAÇÃO				20.070.985,26
		3 DRENAGEM				7.209.261,10
		4 OBRAS COMPLEMENTARES				4.084.245,08
		5 CONTENÇÃO				2.459.503,00
		6 SINALIZAÇÃO DE OBRA				141.764,02
		7 MOBILIZAÇÃO				665.643,98
		8 FRAGMENTAÇÃO DE PLACA DE CONCRETO				3.013.718,40
		PREÇO TOTAL DA OBRA (R\$)				40.293.442,86



## ANEXO C – ESPALHAMENTO BOTA-FORA

Equipamentos (A)										
Discriminação	Qtde	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário				
		Produtiva	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo					
E00954 - TRATOR ESTEIRA C/ LÂMINA ANGULÁVEL - 273 KW	1,0000	1,0000	0,0000	451,31	147,70	451,31				
(A) TOTAL						451,31				
Mão de Obra (B)				Quantidade	Salário Base	Custo Horário				
Discriminação										
H0001 - SERVENTE				2,0000	14,87	29,74				
H0005 - ENCARREGADO				0,3000	39,50	11,85				
TOTAL						41,59				
(C) Produção da Equipe 314,1820 m³ / H				Custo Horário Total (A + B)		492,90				
(D) Custo Unitário da Execução [(A) + (B)] / (C) =						1,56				
Materiais (E)		Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário					
Discriminação										
(E) TOTAL						0,00				
Transporte (F)		Custo de Transporte			Dist. de Transporte			Custo	Consumo	Custo Unitário
Discriminação		Fixo	CCS	CRP	CPV	CCS	CRP	CPV		
(F) TOTAL										0,00
Custo Unitário Total: (D) + (E) + (F)									1,56	
Bonificação: 32,90 %									0,51	
Subtotal:									2,07	
Preço Unitário Total:									2,07	
COMPOSIÇÕES DE SERVIÇOS Data-base: MAIO/2018 SEM DESONERAÇÃO										

## ANEXO D – PRODUTIVIDADE FRAGMENTAÇÃO

CUSTOS UNITÁRIOS						
SERVIÇO	ITEM	DATA BASE	UNIDADE	PRODUÇÃO		
Fragmentação de placa de concreto - inclusive mobilização/desmobilização - composição exclusiva para ERS-118		mai/16	m <sup>2</sup>	520,00		
EQUIPAMENTO	QUANT.	UTILIZAÇÃO		CUSTO OPERACIONAL		CUSTO
		PRODUTIVO	IMPROD.	PRODUTIVO	IMPROD.	HORÁRIO
E-0855 Rolo Compactador tipo chapa Mod. CA-250	1,0000	1,000	-	112,060	32,530	112,06
E-0851 Compactador pneumático CAT PS360	1,0000	1,000	-	108,770	37,010	108,77
E-0852 Compactador tipo chapa Mod. CA-150	1,0000	1,000	-	78,360	28,960	78,36
						-
						-
<b>TOTAL (A)</b>						<b>299,19</b>
MÃO-DE-OBRA SUPLEMENTAR		K ou R	QUANT.	SALÁRIO BASE	CUSTO HORÁRIO	
Encarregado de pavimentação			1,000	25,82	25,82	
Servente			3,000	13,28	39,84	
					-	
<b>CUSTO HORÁRIO DA MÃO DE OBRA</b>						<b>65,66</b>
				<b>ADICIONAL MÃO DE OBRA - FERRAMENTAS</b>	<b>5,00%</b>	<b>3,28</b>
<b>TOTAL MÃO DE OBRA (B)</b>						<b>68,94</b>
<b>PRODUÇÃO DA EQUIPE (C)</b>		<b>520,000</b>	<b>CUSTO HORÁRIO TOTAL (A+B)</b>			<b>368,13</b>
<b>CUSTO UNITÁRIO DE EXECUÇÃO <math>[(A)+(B)]/(C) = (D)</math></b>						<b>0,71</b>
				<b>BONIFICAÇÃO (BDI)</b>	<b>34,29%</b>	<b>0,24</b>
<b>CUSTO UNITÁRIO TOTAL (1) EM R\$</b>						<b>0,94</b>
<b>MOBILIZAÇÃO</b>				<b>1,1818</b>	<b>%</b>	<b>0,95</b>
MATERIAIS			UNID.	CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO
Fragmentadora tipo Multi-head Breaker			m <sup>2</sup>	37,71	1,0000	37,71
<b>TOTAL (E)</b>						<b>37,71</b>
TRANSPORTES	DMT (t)	DMT (p)	DMT total	CUSTO	CONSUMO	CUSTO UNITÁRIO
						-
						-
<b>TOTAL (F)</b>						<b>-</b>
<b>CUSTO DIRETO TOTAL (E)</b>						<b>37,71</b>
				<b>BONIFICAÇÃO sobre (E) (BDI)</b>	<b>20,00%</b>	<b>7,54</b>

## ANEXO E – PRODUTIVIDADE SUB-BASE OU BASE BRITA GRADUADA

Equipamentos (A)		Utilização		Custo Operacional		Custo				
Discriminação	Qtde	Produtiva	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo	Horário				
E00106 - CAMINHÃO SEMIPESADO IRRIGADOR 8.000 LITROS (ATEGO 2426 ou	1,0000	0,6000	0,4000	125,04	36,84	89,76				
E00107 - CARREGADOR FRONTAL PNEUS 149KW, capadd.: 2,70m³	1,0000	0,6500	0,3500	177,14	54,46	134,20				
E00151 - DISTRIBUIDOR DE AGREGADO REBOCÁVEL C/ CAMINHÃO ATEGO	1,0000	0,6600	0,3400	112,50	39,95	87,83				
E00802 - MOTONIVELADORA - 104kW	1,0000	0,2000	0,0000	169,54	62,56	33,90				
E00851 - ROLO COMPACTADOR DE 8 PNEUS, AUTOPROPELIDO - 135 kW	2,0000	0,6800	0,3200	117,68	38,77	184,85				
E00855 - ROLO COMPACTADOR LISO E PÉ DE CARNEIRO - 97,05 kW	1,0000	1,0000	0,0000	125,24	36,36	125,24				
E1002 - USINA FIXA MISTURADORA SOLOS 350600/h - 100KW	1,0000	1,0000	0,0000	115,99	39,76	115,99				
<b>(A) TOTAL</b>						<b>771,77</b>				
Mão de Obra (B)		Quantidade	Salário Base	Custo						
Discriminação				Horário						
H0001 - SERVENTE		8,0000	14,87	118,96						
H0005 - ENCARREGADO		2,0000	39,50	79,00						
<b>TOTAL</b>						<b>197,96</b>				
(C) Produção da Equipe 102,0800 m³ / H				Custo Horário Total (A + B)		969,73				
(D) Custo Unitário da Execução [(A) + (B)] / (C) =						<b>9,49</b>				
Materiais (E)		Unidade	Custo	Consumo	Custo					
Discriminação					Unitário					
<b>(E) TOTAL</b>						<b>0,00</b>				
Transporte (F)		Custo de Transporte			Dist. de Transporte			Custo	Consumo	Custo
Discriminação		Fixo	CCS	CRP	CPV	CCS	CRP	CPV		Unitário
<b>(F) TOTAL</b>										<b>0,00</b>
Custo Unitário Total: (D) + (E) + (F)									9,49	
Bonificação: 32,90 %									3,12	
Subtotal:									12,61	
Preço Unitário Total:									12,61	
COMPOSIÇÕES DE SERVIÇOS										
Data-base: MAIO/2018 SEM DESONERAÇÃO										

## ANEXO F – PRODUTIVIDADE CORTE E REMOÇÃO MECÂNICA

 DAER - Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem do RS DGP - Diretoria de Gestão e Projetos SPR - Superintendência de Programação Rodoviária EER - Equipe de Economia Rodoviária											
<b>Custo Unitário do Serviço</b>											
<b>Código: 543</b>		<b>Serviço: CORTE E REMOÇÃO MECÂNICA PAVIM. P/ REMENDO SUBSUPERF. E PROFUNDO - inclusive transporte</b>					<b>Unidade: m³</b>				
<b>Equipamentos (A)</b>		Qtde	Utilização		Custo Operacional		Custo Horário				
Discriminação			Produtiva	Improdutiva	Produtivo	Improdutivo					
E00113 - RETROESCAVADEIRA - 56kW		1,0000	1,0000	0,0000	91,58	33,21	91,58				
E00910 - SERRA CIRCULAR P/CORTE CONCR.E ASF.C/MOTOR GASOL. 8,25 HP C/		1,0000	0,5000	0,5000	24,74	15,56	20,15				
FERRAMENTAS		1	5,00				3,96				
<b>(A) TOTAL</b>							<b>115,69</b>				
<b>Mão de Obra (B)</b>					Quantidade	Salário Base	Custo Horário				
Discriminação											
H0001 - SERVENTE					4,0000	14,87	59,48				
H0005 - ENCARREGADO					0,5000	39,50	19,75				
<b>TOTAL</b>							<b>79,23</b>				
(C) Produção da Equipe 8,0000 m³ / H					<b>Custo Horário Total (A + B)</b>		<b>194,92</b>				
(D) Custo Unitário da Execução [(A) + (B)] / (C) =							<b>24,36</b>				
<b>Materiais (E)</b>					Unidade	Custo	Consumo	Custo Unitário			
Discriminação											
129 - TRANSPORTE BOTA-FORA P/2,00Kmr					m³	2,62	1,3000	3,40			
<b>(E) TOTAL</b>							<b>3,40</b>				
<b>Transporte (F)</b>		Custo de Transporte				Dist. de Transporte			Custo	Consum	Custo Unitário
Discriminação		Fixo	CCS	CRP	CPV	CCS	CRP	CPV			
<b>(F) TOTAL</b>							<b>0,00</b>				
Custo Unitário Total: (D) + (E) + (F)										<b>27,76</b>	
Bonificação: 32,90 %										<b>9,13</b>	
Subtotal:										<b>36,89</b>	
Preço Unitário Total:										<b>36,89</b>	
COMPOSIÇÕES DE SERVIÇOS Data-base: MAIO/2018 SEM DESONERAÇÃO											