



**CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

**Heloisa Pereira da Silva**

**Estudo sobre Composição Erosiva nos Pavimentos Asfálticos  
Estudo de Caso da TO - 020**

**Palmas  
2016**



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

**Heloisa Pereira da Silva**

## **Estudo sobre Composição Erosiva nos Pavimentos Asfálticos Estudo de Caso da TO - 020**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso TCC II do curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista Fernando Moreno Suarte Junior.

**Palmas  
2016**



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

COMUNIDADE EVANGÉLICA LUTERANA "SÃO PAULO"  
Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607 - D.O.U. nº 202 de 20/10/2005

**Heloisa Pereira da Silva**

## **Estudo sobre Composição Erosiva nos Pavimentos Asfálticos Estudo de Caso da TO - 020**

Projeto apresentado como requisito parcial da disciplina TCC II do Curso de Engenharia Civil, orientado pelo Professor Especialista Fernando Moreno Suarte Junior.

Aprovada em: 03/06/ 2016.

### **BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Junior**

Centro Universitário Luterano de Palmas

---

**Prof. Esp. Miguel Angelo de Negri**

Centro Universitário Luterano de Palmas

---

**Prof. M.Sc. Roberta Mara de Oliveira**

Centro Universitário Luterano de Palmas

**Palmas  
2016**

## AGRADECIMENTOS

Missão concluída e meta em bom andamento para ser concretizada, (Bacharel em Engenharia Civil) fica a gratidão a inúmeras pessoas e sobre tudo e todos a Deus. Gratidão justamente por ter posto em minha trajetória pessoas de bem, que juntamente com a minha família me impulsionaram e proporcionaram o privilégio de está na sala de aula em busca da formação profissional.

Agradeço a todos os docentes do curso de Engenharia Civil do CELP/ULBRA aqui representados pelos professores: Esp. Fernando Moreno Suarte Junior, M.Sc. Roberta Mara de Oliveira e ao Espec. Miguel Angelo de Negri. Cabe dizer: “Obrigada professor Fernando pela flexibilidade e orientações precisas; Obrigada professora Roberta pelas correções, pois sem as quais não seria possível aperfeiçoar o trabalho; Obrigada Professor Miguel pela atenção”.

Agradeço em Especial a minha Mãe Maria de Fátima e peço desculpas pela lâmpada ligada; ao meu pai Baltazar, “obrigada pai por custear inicialmente o meu sonho”; ao meu irmão, “obrigada Heitor pelas águas e cafezinhos”, e as minhas fiadoras Edivalda Ferreira e Eleandra Bassanes, “obrigada amigas pela confiança”.

Agradeço inclusive a todos meus colegas, em nome dos meus amigos Daniel Berreza, Melk Zedek e Vinícius Teixeira. Obrigada a todos que de certa forma contribuíram com essa conquista.

## RESUMO DO TRABALHO

PEREIRA, Heloisa, Silva. **ESTUDO SOBRE COMPOSIÇÃO EROSIVA NOS PAVIMENTOS ASFALTICO- ESTUDO DE CASO DA TO-020**. 2016, Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas CEULP/ULBRA, Palmas – TO. Professor Orientador Especialista Fernando Moreno Suarte Júnior.

O presente trabalho apresenta o processo erosivo na pavimentação asfáltica, processo de formação, estudo de caso, métodos de prevenção e controle, recuperação de obras de drenagem. Os assuntos são detalhados de maneira ilustrativa com intuito de relatar a necessidade do aprimoramento do sistema construtivo das rodovias nacionais e propor soluções para controlar e evitar a erosão na TO-020, via de acesso localizada no estado do Tocantins, entre os municípios de Palmas e Aparecida do Rio Negro. O referencial teórico é bastante amplo, abrangendo áreas que influenciam no aparecimento de erosão superficial nos pavimentos asfálticos e movimento de solo em taludes, o estudo baseia-se em normas do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte), livros de autores renomados e trabalhos de graduação.

**Palavras chave:** patologias, pavimento, erosão, TO-020.

## ABSTRACT

PEREIRA, Heloisa Silva. **STUDY ON COMPOSITION EROSION IN FLOORING ASFALTICO- CASE STUDY TO-020**. 2016 , Work Completion of course (Diploma in Civil Engineering) - University Center of Lutheran Palmas CEULP / ULBRA, Palmas - TO. Specialist Advisor teacher Fernando Moreno Suarte Junior.

This paper presents the erosive process in asphalt paving, formation process, case study, prevention and control methods, recovery drainage works. The subjects are detailed illustrative manner in order to report the need for improvement of the constructive system of national highways and propose solutions to control and prevent erosion in the TO-020, access road located in the state of Tocantins, between the municipalities of Palmas and Aparecida do Rio Negro. The theoretical framework is quite broad, covering areas that influence the appearance of surface erosion in asphalt pavements and soil movement on slopes, the study is based on DNIT norms (National Department of Transport Infrastructure), renowned author of books and papers of graduation.

**Keywords:** diseases, pavement, erosion, TO-020

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Representação das Camadas de Pavimentação Asfáltica.....	17
<b>Figura 2-</b> Representação da Sarjeta.....	27
Figura 3- Drenos verticais .....	30
<b>Figura 4-</b> Representação da Infiltração no Pavimento Asfáltico .....	31
<b>Figura 5-</b> Ensaio de Cisalhamento Direto .....	38
<b>Figura 6-</b> Ensaio de Cisalhamento triaxial. ....	39
Figura 7- Trecho entre Palmas e Aparecida do Rio Negro.....	42
Figura 8- Transporte de carga transitando em pavimento defeituoso .....	44
Figura 9-Erosão em Talude de Corte .....	45
Figura 10- Afundamento de Consolidação de trilhas de rodas.....	46
Figura 11- Desgaste, afundamento e trincas.....	47
Figura 12- Desgaste e trincas.....	47
Figura 13-Patologias associadas .....	48
Figura 14- Desgaste.....	48
Figura 15- Aglomeração de Patologias.....	49
Figura 16- Processo erosivo .....	50
Figura 17- Erosão superficial em acostamento .....	50
Figura 18- Ponto de concentração de defeitos .....	51
Figura 19- Aproximação do ponto de concentração dos defeitos da figura 18 .....	51
Figura 20- Painela isolada no pavimento .....	52
Figura 21- Painelas .....	52
Figura 22- Buracos e desgaste .....	53
Figura 23-Trecho desgastado com buracos e remendos .....	53
Figura 24- Buraco entre remendos .....	54

Figura 25- Revestimento poroso com remendos .....	55
Figura 26- Forma da superfície seguindo os critérios da operação tapa buraco.....	55
Figura 27- Valeta de proteção de corte.....	56
Figura 28- Talude de Corte .....	57
Figura 29-Aproximação da erosão no talude de corte.....	57
Figura 30-Valeta de proteção de aterro .....	58
Figura 31-Valeta de proteção de aterros .....	58
Figura 32- Estado de conservação de valeta.....	59
Figura 33- Pé de Talude .....	59
Figura 34- Sarjeta de Corte.....	60
Figura 35- Sarjeta de Corte.....	60
Figura 36-Aproximação do estado de conservação da sarjeta de corte .....	61
Figura 37- Ausência de sarjeta e presença de lama no acostamento.....	61
Figura 38- Descidas de água.....	62
Figura 39- Estado de conservação de descidas de água .....	62
Figura 40- Aproximação da descida de água .....	63
Figura 41- Água empoçada no acostamento .....	63
Figura 42- Meio Fio .....	64
Figura 43- Distância entre poça de água e a descida .....	64
Figura 44- Imagem ilustrativa de Geogrelha para pavimentação.....	66
Figura 45-Correções de erosão em talude com solo cimento.....	67
Figura 46- Correção erosiva inicial usando septos de pneu.....	67
Figura 47- Obra de controle de erosão finalizada .....	68



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
ABEDA	Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1. Objetivos .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.1. Objetivo Geral .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1.2. Objetivos Específicos .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2. Justificativa e Importância do trabalho .....</b>	<b>13</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Pavimentação .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1 Abordagem Histórica da Pavimentação.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.2 Interfases da Pavimentação .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.3 Definição de Pavimento.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.4 Camadas do Pavimento .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.4.1 Subleito.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.4.2 Regularização do Subleito.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.4.3 Reforço de Subleito.....</b>	<b>17</b>
<b>2.1.4.4 Sub-Base .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.4.5 Base.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.4.6 Revestimento .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.4 Classificação dos Pavimentos.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.4.1 Pavimento Rígido.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.4.2 Pavimento Flexível.....</b>	<b>19</b>
<b>2.1.4.3 Pavimento Semi-Rígido.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 Pavimento Flexível .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.1 Revestimentos Flexíveis Betuminosos.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1.1 Revestimento Betuminosos por Penetração Invertida.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1.2 Revestimentos Betuminosos por Penetração Direta.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1.3 Revestimento por Mistura .....</b>	<b>20</b>
<b>2.2.2 Técnicas de Revestimentos Usuais .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2.1 Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ .....</b>	<b>21</b>
<b>2.2.2.3 Pré-Misturado a frio.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.2.4 Tratamentos Superficiais.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.2.5 Lama Asfáltica .....</b>	<b>23</b>
<b>2.3 Patologias nos Pavimentos Flexíveis .....</b>	<b>23</b>

<b>2.3.1 Fissuras</b> .....	24
<b>2.3.2 Trincas</b> .....	24
<b>2.3.3 Afundamento</b> .....	24
<b>2.3.4 Escorregamento</b> .....	24
<b>2.3.5 Panela ou buraco</b> .....	25
<b>2.4 Drenagens dos Pavimentos</b> .....	25
<b>2.4.1 Drenagem Superficial</b> .....	26
<b>2.4.1.1 Valetas de proteção de corte e aterro</b> .....	26
<b>2.4.1.2 Sarjetas de corte e de aterro</b> .....	27
<b>2.4.1.3 Descida d'água</b> .....	27
<b>2.4.1.4 Saídas d'água</b> .....	27
<b>2.4.1.5 Caixas coletoras</b> .....	28
<b>2.4.1.6 Bueiros de greide</b> .....	28
<b>2.4.1.7 Dissipadores de energia</b> .....	28
<b>2.4.2 Drenagem subterrânea ou profunda</b> .....	29
<b>2.4.2.1 Drenos profundos longitudinais</b> .....	29
<b>2.4.2.2 Drenos em espinhas de peixe</b> .....	29
<b>2.4.2.3 Colchão drenante</b> .....	30
<b>2.4.2.4 Valetões laterais</b> .....	30
<b>2.4.2.5 Drenos verticais</b> .....	30
<b>2.5 Origem da água nos Pavimentos Asfálticos</b> .....	31
<b>2.5.1 Infiltração</b> .....	31
<b>2.6 Estudo do Solo</b> .....	31
<b>2.6.1 Definição de Solo</b> .....	32
<b>2.6.2 Origem dos Solos</b> .....	32
<b>2.6.3 Elementos Constituintes dos Solos</b> .....	32
<b>2.6.3.1 Índices físicos entre as três fases</b> .....	33
<b>2.6.3.2 Caracterização física do Solo</b> .....	34
<b>2.6.4 Propriedades do Solo</b> .....	34
<b>2.6.4.1 Coesão</b> .....	34
<b>2.6.4.2 Permeabilidade</b> .....	35
<b>2.6.4.3 Compressibilidade</b> .....	35
<b>2.6.4.4 Plasticidade</b> .....	35
<b>2.6.5 Tensão do Solo</b> .....	36

2.6.6	<b>Resistência ao Cisalhamento do Solo</b> .....	36
2.6.6.1	<b>Ensaio de Cisalhamento</b> .....	37
2.6.7	<b>Sondagem do Solo</b> .....	39
2.6.8	<b>Ruptura Hidráulica</b> .....	40
2.6.8.1	<b>Erosão Superficial</b> .....	40
2.6.8.2	<b>Erosão Subterrânea</b> .....	40
3.	<b>METODOLOGIA</b> .....	41
3.1	<b>Apresentação do Objeto de Estudo</b> .....	41
3.1.1	<b>Pesquisa bibliográfica</b> .....	41
3.1.2	<b>Visita Técnica a TO 020</b> .....	41
3.1.2.1	<b>Manifestações Patológicas</b> .....	42
3.1.2.2	<b>Conservação das Obras de Drenagem</b> .....	42
3.1.3	<b>Metodologias de controle de processos erosivos em rodovias</b> .....	43
4.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	44
4.1	<b>Estudo das manifestações patológicas ao longo da TO – 020</b> .....	44
4.1.1	<b>Característica do trecho</b> .....	44
4.1.2	<b>Manifestações patológicas em Talude</b> .....	45
4.1.3	<b>Afundamento</b> .....	46
4.1.4	<b>Trincas</b> .....	46
4.1.5	<b>Desgaste</b> .....	48
4.1.6	<b>Buraco/Panela</b> .....	49
4.1.7	<b>Remendos</b> .....	54
4.2	<b>Verificação do Sistema de Drenagem Superficial na TO - 020</b> .....	56
4.2.1	<b>Valeta de proteção de corte</b> .....	56
4.2.2	<b>Valeta de proteção de aterro</b> .....	58
4.2.3	<b>Sarjetas de Corte</b> .....	60
4.2.4	<b>Descidas de água</b> .....	62
4.3	<b>Soluções técnicas para o processo erosivo na TO-020</b> .....	65
4.3.1	<b>Métodos de prevenção à erosão nas Rodovias</b> .....	65
4.3.2	<b>Métodos que controlem a erosão</b> .....	66
4.3.2.1	<b>Técnicas corretivas em taludes</b> .....	66
4.3.2.2	<b>Correções dos defeitos no pavimento da TO-020</b> .....	68
5	<b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	69
6.	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	70

## 1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho aborda uma problemática voltada à área de Engenharia Civil, onde os usuários das rodovias nacionais passam por situações desgastantes e inesperadas a “Erosão nos Pavimentos Asfálticos”, que impossibilitam a locomoção entre as cidades e estados.

A vida útil dos pavimentos asfálticos são diretamente, agravados, pelo tráfego intenso e/ou fenômenos naturais, como também por falta de manutenção e projetos inadequados. Diante dessa afirmativa desenvolvemos estudo de caso na TO-020 para investigar as causas que levam o pavimento a ruptura. Para entender o processo erosivo é necessário analisar as características do solo, a demanda do tráfego, projeto de drenagem e pavimentação, pois são fatores que podem ocasionar o problema.

O revestimento asfáltico além da função primordial de aumentar a resistência pneu-pavimento impermeabiliza o solo estrutural, impedindo que a água da chuva se infiltre, pois o mesmo deve ser totalmente estanque, seja da infiltração das águas descendente ou as ascendentes do lençol freático. O maciço de solo estrutural da pavimentação asfáltica apresenta uma tensão admissível, a qual pode ser afetado em contato periódico com a água.

No processo erosivo em pavimento temos ruptura por cisalhamento e hídrica, como também a movimentação de encostas naturais e talude, nesse sentido somos impulsionados a estudar as possíveis causas e métodos de correções para os defeitos encontrados na TO objeto de estudo, possibilitando ao usuário o direito de ir e vir com segurança e comodidade.

O trabalho apresentar por meio de ilustrações as manifestações patológicas existentes na TO-020, descrições das possíveis causas e influência do defeito no processo erosivo, assim como imagens do estado de conservação dos dispositivos de drenagem encontrados no trecho da rodovia, realizando comparação com as normativas que fixam condições e procedimentos de projeto de drenagem.

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo Geral

Estudar o processo erosivo na pavimentação asfáltica. Tendo como estudo de caso a TO-020, localizada entre a cidade de Palmas e Aparecida do Rio Negro no estado do Tocantins.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar *in loco* as manifestações patológicas existentes na TO-020, classificando e identificando suas possíveis causas, dando ênfase às antecedentes a erosão.
  
- Estudar o estado de conservação da drenagem superficial na TO-020. Verificando se os dispositivos atendem ao Manual de Drenagem – DNIT
  
- Apresentar soluções técnicas existentes que visem prevenir e controlar a erosão na estrutura global do pavimento da TO-020.

## 1.2. Justificativa e Importância do trabalho

O projeto de pavimentação requer a integração de diversas áreas. Uma rodovia por melhor que tenha sido projetada e executada está sujeita a falhas; agravadas pelo intemperismo e ação tráfego. Tendo o profissional técnico da área atribuição de projetar e executar pavimentos de qualidade, segurança, viável economicamente e durável, observamos a necessidade de uma intervenção na estrutura do pavimento asfáltico, devido às ocorrências constantes de patologias; as mesmas põem em risco a segurança do tráfego e afeta a vida útil das vias, levando-as a ruptura.

A história humana apresenta memoráveis fatos do desenvolvimento tecnológico dos meios de transportes e pavimentação, há diversos métodos técnicos para se pavimentar uma rodovia, no entanto na sociedade contemporânea nos deparamos com manifestações patológicas e processo erosivo que tumultua e dificulta a locomoção terrestre no território nacional.

O fato justifica o estudo para aprimorar a técnica do planejamento e execução dos pavimentos. De uma forma global o pavimento influencia positivamente ou negativamente no desempenho da sociedade. Exemplificando pelo ponto de vista econômico, o mesmo prejudica o escoamento das safras dos agricultores. Caminhoneiros vivem em um constante transtorno devido às inúmeras patologias no leito estradal e quando as rodovias são interditadas, pelos processos erosivos, os prejuízos são ainda maiores.

Vale ressaltar que as ocorrências patológicas não é uma particularidade do Estado do Tocantins. O trabalho relata sobre métodos e técnicas que se aplica para controlar e evitar erosão na TO-020 as quais podem ser usadas em outras localidades.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Pavimentação

#### 2.1.1 *Abordagem Histórica da Pavimentação*

Segundo Senço (2007) desde a pré-história o homem tendência a viabilizar sua locomoção. Quando montou um animal, deu um passo adiante nessa evolução, conseguindo maior rendimento das viagens; a roda foi a invenção mais importante do ramo dos transportes, possibilitando a princípio atrelar um veículo rústico a esse animal, surgindo assim a necessidade de melhorar ainda mais os caminhos.

Ainda conforme Senço (2007) o homem era condicionado pelo meio ambiente e pela topografia do terreno onde circulava. Com a necessidade de transportar maiores cargas e percorrer maiores distância viu-se obrigado a procurar a exercer controle sobre o meio, alterando as elevações, depressões e curso d'água, através, de aterros, cortes e construindo obras de arte nos cursos de água.

A busca de melhores matérias para estabilização do leito carroçável levou á utilização de revestimentos de pedras, de misturas betuminosas ou de concreto de cimento, ou seja, com a pavimentação, outro princípio fundamental na evolução dos transportes: a necessidade de que os deslocamentos sejam possíveis em qualquer época do ano, obrigando á estabilização do leito das estradas. Alguns exemplos de estradas de destaque da antiguidade são descritos a seguir. (Senço,2007)

Uma das mais antigas estradas pavimentadas implantadas não se destinou a veículos com rodas, mas a trenós para o transporte de cargas. Para a construção das pirâmides no Egito (2600-2400 a.C.), foram construídas vias com lajões justapostos em base com boa capacidade de suporte. O atrito era amenizado com umedecimento constante por meio de água, azeite ou musgo molhado (Saunier, 1936). Apud ( Bernucci e outros,2008)

Muitas das estradas da antiguidade, como a de Semíramis, transformaram-se na modernidade em estradas asfaltadas. Embora seja reconhecida a existência remota de sistemas de estradas em diversas partes do globo, construídas para fins religiosos (peregrinações) e comerciais, foi atribuída aos romanos à arte maior do planejamento e da construção viária. Visando, entre outros, objetivos militares de manutenção da ordem no vasto território do império, que se iniciou com Otaviano



Augusto no ano 27 a.C., deslocando tropas de centros estratégicos para as localidades mais longínquas, os romanos foram capazes de implantar um sistema robusto construído com elevado nível de critério técnico. Bernucci e outros (2008)

Segundo Balbo (2007) pavimentação é uma questão de cidadania, pois as estradas servem para dar acesso: à educação e à saúde; à cultura e ao lazer; ao convívio social; ao trabalho. Descreve também que não se trata de privilégio de alguns grupos, pois as deficiências das mesmas (buracos, pontes ruindo, ausência de sinalização, assoreamento de drenos, rompimento de taludes etc.) afetam todos, sem distinção de classe social, cor, credo e ideologia.

### **2.1.2 Interfases da Pavimentação**

A pavimentação de uma via melhora as condições de salubridade no seu entorno; facilita e disciplina a captação, condução e destinação das águas pluviais; viabiliza a implementação de transporte coletivo mais eficiente e rápido, face à melhor condição de rolamento, facilitando e reduzindo o tempo de deslocamento da população; incentiva a instalação de infra-estrutura comercial, industrial e de serviços nas adjacências da intervenção; estimula a introdução de melhorias nas moradias e demais ocupações existentes nas laterais da artéria pavimentada; valoriza os imóveis lindeiros, etc. (Bernucci e outros, 2008)

O asfalto tem grande utilidade: uma rua asfaltada é nivelada, dando conforto aos passageiros e ao motorista de um veículo. Faz parte do progresso, andarmos em ruas asfaltadas e niveladas. (Pereira, 2003)

A eficácia da pavimentação está relacionada indiretamente aos direitos que são assegurados pela Constituição Federal de 1988 aos cidadãos, no que tange assuntos à cerca de educação, lazer, saúde e segurança, e ao direito de ir e vir no território nacional.

### **2.1.3 Definição de Pavimento**

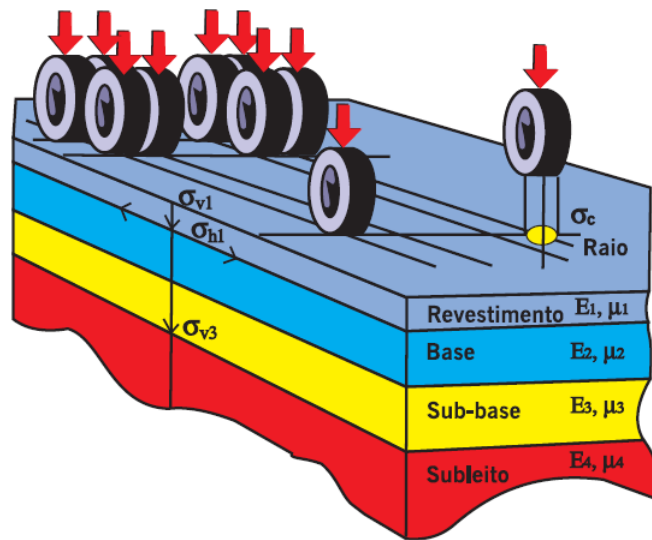
Pavimento de uma rodovia é a superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentes sobre um semi-espaço considerado teoricamente como infinito - a infra-estrutura ou terreno de fundação, a qual é designada de subleito. O subleito, limitado assim superiormente pelo pavimento, deve ser estudado e considerado até a profundidade onde atuam de forma significativa, as cargas impostas pelo tráfego. Em termos práticos, tal profundidade deve situar-se numa faixa de 0,60 m a 1,50 m. (DNIT,2006)

O pavimento é uma estrutura não perene, composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal, adequada para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo possível, considerados diferentes horizontes para serviços de manutenção preventiva, corretiva, e de reabilitação, obrigatórios. (Balbo, 2007)

### **2.1.4 Camadas do Pavimento**

A estrutura do pavimento é concebida, em seu sentido puramente estrutural, para receber e transmitir esforços de maneira a aliviar pressões sobre as camadas inferiores, que geralmente são menos resistentes, embora isso não seja tomado como regra geral. Para que funcione adequadamente, todas as peças que a compõem devem trabalhar deformações compatíveis com sua natureza e capacidade portante, isto é, de modo que não ocorram processos de ruptura ou danificação de forma prematura e inadvertida nos materiais que constituem as camadas do pavimento. (Balbo, 2007)

**Figura 1-** Representação das Camadas de Pavimentação Asfáltica



**Fonte:** Bariani e outros ( 2008)

#### 2.1.4.1 Subleito

A NBR 11170 (1990) define subleito como um maciço de terra teoricamente infinito que serve como fundação para um pavimento.

Segundo Senço (2007) subleito é o terreno de fundação do pavimento. Se a terraplenagem é recente, o subleito deverá apresentar as características geométricas definitivas.

#### 2.1.4.2 Regularização do Subleito

As especificações do DNER (1996) definem regularização do subleito como sendo a operação destinada a adequar transversal e longitudinalmente o leito da estrada com a finalidade de deixá-lo conforme especificado no projeto.

Segundo Senço (2007) o preparo do subleito deve dar à superfície as características geométricas do pavimento acabado.

#### 2.1.4.3 Reforço de Subleito

Conforme Balbo (2007) é uma camada de melhor solo executada sobre o subleito, que sirva como um reforço sobre sua superfície, de maneira que a

fundação subjacente receba pressões de melhor magnitude, compatíveis com sua resistência.

Já segundo Senço (2007) é uma camada de espessura constante, construída acima da regularização do subleito. Este reforço tem função de complemento da sub-base, tem características tecnológicas superiores à da regularização e inferior a da sub-base. Essa camada pode ou não existir, isto depende muito das características dos materiais utilizados, e cargas dos veículos dimensionadas em projetos e etc.

#### *2.1.4.4 Sub-Base*

É a camada complementar à base, quando, por circunstâncias técnicas e econômicas, não for aconselhável construir a base diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito. Segundo a regra geral — com exceção dos pavimentos de estrutura invertida — o material constituinte da sub-base deverá ter características tecnológicas superiores às do material de reforço; por sua vez, o material da base deverá ser de melhor qualidade que o material da sub-base. (Senço, 2007)

#### *2.1.4.5 Base*

É a camada destinada a resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los. Na verdade, o pavimento pode ser considerado composto de base e revestimento, sendo que a base poderá ou não ser complementada pela sub-base e pelo reforço do subleito. (Senço, 2007)

#### *2.1.4.6 Revestimento*

Também chamado de capa de rolamento ou, simplesmente, capa. É a camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do tráfego e destinada a melhorar a superfície de rolamento quanto às condições de conforto e segurança, além de resistir ao desgaste, ou seja, aumentando a durabilidade da estrutura. (Senço, 2007)

## **2.1.4 Classificação dos Pavimentos**

### *2.1.4.1 Pavimento Rígido*

Aquele em que o revestimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferior e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo típico: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento Portland. (DNIT,2006)

### *2.1.4.2 Pavimento 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 construído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregoso, revestida por uma camada asfáltica. (DNIT,2006)

### *2.1.4.3 Pavimento 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. (DNIT,2006)

## **2.2 Pavimento Flexível**

Na maioria dos países do mundo, a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento. No Brasil, cerca de 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico, além de ser também utilizado em grande parte das ruas. Há várias razões para o uso intensivo do asfalto em pavimentação, sendo as principais: proporciona forte união dos agregados, agindo como um ligante que permite flexibilidade controlável; é impermeabilizante, é durável e resistente à ação da maioria dos ácidos, dos álcalis e dos sais, podendo ser utilizado aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral, com ou sem aditivos. (Balbo, 2007)

### **2.2.1 Revestimentos Flexíveis Betuminosos**

Segundo o manual de pavimentação os revestimentos betuminosos são constituídos por associação de agregados e materiais betuminosos. Esta associação pode ser feita de duas maneiras clássicas: por penetração invertida e por penetração direta.

#### *2.2.1.1 Revestimento Betuminosos por Penetração Invertida*

Segundo DNIT 2006 são os revestimentos executados através de uma ou mais aplicações de material betuminoso, seguida(s) de idêntico número de operações de espalhamento e compressão de camadas de agregados com granulometrias apropriadas. O número de camadas tem-se intitulado, tratamento superficial simples, duplo ou triplo.

#### *2.2.1.2 Revestimentos Betuminosos por Penetração Direta*

Conforme DNIT 2006 são os revestimentos executados através do espalhamento e compactação de camadas de agregados com granulometria apropriada, sendo cada camada, após compressão, submetida a uma aplicação de material betuminoso e recebendo, ainda a última camada, uma aplicação final de agregado miúdo.

Revestimento típico, por “penetração direta” é o Macadame Betuminoso. O Macadame Betuminoso tem processo construtivo similar ao Tratamento Duplo e comporta espessuras variadas e bem maiores, em função do número de camadas e das faixas granulométricas correspondentes.

#### *2.2.1.3 Revestimento por Mistura*

O DNIT (2007) descreve que nos revestimentos betuminosos por mistura, o agregado é pré-envolvido com o material betuminoso, antes da compressão.

Quando o pré-envolvimento é feito em usinas fixas, resultam os “Pré-misturados propriamente ditos” e, quando feito na própria pista, têm-se os “Pré-misturados na Pista” .

-Pré-misturado a Frio- Quando os tipos de agregados e de ligantes utilizados permitem que o espalhamento seja feito á temperatura ambiente.

-Pré-misturado a Quente- quando o ligante e o agregado são misturados e espalhados na pista ainda quentes.

### 2.2.2 Técnicas de Revestimentos Usuais

Há diversos tipos de matérias para o revestimento Asfáltico, segui a abaixo quadro com os mais usuais que serão exemplificados nos itens subseqüentes.

**Quadro 2.1** Materiais mais comuns em pavimentação

TIPO DE MATERIAL	NOMENCLATURA	ABREVIATURA
Asfálticos	Camada porosa de atrito	CPA
	Concreto asfáltico usinado a quente	CAUQ
	Concreto betuminoso usinado a quente	CBUQ
	Concreto asfáltico usinado a frio	CAUF
	Concreto asfáltico modificado com polímeros	CAMP
	Concreto asfáltico modificado com borracha	CAMB
	Lama asfáltica	LA
	Macadame Betuminoso	MB
	Microconcreto asfáltico	MCA
	Pré-misturado a frio	PMF
	Pré-misturado a quente	PMQ
	Solo- Betume	SB
	Tratamento superficial duplo	TSD
	Tratamento superficial simples	TSS
	Tratamento superficial triplo	TST
	Pintura de ligação	LIG
	Imprimação impermeabilizante	IMP
	Tratamento Antipó	

Fonte: Balbo (2007)

#### 2.2.2.1 Concreto Betuminoso Usinado a Quente – CBUQ

Segundo Sousa (1980) Concreto Betuminoso ou Concreto-Asfáltico é a pré-mistura a quente, de graduação densa, no qual são feitas exigências rigorosas no que diz respeito a controle e especificações de equipamentos de construção, granulometria, teor de betume, estabilidade, vazios e entre outros.

Para Senço (2007) é o mais importante dos revestimentos flexíveis. É a mistura de agregado e betume devidamente dosados, no qual sua execução segue rigorosamente as especificações. A mistura é feita em usina, e seus componentes

são controlado rigorosamente, como a granulometria, teor de betume, temperatura do agregado e do betume, aplicação e compressão.

Devido ser um serviço de auto padrão de qualidade o concreto betuminoso é muito usado para execução de revestimento das auto estradas e vias expressas.

#### *2.2.2.3 Pré-Misturado a frio*

Conforme Senço (2007) é uma mistura de agregado e asfalto, ou alcatrão, no qual o agregado é utilizado sem necessidade de aquecimento, ou seja, à temperatura ambiente. É um produto de menor qualidade quando comparado ao concreto betuminoso e o usinado a quente.

Já segundo Sousa (1980) quando os tipos de agregados e de ligante são espalhados na pista à temperatura ambiente, mesmo que sejam misturados a quente, tem-se o Pré-misturado a frio.

#### *2.2.2.4 Tratamentos Superficiais*

Para Senço (2007) trata-se da aplicação de uma ou mais camadas de agregado ligadas por pinturas betuminosas. Quando a pintura correspondente a uma camada de agregado é aplicada por cima dessa camada, diz-se que o tratamento superficial é de penetração direta.

Segundo Sousa (1980) os revestimentos betuminosos por penetração direta são executados por meio do espalhamento antecipado de uma camada de brita de granulometria adequada que permita, após a compactação, a espessura desejada.

Conforme Senço (2007) quando a pintura correspondente a uma camada de agregado é aplicada por baixo dessa camada, o tratamento superficial é de penetração invertida.

Há casos de ocorrer vários tratamentos simples sobrepostos, resultando nos seguintes casos:

**Tratamento Superficial Simples:** Uma camada de agregado e uma pintura de betume;



**Tratamento Superficial Duplo:** Duas camadas de agregado e duas pinturas de betume;

**Tratamento Superficial Triplo:** Três camadas de agregado e três pinturas de betume;

**Tratamento Superficial Quádruplo:** Quatro camadas de agregado e quatro pinturas de betume;

#### *2.2.2.5 Lama Asfáltica*

Senço (2007) descreve que é uma mistura de agregado fino e asfalto diluído, derramado ainda líquido, sobre um antigo revestimento já desgastado pelo uso. Tem a função de tornar melhor as condições de rolamento e a aparência da pista de rolamento.

Já conforme Sousa (1980) a lama é uma mistura composta por emulsão de ruptura lenta, água, agregado miúdo e filler mineral, quando se obtém a consistência de fluido. É bastante utilizada como camada fina de impermeabilização e desgaste de pavimentos antigos.

### **2.3 Patologias nos Pavimentos Flexíveis**

Os materiais de construção, no decorrer do tempo de serviço, apresentam processos de danificação e de deterioração (degradação) inevitáveis que, paulatinamente, implicam a alteração de suas propriedades mecânicas, ou seja aquelas que governam seu comportamento sob ações de cargas de diversas naturezas. Portanto, as propriedades dos materiais alteram-se após a construção, piorando pouco a pouco. Tal fato se traduz nos materiais de camadas de pavimentos, sendo sua degradação motivada por cargas de veículos, produtos químicos e ações ambientais, como temperatura e umidade etc. (Tadeu, 2007)

Segundo o DNIT 005/2003 - TER os defeitos ocorrem por meio das fendas que são qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas, conforme adiante descrito.

Dentre os diversos tipos de formação das fendas, exemplificaremos as mais relevantes para a composição do processo erosivo nos pavimentos.

### **2.3.1 Fissuras**

Para o DNIT 005/2003 – TER fissuras são fendas que existem na superfície do pavimento e podem ser identificadas a olho nu, desde que, a distância seja inferior a 1,50m. Elas podem se posicionar de forma longitudinal, transversal e obliquamente ao eixo da via. Esta patologia ainda não causam problemas funcionais ao revestimento.

### **2.3.2 Trincas**

Fenda existente no revestimento, facilmente visível a vista desarmada, com abertura superior à da fissura, podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada. DNIT 005/2003 – TER

a) Trinca tipo “Couro de Jacaré”: Conjunto de trincas interligadas sem direções preferenciais, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. Essas trincas podem apresentar, ou não, erosão acentuada nas bordas.

### **2.3.3 Afundamento**

Deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação. DNIT 005/2003 – TER

Conforme Bernucci e outros (2006) afundamentos são derivados de deformações permanentes seja do revestimento asfáltico ou de suas camadas subjacentes, incluindo o subleito.

### **2.3.4 Escorregamento**

Conforme a norma DNIT 005/2003- TER escorregamento é o deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua.

### **2.3.5 Panela ou buraco**

Conforme Pacheco (2011) painelas ou buracos são cavidades, ou seja, são buracos que se formam na superfície do pavimento e podem atingir camadas inferiores do pavimento.

Cavidade que se forma no revestimento por diversas causas (inclusive por falta de aderência entre camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas), podendo alcançar as camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas. DNIT (2006).

Segundo Bernucci e outros (2006) a painela ou buraco é uma cavidade no revestimento asfáltico, podendo ou não atingir camadas subjacentes.

Dentre os diversos tipos de manifestação patológica esse é uma das mais graves, tanto do ponto de vista estrutural, quanto para ponto de vista funcional, no qual prejudica o conforto do usuário, a segurança do tráfego e aumenta os custos de transporte. Com a ação constante do intemperismo a painela possibilita o acesso da água as camadas subjacentes, dessa forma agrava a estrutura do pavimento, pois caso não ocorra a devida manutenção esse defeito primário torna-se uma cratera; defeito que indica o processo erosivo nos pavimentos asfáltico.

## **2.4 Drenagens dos Pavimentos**

Botelho (1984) descreve que a urbanização e o loteamento de uma área significam na prática, considerável retirada da parte da vegetação que protegia o solo da ação erosiva das águas pluviais. Com isso surge um novo cenário que requer tomada de cuidados e intervenção técnica, para que não ocorra:

- erosões nos terrenos;
- desbarrancamentos;
- que as altas velocidades das águas nas vias não danifiquem os pavimentos;
- evitar a criação de pontos baixos onde a água se acumulará
- evitar o assoreamento dos córregos pelo acúmulo de material erodido dos terrenos.

Todos esses fenômenos são agravados pela impermeabilização da área em maior ou menor escala.

O manual de Drenagem de Rodovias DNIT (2006) descrevi que o objetivo das técnicas de drenagem é defender o pavimento das águas que possam danificá-

lo. Estas águas, de um modo geral, são de duas procedências: infiltrações diretas das, precipitações pluviométricas e provenientes de lençóis d'água subterrâneos.

Estas águas, que atravessam os revestimentos numa taxa variando de 33 a 50 % nos pavimentos com revestimentos asfálticos e de 50 a 67 % nos pavimentos de concreto cimento, segundo pesquisa realizada, podem causar sérios danos à estrutura do pavimento, inclusive base e sub-base, se não forem adotadas de dispositivo especial para drená-las.

Entende-se por sistema de drenagem do pavimento de uma rodovia o conjunto de dispositivos, tanto de natureza superficial como de natureza subsuperficial ou profunda construídas com a finalidade de desviar a água de sua plataforma. DNIT (2006)

#### **2.4.1 Drenagem Superficial**

Segundo o DNIT ISF- 210 (2006) drenagem superficial tem o objetivo de interceptar e captar, conduzindo o deságue seguro das águas proveniente de suas áreas adjacentes e aquelas que se precipitem sobre o corpo estradal, resguardando a segurança e a estabilidade.

Segundo Massad (2003) a drenagem tem a finalidade de diminuir a infiltração de águas pluviais captando-as e escoando-as por canaletas dispostas longitudinalmente, localizadas na crisma do talude e em bermas, e transversalmente, ao longo de linhas de maior declividade do talude.

Dispositivos:

##### **2.4.1.1 Valetas de proteção de corte e aterro**

-As valetas de proteção de cortes têm como objetivo interceptar as águas que escorrem pelo terreno natural a montante impedindo-as de atingir o talude de corte. DNIT (2006)

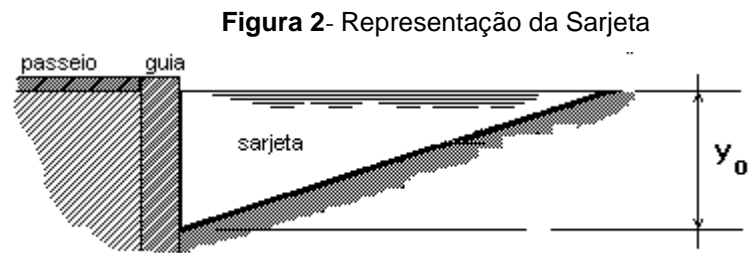
- As valetas de proteção de aterros têm como objetivo interceptar as águas que escoam pelo terreno a montante, impedindo-as de atingir o pé do talude de aterro. Além disso, têm a finalidade de receber as águas das sarjetas e valetas de corte, conduzindo-as com segurança, ao dispositivo de transposição de talwegues. DNIT (2006)

#### 2.4.1.2 Sarjetas de corte e de aterro

Segundo Botelho (1984) sarjetas são feitas de concreto simples, moldado “in loco”, ou são feitas de paralelepípedos argamassados. São usadas para fixar as guias e para formar o piso de escoamento de água.

Já conforme DNIT (2006) a sarjeta de corte tem como objetivo captar as águas que se precipitam sobre a plataforma e taludes de corte e conduzi-las, longitudinalmente à rodovia, até o ponto de transição entre o corte e o aterro, de forma a permitir a saída lateral para o terreno natural ou para a valeta de aterro, ou então, para a caixa coletora de um bueiro de greide.

A sarjeta de aterro tem como objetivo captar as águas precipitadas sobre a plataforma de modo a impedir que provoquem erosões na borda do acostamento e/ou no talude do aterro, conduzindo-as ao local de deságue seguro. DNIT (2006)



Fonte: Norma DNIT (2006)

#### 2.4.1.3 Descida d'água

As descidas d'água têm como objetivo conduzir as águas captadas por outros dispositivos de drenagem, pelos taludes de corte e aterro. DNIT (2006)

#### 2.4.1.4 Saídas d'água

As saídas d'água, nos meios rodoviários também denominados de entradas d'água, são dispositivos destinados a conduzir as águas coletadas pelas sarjetas de aterro lançados nas descidas d'água. São, portanto, dispositivos de transição entre as sarjetas de aterro e as descidas d'água.

#### 2.4.1.5 *Caixas coletoras*

As caixas coletoras têm como objetivos principais:

- Coletar as águas provenientes das sarjetas e que se destinam aos bueiros de greide;
- Coletar as águas provenientes de áreas situadas a montante de bueiros de transposição de talwegues, permitindo sua construção abaixo do terreno natural;
- Coletar as águas provenientes das descidas d'água de cortes, conduzindo-as ao dispositivo de deságue seguro;
- Permitir a inspeção dos condutos que por elas passam, com o objetivo de verificação de sua funcionalidade e eficiência;
- Possibilitar mudanças de dimensão de bueiros, de sua declividade e direção, ou ainda quando a um mesmo local concorre mais de um bueiro. DNIT (2006)

#### 2.4.1.6 *Bueiros de greide*

Os bueiros de greide são dispositivos destinados a conduzir para locais de deságue seguro as águas captadas pelas caixas coletoras. (DNIT, 2006)

#### 2.4.1.7 *Dissipadores de energia*

Dissipadores de energia, como o nome indica, são dispositivos destinados a dissipar energia do fluxo d'água, reduzindo conseqüentemente sua velocidade quer no escoamento através do dispositivo de drenagem quer no deságue para o terreno natural. (DNIT, 2006)

#### 2.4.1.8 *Corta-Rios*

Conforme o DNIT (2006) Os corta-rios são canais de desvio abertos com a finalidade de:

- Evitar que um curso d'água existente interfira com a diretriz da rodovia, obrigando a construção de sucessivas obras de transposição de talwegues.

- Afastar as águas que ao serpentear em torno da diretriz da estrada, coloquem em risco a estabilidade dos aterros.
- Melhorar a diretriz da rodovia.

#### *2.4.1.9 Drenagem de alívio de muros de arrimo*

A drenagem interna de estruturas de arrimo tem por objetivo aliviar as pressões hidrostáticas e hidrodinâmicas do lençol d'água porventura existente no maciço a ser arrimado, nas proximidades da obra de modo a diminuir o empuxo total sobre ela exercido. O efeito da água em contato com a estrutura é apreciável, chegando a dobrar o empuxo calculado para o solo sem água livre.

#### **2.4.2 Drenagem subterrânea ou profunda.**

Ainda conforme o DNIT ISF- 210 drenagem profunda tem como finalidade interceptar e rebaixar o lençol d'água subterrâneo para impedir a deterioração progressiva dos suportes das camadas dos terraplenos.

Conforme Massad (2003) a ideia de abaixar o nível freático, reduz as pressões neutras e, conseqüentemente, aumenta a estabilidade da estrutura do pavimento.

Há sempre a necessidade indiscutível de manter-se o lençol freático a profundidades de 1.50 a 2.00 metros do subleito das rodovias, dependendo do tipo de solo da área considerada. DNIT (2006)

Dispositivos:

##### *2.4.2.1 Drenos profundos longitudinais*

Os drenos profundos têm por objetivo principal interceptar o fluxo da água subterrânea através do rebaixamento do lençol freático, impedindo-o de atingir o subleito.

##### *2.4.2.2 Drenos em espinhas de peixe*

São drenos destinados à drenagem de grandes áreas, pavimentadas ou não, normalmente usados em série, em sentido oblíquo em relação ao eixo longitudinal da rodovia, ou área a drenar.

### 2.4.2.3 Colchão drenante

Segundo DNIT (2006) a camadas drenante tem a finalidade de escoar as águas, situadas a pequena profundidade do corpo estradal, em que o volume não possa ser drenada pelos dreno "espinha de peixe".

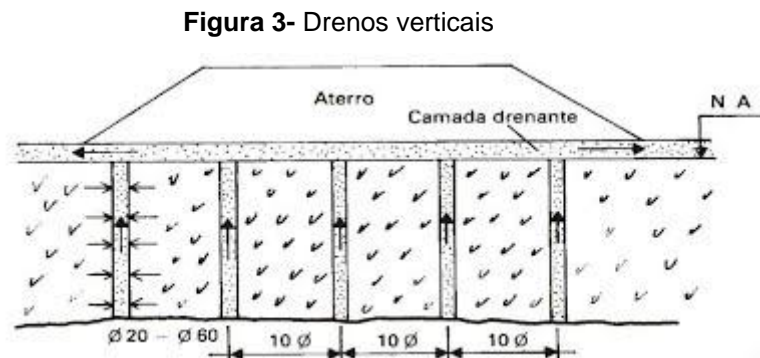
### 2.4.2.4 Valetões laterais

Existem casos em que se recomendam os valetões laterais formados a partir do bordo do acostamento, sendo este valetão constituído, de um lado, pelo acostamento e do outro pelo próprio talude do corte, processo este designado por falso-aterro.

Não obstante a economia obtida no sistema de drenagem a estrada ficará sem acostamento confiável na época das chuvas e nos tempos secos terá um acostamento perigoso, face à rampa necessária, a não ser que haja alargamentos substanciais, o que equivale dizer que os valetões laterais vão funcionar independentemente da plataforma da rodovia.

### 2.4.2.5 Drenos verticais

Segundo o Manual de Drenagem de Rodovias, DNIT (2006) dreno vertical é uma alternativa de dispositivos executados quando o aterro está sobre um solo mole.



**Fonte:** <https://www.google.com.br/search?q=drenos+verticais&oq=drenos+vertica&aqs=chrome.1.69i57j0l5.10153j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8> - acesso em 10/06/2016



## 2.5 Origem da água nos Pavimentos Asfálticos

A água é o maior inimigo dos pavimentos estáveis e duráveis. ( Cedergrem, 1973) apud (Pereira, 2003).

São as águas livres as responsáveis pela degradação da estrutura do pavimento, relacionadas á variação do teor de umidade. ( Moulton, 1990) apud (Pereira,2003).

### 2.5.1 Infiltração

A infiltração da água na estrutura do pavimento pode ocorrer através de dois locais distintos: pela superfície ou pelas bordas e acostamentos.(Pereira, 2003)

Segundo a FHWA (Moulton, 1980) as precipitações são a maior fonte de água que penetram na estrutura dos pavimentos, podendo ocasionar infiltrações tanto pela superfície quanto pelas bordas da estrutura do pavimento. Apud (Azevedo, 2007)

**Figura 4-** Representação da Infiltração no Pavimento Asfáltico



**Fonte:** <http://www.comunitexto.com.br/diferencas-entre-pavimentos-e-sfaltos/#.VUdSCI66fIU> - acesso em 04 de Maio de 2015.

## 2.6 Estudo do Solo

Todas as obras de Engenharia Civil se assentam sobre o terreno e inevitavelmente requerem que o comportamento do solo seja devidamente considerado. (Pinto, 2000)

Caputo (1988) ressalta que o requisito prévio para o projeto de qualquer obra, é o conhecimento da formação geológica local, estudo das rochas, solos, minerais que o compõem, bem como a influência da presença da água ou sob a superfície da crosta.

Vargas (1978) em sua obra literária inicialmente descreve sobre a essencialidade do Solo; na Engenharia Civil, como a grande maioria de suas obras apoiam-se sobre ou no interior da crosta terrestre, logo a estabilidade do maciço de solo influencia diretamente nas construções.

Ainda segundo Caputo (1988) o estudo da geologia é de fato, indispensável, para se alcançar a “boa engenharia”, aquela que garante a necessária condição de segurança e, também, de economia.

### **2.6.1 Definição de Solo**

Conforme Vargas (1978) solo pode ser definido como todo material da crosta terrestre que não oferece resistência intransponível á escavação mecânica e que perde totalmente toda resistência, quando em contato prolongado com a água.

### **2.6.2 Origem dos Solos**

Os solos são materiais que resultam do intemperismo ou meteorização das rochas, por desintegração mecânica ou decomposição química. (Caputo, 1988)

Todo solo tem sua origem imediata ou remota na decomposição das rochas pela ação dos intempéries. (Vargas, 1978)

### **2.6.3 Elementos Constituintes dos Solos**

O solo é um material constituído por um conjunto de partículas sólidas, deixando entre si vazios que poderão estar parcial ou totalmente preenchidos pela água. (Caputo, 1988)

Segundo Vargas (1978) os solos são sistemas de três fases: ar, água e sólidos.

Num solo, só parte do volume total é ocupado pelas partículas sólidas, que se acomodam formando uma estrutura. O volume restante costuma ser chamado de vazios, embora esteja ocupado por água ou ar. (Pinto, 2000)

### 2.6.3.1 Índices físicos entre as três fases

Segundo Pinto (2000) o comportamento de um solo depende da quantidade relativa de cada uma das três fases (sólidos, água e ar). Para identificar o estado do solo, empregam-se índices que correlacionam os pesos e os volumes das três fases. Estes índices são a seguir:

- **Umidade:**

Segundo Caputo (1988) é a razão entre o peso da água contida num certo volume de solo e o peso da parte sólida existente neste volume.

Conforme Pinto (2000) é a relação entre o peso da água e o peso do sólido. Para sua determinação, pesa-se o solo no seu estado natural, seca-se em estufa a 105°C até constância de peso e pesa-se novamente. Tendo-se o peso das duas fases, a umidade é calculada.

- **Índice de Vazios:**

Relação entre o volume de vazios e o volume das partículas sólidas. É expresso pela letra  $e$ . Não pode ser determinado diretamente, mas é calculado a partir dos outros índices. (Pinto, 2000)

- **Porosidade:**

Relação entre o volume de vazios e o volume total. Indica a mesma coisa que o índice de vazios. É expresso pela letra  $n$ . (Pinto, 2000)

- **Grau de Saturação:**

Relação entre o volume de água e o volume de vazios. Expresso pela letra  $s$ . Varia de zero (solo seco) a 100% (Solo saturado). (Pinto, 2000)

Segundo Caputo (1988) é a porcentagem de água contida nos vazios do solo. Obtida por meio da expressão:  $S\% = V_a/V_v \times 100$ ; Sendo  $V_a$ , volume de água e  $V_v$ , volume de vazios.

### 2.6.3.2 Caracterização física do Solo

De acordo com Vargas (1978) o êxito de uma obra, exige o conhecimento da totalidade das propriedades físicas dos solos, tais como: sua granulometria – ou textura, sua plasticidade, fração de finos, propriedades relacionadas com a maior ou menor compactidade, consistência e com sua estrutura.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) regulamenta ensaios de caracterização física do solo. Os ensaios são realizados em laboratórios tendo como manual as normas citadas a seguir:

NBR 6457/1986 – Teor de Umidade Natural;

NBR 7181/1986 – Solo – Análise Granulométrica;

NBR 6508/1984 – Massa Específica Real dos Grãos;

NBR 6459/1984 – Solo - Determinação do Limite de Liquidez;

NBR 7180/1984 – Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.

Portanto, a granulometria, o limite de liquidez e o índice de plasticidade (ou o limite de plasticidade) são as “propriedades índices”, capazes de identificar qualquer solo quanto ao seu comportamento como material de construção. Evidentemente, suas propriedades tecnológicas irão depender ainda do estado em que tais materiais se encontram na natureza, isto é em estado mais fofo ou mais compactado, ou mais mole ou mais duro, se verá adiante. (Vargas, 1978)

### 2.6.4 Propriedades do Solo

#### 2.6.4.1 Coesão

A resistência ao cisalhamento dos solos é essencialmente devida ao atrito entre as partículas. Entretanto, a atração química entre estas partículas pode provocar uma resistência independente da tensão normal atuante no plano e que constitui uma coesão real, como se uma cola tivesse sido aplicada entre dois corpos. (Pinto, 2000)

Conforme Vargas (1978) coesão é aquela resistência que a fração argilosa empresta ao solo, pela qual ele se torna capaz de se manter coeso, em forma de torrões ou blocos. Os solos que têm essa propriedade chamam-se coesivos; os

solos não coesivos, que são areias puras e pedregulhos, esboroam-se facilmente ao serem cortados ou escavados.

Segundo Caputo (1988) há “coesão aparente” e “coesão verdadeira”. A primeira, resultante da pressão capilar da água contida nos solos, e que age como se fosse uma pressão externa. A segunda é devida às forças eletroquímicas de atração das partículas de argila.

De acordo com Pinto (2000) a coesão real deve ser bem diferenciada da coesão aparente. Esta é uma parcela da resistência ao cisalhamento de solos úmidos, não saturados, devida à tensão entre partículas resultante da pressão capilar da água. A coesão aparente desaparece quando o solo é saturado, devido ser um fenômeno de atrito, condicionado pela tensão normal da pressão Capilar.

#### *2.6.4.2 Permeabilidade*

Segundo Caputo (1988) permeabilidade é a propriedade que o solo apresenta de permitir o escoamento da água através dele. O conhecimento da permeabilidade é essencial para engenharia, pois estar relacionada à drenagem, rebaixamento de nível d'água, recalques, erosão, etc.

#### *2.6.4.3 Compressibilidade*

Segundo Caputo (1988) compressibilidade é a propriedade que o solo apresenta em diminuir seu volume sob a ação das cargas aplicadas. Essa particularidade é a principal causa do recalque.

#### *2.6.4.4 Plasticidade*

A plasticidade é normalmente definida como uma propriedade dos solos, que consiste na maior ou menor capacidade de serem eles moldados, sob certas condições de umidade, sem variações de volume. Trata-se de uma das mais importantes propriedades das argilas. (Caputo, 1988)

### **2.6.5 Tensão do Solo**

Conceitos fundamentais - Os esforços que solicitam um maciço – provenientes do seu peso próprio, da carga de uma estrutura ou ação de um veículo – produzem tensões na totalidade dos seus pontos (ou de suas partículas). (Caputo, 1988)

Segundo Pinto (2000) tensões estão ligadas ao tipo de mineral e formato dos grãos do solo. Considerando minerais granulares como silte e areia que possuem as três dimensões ortogonais semelhantes, a transmissão das forças é de partícula a partícula. No caso da argila cujo formato laminar, as forças são transmitidas com auxílio da água quimicamente absorvida.

Conforme Caputo (1988) as tensões provocam alterações nas posições em cada ponto. As tensões normais ocasionam uma compressão das camadas, sendo assim responsáveis pelos recalques. No entanto as tensões de cisalhamento produzem o escoamento plástico, podendo levar a ruptura do maciço, essas tensões são combatidas pela resistência ao cisalhamento do solo.

### **2.6.6 Resistência ao Cisalhamento do Solo**

Para Pinto (2000) a tensão de cisalhamento de um solo é definida como a tensão máxima que um solo pode suportar sem ocorrer ruptura. A ruptura dos solos é quase sempre provocada por um fenômeno de cisalhamento, isto acontece quando a tensão admissível resistente é ultrapassada.

A propriedade dos solos em suportar cargas e conservar sua estabilidade, depende da resistência ao cisalhamento do solo; toda massa de solo se rompe quando esta resistência é excedida. (Caputo, 1988)

Conforme Caputo (1988) a caracterização da resistência ao cisalhamento do solo é o marco inicial para a execução de diversas obras da engenharia; pois é o fundamento para solucionar problemáticas tais como estabilidade de talude( aterros, cortes e barragens), empuxo de terra sobre paredes de contenção de túneis, capacidade de carga de sapatas e estacas; a correta determinação da resistência ao cisalhamento dos solos é essencial. Calcula-se pela seguinte fórmula.

Equação 1

$$S = c + \sigma_n \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

Onde:

**S**= resistência ao cisalhamento do solo

**c**= coesão

**$\sigma_n$**  = tensão

**$\varphi$** = ângulo de atrito das partículas do solo.

#### 2.6.6.1 Ensaio de Cisalhamento

A resistência ao cisalhamento de um solo é, usualmente, determinada no laboratório por um dos seguintes ensaios: cisalhamento direto, cisalhamento triaxial, compressão Simples. (Caputo, 1988)

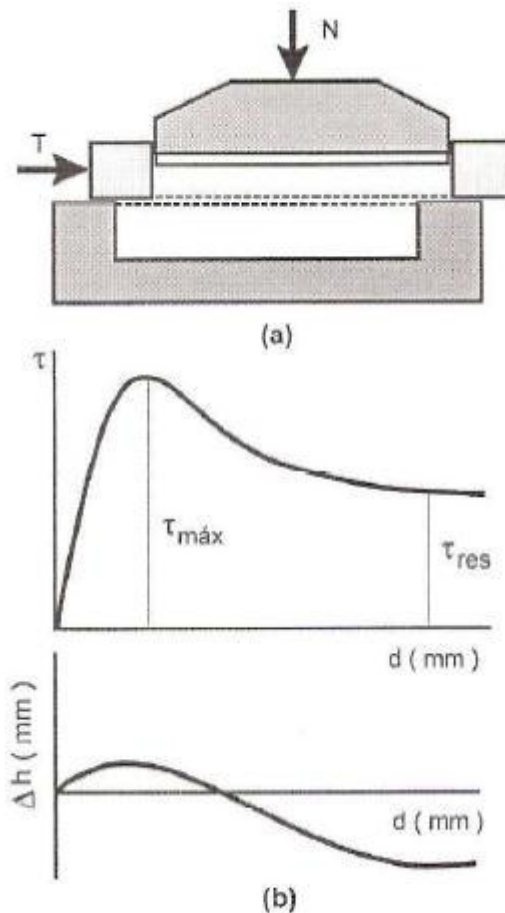
São usados, para a determinação experimental da resistência ao cisalhamento dos solos, dois ensaios: o de cisalhamento direto e o de compressão triaxial. (Vargas, 1978)

- **Ensaio de Cisalhamento Direto:**

Consiste em determinar sob uma tensão normal, qual a tensão de cisalhamento capaz de provocar a ruptura de uma amostra de solo colocada dentro de uma caixa composta de duas partes deslocáveis entre si.

**Figura 5-** Ensaio de Cisalhamento Direto

- (a) Esquema do equipamento;  
 (b) Apresentação dos resultados do ensaio



Fonte: Pinto (2000)

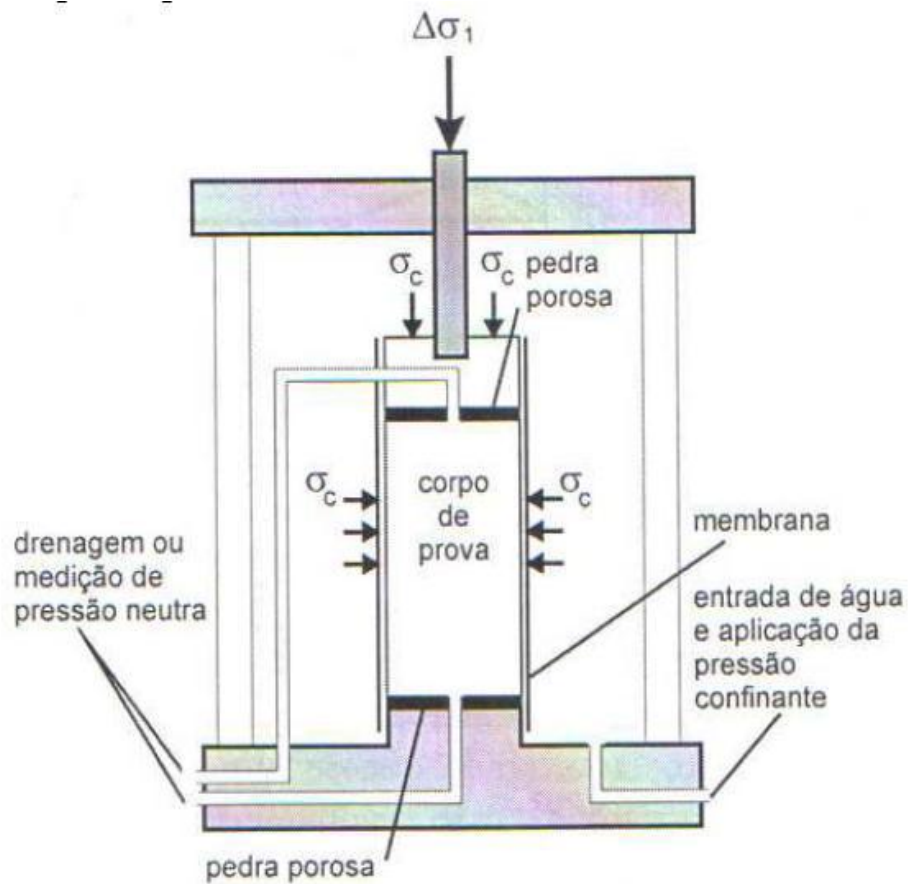
- **Ensaio de Cisalhamento Triaxial:**

Segundo Pinto (2000) o ensaio de compressão triaxial convencional consiste na aplicação de um estado hidrostático de tensões e de um carregamento axial sobre um corpo de prova cilíndrico ova do solo. Para isto, o corpo de prova é colocado dentro de uma câmara de ensaio, cujo esquema é mostrado na figura a baixo, é envolto por uma membrana de borracha. A câmara é cheia de água, a qual se aplica uma pressão, que é chamada pressão confinante ou pressão de confinamento do ensaio. A pressão confinante exercida pela água atua em todas as direções, mantendo o corpo de prova num estado hidrostático de tensões.



**Figura 6-** Ensaio de Cisalhamento triaxial.

Corpo de prova dentro de uma câmara de ensaio, submetido às tensões de confinamento axial.



Fonte: Pinto (2000).

### 2.6.7 Sondagem do Solo

Segundo Pinto (2000) sondagem é método mais comum de reconhecimento do subsolo, faz-se a Sondagem de Simples Reconhecimento, para identificar a tipologia do solo; a NBR-6484 normaliza esse procedimento.

A execução de sondagens, que é a técnica mais comumente empregada, consiste de um modo geral, na abertura de um furo no solo, furo este que é normalmente revestido por tubos metálicos. A perfuração como veremos adiante, é feita por meio de ferramentas ou de máquinas que vão provocando a desagregação parcial, ou total, do terreno, permitindo, desse modo, a extração de amostras representativas as diferentes camadas atravessadas. (Caputo, 1988)

### **2.6.8 Ruptura Hidráulica**

Chama-se de ruptura hidráulica a perda de resistência e estabilidade do solo, e conseqüentemente, a danificação da estrutura constituída por ele ou sobre ele fundada, por efeito das pressões de percolação d'água. (Vargas, 1978)

Vargas (1978) define dois tipos de ruptura hidráulica; o primeiro tipo dá-se o nome de levantamento ou "levitação", fenômeno que ocorre quando "o solo perde total ou parcialmente a sua resistência em virtude de perda de peso, devido às pressões de um fluxo d'água ascendente". O outro tipo é quando há erosão, processo em que é arrastado os grãos do solo pelas forças de percolação. "Essa erosão é interna, porém, seu mecanismo não difere muito da erosão provocada pela chuva."

Parafraseando Azevedo (2007) a infiltração superficial causa efeitos deletérios aos pavimentos, resultado da exposição continua a umidade, tendo como principais conseqüências a perda da rigidez das camadas de fundação com a saturação e a degradação da qualidade dos materiais, culminando na ruptura dos pavimentos asfáltico.

#### *2.6.8.1 Erosão Superficial*

A erosão superficial é o resultado do arranchamento e arrastamento de grãos ou torrões de solo pela pressão trativa de uma lâmina d'água.

#### *2.6.8.2 Erosão Subterrânea*

Segundo Vargas (1978) erosão subterrânea é quando há um afloramento d'água, a mesma percorre o maciço de solo no sentido ascendente e caso haja estrutura construídas sobre si, prejudica sua estabilização.

### **3. METODOLOGIA**

O estudo apresentado tem o propósito exploratório de caráter qualitativo, de acordo com a classificação de Gil (1991) sendo desenvolvido por meio de estudo bibliográfico assim como visitas técnicas a TO- 020, para realizar exemplificações dos aspectos relacionados ao processo erosivo, partindo da identificação das manifestações patológicas e estado de conservação dos dispositivos de drenagem superficial.

#### **3.1 Apresentação do Objeto de Estudo**

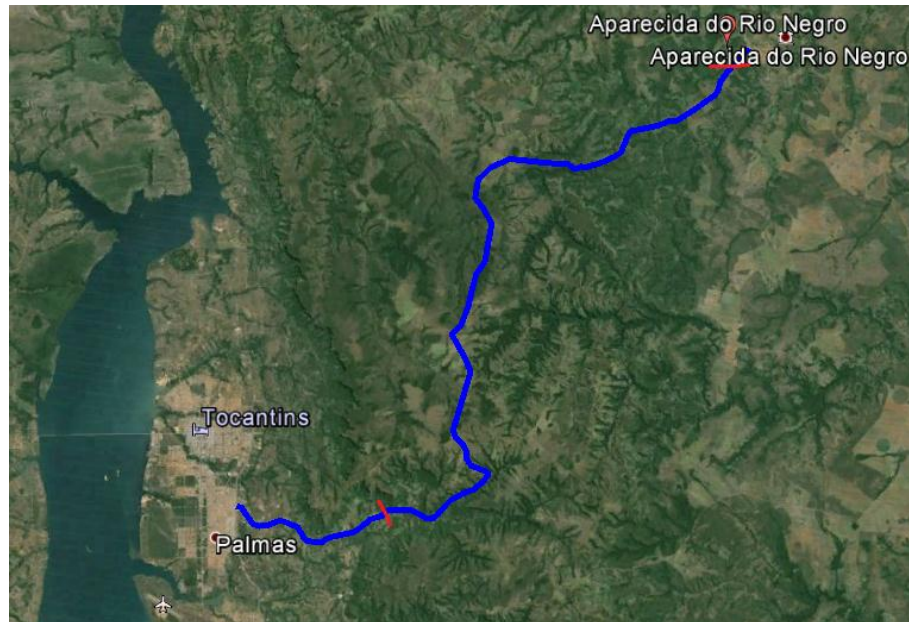
##### ***3.1.1 Pesquisa bibliográfica***

O estudo foi realizado em fontes físicas e eletrônicas. Obtendo-se informações embasadas em livros, dissertação de mestrado, páginas na internet e manuais pertinentes, apresentando os conceitos, variáveis e agentes envolvidos direto ou indiretamente na tese abordada, contribuindo com discussões dos resultados.

##### ***3.1.2 Visita Técnica a TO 020***

Realizou-se no dia 12 de março, com duração de quatro horas o estudo das manifestações patológicas e verificações do estado de conservação de sistema de drenagem na TO- 020, trecho localizado entre a cidade de Palmas e Aparecida do Rio Negro, totalizando em 63 km de extensão.

**Figura 7-** Trecho entre Palmas e Aparecida do Rio Negro



Fonte: Google Earth, 2015.

### 3.1.2.1 Manifestações Patológicas

Registrou-se *in loco* as patologias existentes no trecho por meio de relatório fotográfico. Com o conhecimento adquirido no decorrer do curso e desse trabalho, embasado nas normas DNIT 008/2003 – Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento e DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos foi possível identificar as inconformidades que há na TO-020.

### 3.1.2.2 Conservação das Obras de Drenagem

Realizou-se, os registros e observações do estado de conservação dos elementos de drenagem na TO-020 a partir do km 10, percorremos os 53 km restantes, registrando o estado de conservação dos dispositivos de drenagem existente, tais como: valetas de proteção de aterro, sarjeta e descidas d'água. Segundo o Manual de Drenagem - DNIT o objetivo da drenagem superficial é proteger o pavimento da ação nociva das águas de chuva, dessa forma é imprescindível que esses elementos estejam em perfeito estado de operação, caso contrário afetará diretamente a durabilidade do pavimento asfáltico.

### ***3.1.3 Metodologias de controle de processos erosivos em rodovias***

Cabe à engenharia desenvolver soluções técnicas para as problemáticas de infraestrutura. O estudo apresenta sugestões com o uso de geossintéticos para evitar o processo erosivo no pavimento flexível. Propomos também a utilização de mecanismos existentes que controlam a erosões nos taludes; nesse aspecto estudamos tratamento com técnicas sustentáveis fixadas na Norma DNIT 074/2006-ES- Tratamento ambiental de taludes e encostas por intermédio de dispositivos de controle de processo erosivo- Especificação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Estudo das manifestações patológicas ao longo da TO – 020

A verificação das manifestações patológicas na TO-020 foi realizada no dia 12 de março de 2016.

#### 4.1.1 Característica do trecho

A TO-020 se localiza em uma região agrícola, cultiva-se soja nas áreas adjacente a rodovia, sendo por ela realizado o escoamento dos grãos. Os defeitos nos pavimentos asfálticos são causados por diversos fatores, tais como: intempéries (chuva, vento, mudança de temperatura), ineficiência das obras de drenagem e solicitação do tráfego.

Destacamos na figura 8 transporte pesados transitando em pavimento defeituoso; o tipo de veículo é o condicionante principal para o cálculo estrutural do pavimento, logo essas manifestações patológicas possivelmente não foram ocasionadas pela trafegabilidade dos caminhões, no entanto contribui com o agravamento dos mesmos.

**Figura 8-** Transporte de carga transitando em pavimento defeituoso



**Fonte:** Autor, 2016.

#### 4.1.2 Manifestações patológicas em Talude

Um dos objetos de estudo desse trabalho é identificar as manifestações patológicas em taludes, causadas pelo processo erosivo em rodovias, a propósito ilustra-se na figura 9 erosão em talude de corte, localizado no trecho da visita *in loco*. Podemos realizar nos itens a, b c e d as seguintes observações:

- a) **Erosão:** o impacto das gotas de chuvas na superfície do solo faz com que este se desagregue, tornando-se livre possibilitando a remoção do maciço de solo pela ação de agentes erosivos como a água e o vento.
- b) **Ausência de vegetação:** um dos fatores a ser considerado na conservação da estrutura do talude é a cobertura vegetal (capim, grama), a ausência do mesmo torna-o vulnerável ao escoamento superficial, contribuído com a sua desestabilização, uma vez que a ausência da cobertura vegetal aumenta a velocidade do fluído e a dissipação das partículas de solo.
- c) **Crescimento de vegetação:** a vegetação cresce ao pé do talude, devido ao acúmulo de solo.
- d) **Acúmulo de solo no acostamento:** trecho do acostamento revestido de lama devido à falta de obra de drenagem causando o acúmulo de sedimento.

Figura 9-Erosão em Talude de Corte



Fonte: Autor, 2016.

### 4.1.3 Afundamento

A NORMA DNIT 005/2003- TER define dois tipos de afundamento: de consolidação e plástico. A figura 10 mostra afundamento de consolidação por não apresentar fluência plástica e sollevamento, ou seja, a elevação forçada das bordas das trilhas de rodas.

**Figura 10-** Afundamento de Consolidação de trilhas de rodas



**Fonte:** Autor, 2016.

É recorrente o aparecimento de afundamento de consolidação na maior parte dos trechos percorrido. Essa depressão da superfície é gerada pelo tráfego de transporte de carga, o que resulta na deformação do revestimento betuminoso e das camadas estruturais subjacentes.

### 4.1.4 Trincas

As trincas no revestimento asfáltico são patologias oriundas por deformação excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga, classificadas em:

- Trincas Isoladas – Transversais ou Longitudinais.
- Trincas interligadas- conhecidas como “jacaré”.

Nas figuras 11 e 12 temos patologias associadas, no entanto queremos expor as trincas existentes.



**Figura 11-** Desgaste, afundamento e trincas.



**Fonte:** Autor, 2016.

- a) afundamento
- b) desgaste
- c) trincas, expostas melhor na figura 12.

**Figura 12-** Desgaste e trincas



**Fonte:** Autor, 2016.

As trincas podem ser consideradas como o princípio desencadeador do processo erosivo; são causadas devido à variação de temperatura, precipitações e ineficiência do sistema de drenagem, ocasionando a oxidação do ligante asfáltico da camada do revestimento da rodovia.

#### 4.1.5 Desgaste

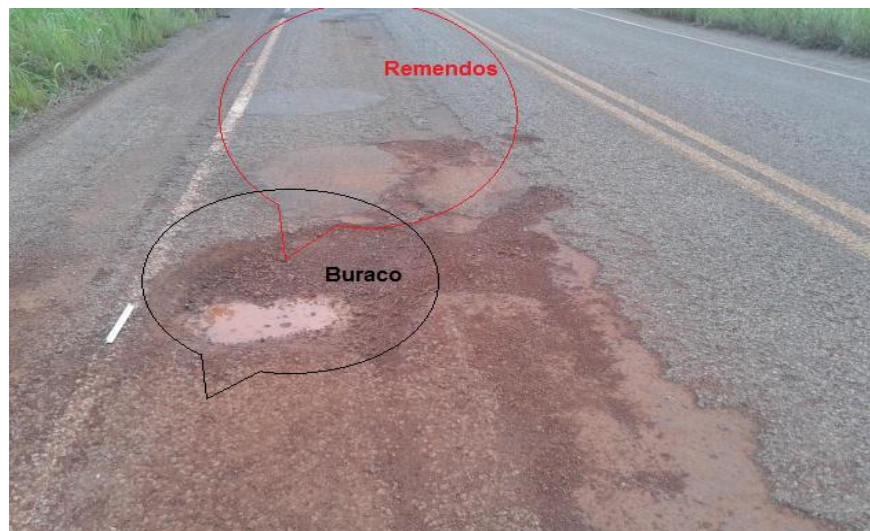
As figuras 13 e 14 apresentam outros defeitos (buraco e trinca), porém é usada para referenciar o desgaste superficial. Sabe-se que o processo erosivo advém da progressão dos defeitos: fissuras, afundamento, desgaste e buraco; a imagem 14 ilustra bem esse processo. Devido à desagregação do revestimento a camada de base fica desprotegida, com o aumento dos índices de precipitação terá a perda de solo, possivelmente resultando em erosões, caso não haja manutenções corretivas.

**Figura 13-**Patologias associadas



**Fonte:** Autor, 2016.

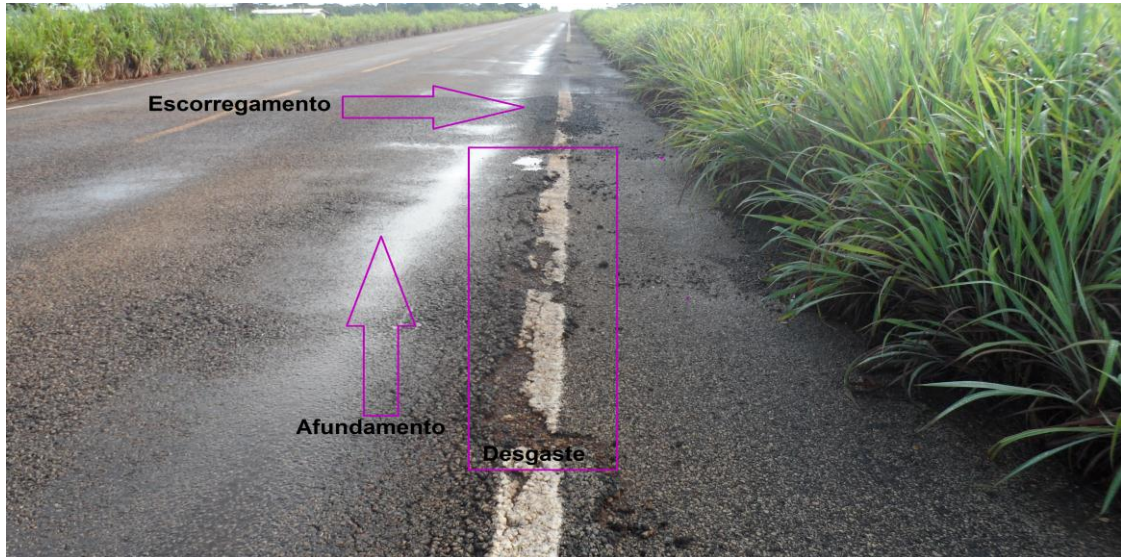
**Figura 14-** Desgaste



**Fonte:** Autor, 2016.

Para que o pavimento desempenhe eficientemente sua finalidade de resistir aos esforços verticais oriundos dos veículos, tornando durável a superfície de rolamento, deve ser estanque; pois a água livre em seu interior ocasionará danos nocivos à estrutura do pavimento.

**Figura 15-** Aglomeração de Patologias



Fonte: Autor, 2016.

Podemos observar a porosidade no revestimento o que facilita a infiltração das águas da chuva, gerando as manifestações patológicas identificadas na figura 15. A capa de rolamento toda trincada e porosa possibilita que a água se infiltre, carreando finos do solo que compõem a base do leito. Forma-se uma cavidade entre o revestimento e a base, com a continuidade da passagem dos veículos, origina-se as panelas, patologia descrita no item 4.1.6 abaixo.

#### **4.1.6 Buraco/Panela**

Os buracos ou panelas são cavidades formadas no revestimento e podem alcançar as demais camadas. Constatou-se que na maior parte dos trechos não há dispositivos de drenagem superficial e são nesses pontos, assim como em desnível de greide (demonstrado nas figuras 18 e 19) onde se concentra os buracos.

A superfície do pavimento deve ser plana e ligeiramente abaulada, ou seja, inclinada para que a água da chuva escoe rapidamente sem formar poças. Nota-se nas figuras 16 e 17 os efeitos novíços, devido falhas executivas, agravadas pela tráfegabilidade dos caminhões e ausência de drenagem superficial.

**Figura 16-** Processo erosivo

Fonte: Autor, 2016.

Podemos notar a ausência dos componentes de drenagem tais como, sarjeta e meio feio após acostamento e o desnível desfavorável no leito carroçável. A comparação entre as figuras 16 e 17 mostra a evolução do processo erosivo no pavimento asfáltico.

**Figura 17-** Erosão superficial em acostamento

Fonte: Autor, 2016.

As figuras 18 e 19 demonstra o que descrevemos anteriormente, referente à concentração de patologias em locais de acúmulo das águas superficiais nas partes de terreno mais baixa do perfil da rodovia.

**Figura 18-** Ponto de concentração de defeitos



**Fonte:** Autor, 2016.

**Figura 19-** Aproximação do ponto de concentração dos defeitos da figura 18



**Fonte:** Autor, 2016.

**Figura 20-** Painha isolada no pavimento



**Fonte:** Autor, 2016.

Os buracos presentes em diversos trechos da TO-020 comprometem o pavimento e conseqüentemente a segurança da trafegabilidade como mostra na figura 21,22 e 23.

**Figura 21-** Painhas



**Fonte:** Autor, 2016.

No km 30 da TO-020 há concentração de painhas como mostra à imagem 21.

Apresentamos em diversas figuras a mesma patologia, no entanto em locais distintos da TO-020, no intuito de transmitir a real situação estrutural da rodovia de estudo.

**Figura 22-** Buracos e desgaste



**Fonte:** Autor, 2016.

**Figura 23-** Trecho desgastado com buracos e remendos



**Fonte:** Autor, 2016.

#### 4.1.7 Remendos

Dentre as etapas que segue o procedimento padrão na operação “tapa buracos”, destacam-se os seguintes critérios:

- a) Delimitar a área a ser cortada;
- b) Recortar o local demarcado com cantos a 90°;
- c) Remover o revestimento que foi recortado juntamente com o resíduo de solos da base caso esteja danificado, seguindo com cantos a 90°;

Verificou-se que os remendos encontrados no trecho, não seguem os critérios citados a cima, o que implica na baixa resistência, conseqüentemente gera-se novos buracos, como podemos mostrar nas figuras a baixo:

**Figura 24-** Buraco entre remendos



**Fonte:** Autor, 2016.



**Figura 25-** Revestimento poroso com remendos



**Fonte:** Autor, 2016.

A figura 26 ilustra a aparência correta que os remendos devem apresentar na superfície, ou seja, forma geométrica retangular, pois os cantos retos aumenta a aderência do material, evitando que o mesmo desagregue-se.

**Figura 26-** Forma da superfície seguindo os critérios da operação tapa buraco.



**Fonte:** <http://www.midiamax.com.br/noticias/video-em-meio-promessa-fim-contrato-leitor-flagra-mais-buracos-fantasma> - acessado dia 20 de março de 2016.

## 4.2 Verificação do Sistema de Drenagem Superficial na TO - 020

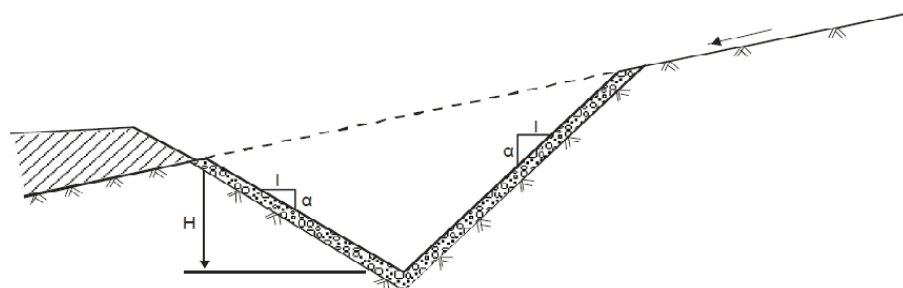
Embasado em dados extraídos do Manual de Drenagem de Rodovias - DNIT são descritos a seguir as considerações referente aos dispositivos de drenagem superficial :

- ✓ Valetas de proteção de corte,
- ✓ Valetas de proteção de aterros,
- ✓ Sarjetas de canteiro central,
- ✓ Descidas d'água,
- ✓ Saída d'água,
- ✓ Bueiros de greide,
- ✓ Dissipação de energia.

### 4.2.1 Valeta de proteção de corte

As valetas de proteção de corte são construídas paralelamente à crista do talude. Segundo critério de projeto podem ter seções trapezoidais, retangulares ou triangulares. A seção triangular é exemplificada na figura 29, a mesma não é indicada para grandes vazões, pois criam um plano preferencial ao escoamento da água, favorecendo a erosão do solo, as trapezoidais apresentam maior eficiência hidráulica. As valetas são usadas para interceptar as águas que escorrem pelo terreno natural a montante do talude, evitando que infiltre e sature o solo desencadeando escorregamento de massa ou a ruptura do mesmo, gerando danos à rodovia e/ou acidentes.

**Figura 27-** Valeta de proteção de corte



Fonte: Norma DNIT (2006)

Como mencionamos anteriormente a TO de estudo apresenta erosão em talude de corte, ilustrada também nas figuras 28 e 29. Nota-se a ausência de dispositivos de drenagem no topo do talude, evidenciando a importância da construção da valeta de proteção de corte conforme finalidade citada à cima.

**Figura 28-** Talude de Corte



**Fonte:** Autor, 2016.

**Figura 29-** Aproximação da erosão no talude de corte

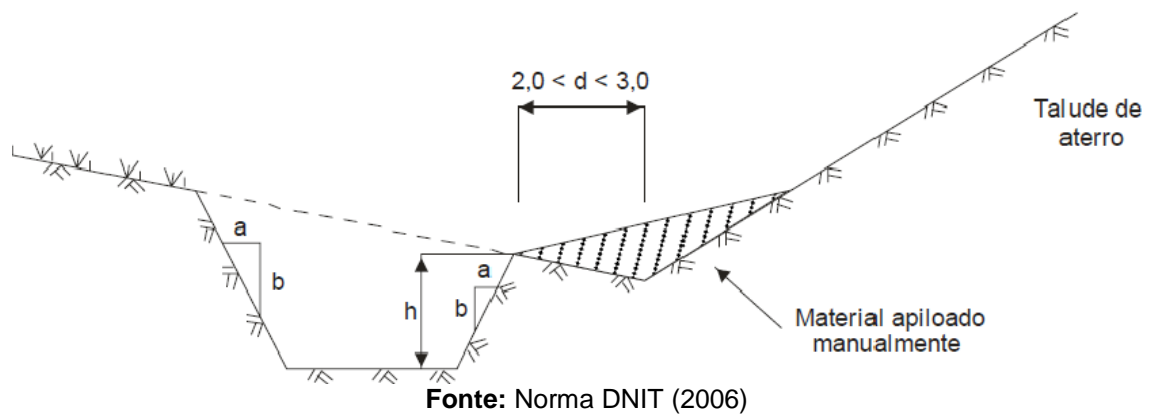


**Fonte:** Autor, 2016.

#### 4.2.2 Valeta de proteção de aterro

As valetas de proteção de aterro são construídas no pé do talude interceptando as águas que escoam nas partes superiores dos aterros e sarjetas produzindo desague seguro, resguardando sua segurança e estabilidade. As valetas de proteção de aterro também podem apresentar forma geométrica triangular, trapezoidal e retangular. A figura 30 ilustra valeta de proteção de aterro em seção trapezoidal.

**Figura 30**-Valeta de proteção de aterro



**Figura 31**-Valeta de proteção de aterros



A velocidade de escoamento é um dos fatores a ser considerado na resistência do material do revestimento da valeta. Observa-se na figura 31 o escorregamento de material e desgaste do dispositivo. Como pode ser visto na figura 30 ao pé do talude deposita-se o material proveniente da escavação, denominado material apilado manualmente, podemos constatar a sua ausência na valeta de corte da TO-020 o que propicia o impacto do escoamento.

**Figura 32-** Estado de conservação de valeta



**Fonte:** Autor, 2016.

Na localidade da figura 33 podemos observar ausência de canaleta de proteção de aterro.

**Figura 33-** Pé de Talude

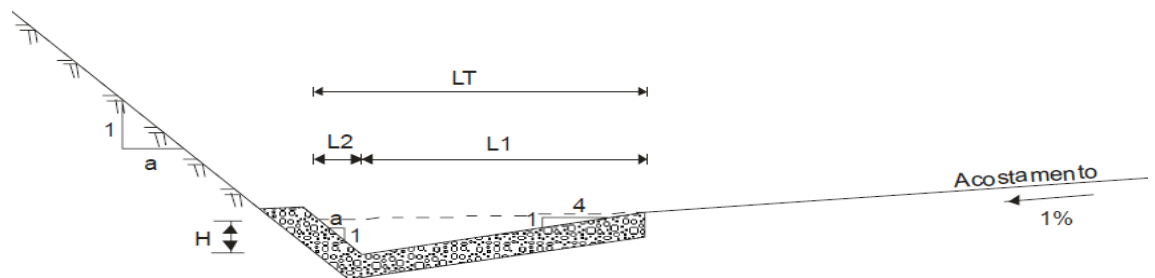


**Fonte:** Autor, 2016.

### 4.2.3 Sarjetas de Corte

Sarjetas de corte são construídas a margem dos acostamentos terminando em pontos de saída de água, com a finalidade de captar e conduzir as águas das plataformas e taludes de corte. Segue na figura 34 ilustração de sarjeta de corte conforme Manual de Drenagem - DNIT.

**Figura 34-** Sarjeta de Corte



**Fonte:** Norma DNIT (2006)

Muitas são as rodovias que apresentam defeitos sejam gerados pelo tráfego intenso ou intemperismo. A eficiência do sistema de drenagem superficial e profundo é imprescindível para a vida útil do pavimento. Podemos observar nas figuras 35 e 36 o estado de conservação da sarjeta de corte na TO-020.

**Figura 35-** Sarjeta de Corte



**Fonte:** Autor, 2016.

Podemos verificar a deterioração da sarjeta e a umidade constante do local, conforme a figura 35 observa-se na vegetação próxima ao talude a presença de palmeira característica de áreas úmidas (Buriti).

**Figura 36-**Aproximação do estado de conservação da sarjeta de corte



**Fonte:** Autor, 2016.

O ponto mais crítico encontrado na TO-020 é o da erosão no talude de corte, pois aborda todos os cenários do contexto do processo erosivo, por esse motivo é citado em várias vezes nesse trabalho, na figura 37, por exemplo, podemos notar ausência de sarjeta e demais elemento de drenagem.

**Figura 37-** Ausência de sarjeta e presença de lama no acostamento



**Fonte:** Autor, 2016.

#### 4.2.4 Descidas de água

As descidas d'águas têm como objetivo conduzir as águas captadas pelos demais dispositivos de drenagem. Das poucas construídas no trecho uma delas encontra-se obstruída por solo e capim pela falta de manutenção como mostra a figuras 38, 39 e 40.

**Figura 38-** Descidas de água



**Fonte:** Autor, 2016.

**Figura 39-** Estado de conservação de descidas de água



**Fonte:** Autor, 2016.



**Figura 40-** Aproximação da descida de água



Fonte: Autor, 2016.

As figuras 41,42 e 43 são complementares, onde os itens a), b) e c) expressam que o trecho está inadequado, por apresentar falta de obra drenante no local apropriado, o que resulta no acúmulo de água. A descida está a uma distância considerável, como pode ser visualizado no item (c).

**Figura 41-** Água empoçada no acostamento



Fonte: Autor, 2016.

O meio fio é uma barreira que conduz o escoamento até as aberturas (descidas de água), em espaçamento conveniente de modo a permitir a entrada d'água proveniente da pista. Se construído sem o complemento adequado dos demais elementos drenantes a água acumula sobre o pavimento.

**Figura 42-** Meio Fio



Fonte: Autor, 2016.

**Figura 43-** Distância entre poça de água e a descida



Fonte: Autor, 2016.

### **4.3 Soluções técnicas para o processo erosivo na TO-020**

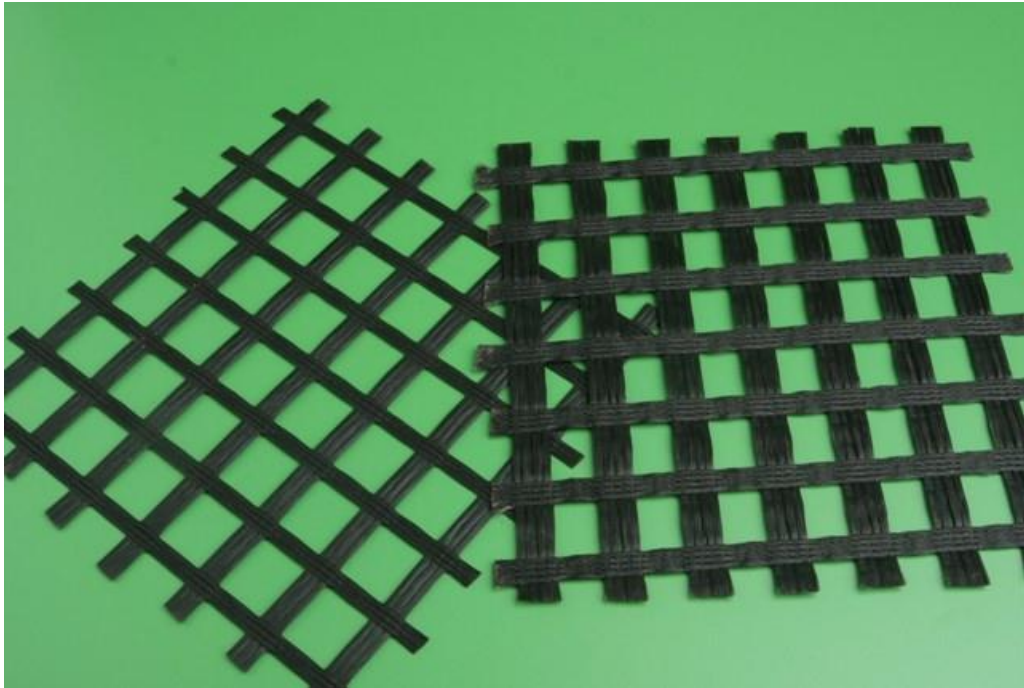
Conforme os defeitos e possíveis causas apresentados nos itens anteriores, o aspecto que esse trabalho dar ênfase é o aprimoramento do sistema construtivo da pavimentação asfáltica, seja pela introdução de novas técnicas, fiscalização dos serviços e/ou manutenção preventiva do sistema de drenagem. Descreve-se métodos e técnicas existentes na literatura que visam: prevenir e controlar as ocorrências erosivas na estrutura global do pavimento.

#### **4.3.1 Métodos de prevenção à erosão nas Rodovias**

A drenagem adequada é uma das ferramentas mais eficientes no que tange a prevenção ao processo erosivo, seja ela superficial ou profunda. No entanto os conceitos de dimensionamento preconizados pelo Manual de Drenagem – DNIT, às vezes são mal aplicados, no trecho. O monitoramento do projeto e inspeção das condições da obra é imprescindível para garantir a contínua funcionalidade da via e diminuição das atividades erosivas. Na TO-020 se faz necessário o mapeamento de estabilidade dos focos e recomendação para serviços de manutenções corretivas.

Como nova técnica utilizada com intuito de prevenir a erosão, relata-se sobre o uso dos geossintéticos. Segundo catálogos de representação comercial os mesmos são empregados para melhorar o desempenho das obras de engenharia. Embasadas na reincidência de defeitos e a contínua repetição de afundamentos de consolidação nos trechos TO-020, podemos sugerir as geogrelhas geossintéticas como técnica de prevenção das manifestações patológicas nas rodovias, esse produto aumenta a resistência á flexão na base do pavimento e conseqüentemente há a redução do aparecimento dos defeitos na camada de rolamento. As geogrelhas ilustradas na figura 44 também são utilizadas com eficiência no controle das fissuras e desgaste em operações de recapeamento asfáltico.

**Figura 44-** Imagem ilustrativa de Geogrelha para pavimentação



Fonte: <http://www.neomatex.com.br/geogrelha-pavimentacao> acesso em 03 de março de 2016

### **4.3.2 Métodos que controlem a erosão**

#### **4.3.2.1 Técnicas corretivas em taludes**

O fato de se propor soluções a erosão em talude na TO-020 implica em condicionantes inapropriadas com os métodos relacionados à Estabilidade de Talude, estabelecidos na Norma ABNT – NBR- 11.682 de 1991. As técnicas corretivas apresentadas a seguir são baseadas na Norma DNIT 074/2006 que define e fixa sistemáticas objetivando a redução de custos de conservação rodoviária e ao controle de processos erosivos.

Dentre os dispositivos especiais sugeridos na norma, abordamos dois métodos de tratamento que se aplicam a erosão em talude de corte na TO-020:

- ✓ **Septos de rip-rap de solo vegetativo ou solo cimento:** consiste no preenchimento de sacos de aniação com mistura de cimento ao solo, feitos nas proporções 1:15, deixando cerca de 0,15 m da sua dimensão para posterior acomodação do material sobre área degradadas; Atentando-se a instalação de drenos plásticos ou de bambu sob material compactado. A figura 45 exemplifica o mecanismo citado.

**Figura 45-**Correções de erosão em talude com solo cimento



**Fonte:** acesso em 03 de março de 2016.

- ✓ **Septos de pneus usados:** Trata-se de um muro de contenção utilizando uma malha de pneus usados, amarrados entre si em camadas horizontais. A parte interna do pneu é preenchida por solo compactado. O uso dessa técnica sustentável é objeto de estudo de diversos trabalhos acadêmicos, as figuras 46 e 47 demonstram as fases inicial e final desse procedimento sustentável que também poderia solucionar o defeito encontrado na TO-020.

**Figura 46-** Correção erosiva inicial usando septos de pneu



**Fonte:** <http://engenharia.anhembri.br/tcc-06/civil-43.pdf> acesso em 03 de março de 2016.

**Figura 47-** Obra de controle de erosão finalizada



**Fonte:** <http://engenharia.anhembri.br/tcc-06/civil-43.pdf> acesso em 03 de março de 2016

#### 4.3.2.2 *Correções dos defeitos no pavimento da TO-020*

Para solucionar a erosão superficial em acostamento na TO-020 e evitar novas manifestações faz-se necessário as correções dos defeitos encontrados, limpeza dos componentes de drenagem assim como a construção de elementos drenantes em pontos críticos e a revitalização dos existentes. A NORMA DNIT 006/2003- PRO-Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento – alicerça e fundamenta uma anamise precisa da superfície defeituosa.

## 5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O processo erosivo nos pavimentos asfálticos se dar pelo efeito deletério da presença de água no interior da estrutura; o solo das camadas estrutural do pavimento suporta o peso das solicitações do tráfego, sem apresentar deformações relevantes, enquanto puder ser mantido seco, caso contrário esta qualquer que seja a espessura perderá sua capacidade de suporte em contato com as águas oriundas das precipitações e/ou lençol freático.

A durabilidade do pavimento asfáltico está diretamente relacionada à investigação geotécnica, estudos hidrológicos e hidráulicos, a existência e conservação dos dispositivos de drenagem, a cobertura vegetativa em encostas naturais e taludes. Com a análise da sondagem identifica-se e quantifica o comportamento dos solos, realizam-se cálculos da estabilidade dos elementos estruturais e espessura das camadas sobrepostas ao terreno de fundação; o agente de maior potencial de deflagração do pavimento asfáltico é a infiltração da água da chuva, para tal, há fatores de previsão da intensidade e frequência das mesmas, por meio dos dados hidrológicos da região; dessa forma dimensionam-se os dispositivos de drenagem superficial e subterrânea proporcionando um desague seguro.

As elevadas temperaturas provocam a redução da viscosidade do ligante asfáltico que associado com o excesso de água aceleram o processo de oxidação e conseqüente degradação do pavimento. Com o estudo de caso da TO-020 obtiveram-se informações práticas das ocorrências erosivas. Pode-se fotografar erosões em talude de corte e no leito estradal, ilustrações em resultados e discussão, o que é justificado pela ausência dos componentes de drenagem e cobertura de vegetação. As obras de drenagem eficientes são imprescindíveis para que as rodovias sejam duráveis até o término da sua vida útil de projeto.

Várias áreas vêm se aperfeiçoando ao longo dos anos, criam-se novas técnicas para proporcionar a sociedade conforto e segurança. Com os assuntos abordados, pode-se abrir um extenso gama de trabalhos futuros, tais como: "Análise da eficiência dos produtos Geossintéticos na Pavimentação Asfáltica, Avaliação do custo-benefício do uso de técnicas preventivas a Erosão, Avaliação dos métodos de estabilidade de Talude, dentre outro".

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

\_\_\_\_\_. **DNIT 008/2003 - PRO: Levantamento visual contínuo para a avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento.** Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. **DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos.** Diretoria de Planejamento e Pesquisa / IPR. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. **DNIT 074/2006 – ES: Tratamento ambiental de taludes e encostas por intermédio de dispositivos de controle de processos erosivos – Especificação de Serviço.** Diretoria de Planejamento e Pesquisa / IPR. Rio de Janeiro.

\_\_\_\_\_. **DNIT – A - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes - Manual de Pavimentação, 3º Edição** – Rio de Janeiro, IPR-719, 2006.

\_\_\_\_\_. **DNER - Departamento Nacional de Estradas e Rodagem - Manual de pavimentação, 2º Edição** – Rio de Janeiro, IPR. Publ., 697, 1996.

\_\_\_\_\_. **DNIT – A - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes - Manual de Pavimentação, 3º Edição** – Rio de Janeiro, IPR-719, 2006.

NBR 11170/1990, - **Serviços de Pavimentação - Termologia**

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração.** - São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

SENÇO, Wlastermiler - **Manual de Técnicas de Pavimentação** – Vol. 1 ,São Paulo: Pini 2007.

BERNUCCI, L. B.; CERATTI, J. A. P.; MOTTA, L. M. G.; SOARES, J. B. - **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros** - PETROBRAS, Rio de Janeiro: ABEDA, 2008.

PACHECO, H. M - **Avaliação de patologias em pavimentos rodoviários e suas soluções corretivas.** Projeto Final, Publicação ENC. PF-140/2011, Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, Xp. 2011.

BOTELHO, Manuel Henrique Campos. **Águas da Chuva: engenharia das aulas pluviais nas cidades** - São Paulo, 1984.

CAPUTO, Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e suas Aplicações** – Fundamentos. 6ª Edição, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. Volume 1, 1988.

MASSAD, Façal. **Obras de Terra: Curso Básica de Geotécnia** – São Paulo: Oficina de Texto, 2003.



PINTO, Carlos de Souza. **Curso Básico de Mecânica dos Solos 16 aulas.** 2ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.

VARGAS, Milton, **Introdução á Mecânica dos Solos** – São Paulo, 1978.

[https://www.google.com.br/search?q=solo+cimento&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj61KSqkr7MAhXK1x4KHST1CCMQ\\_AUIBygB&biw=1366&bih=623#tbm=isch&q=rip+rap+solo+cimento+em+rodovias&imgsrc=](https://www.google.com.br/search?q=solo+cimento&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwj61KSqkr7MAhXK1x4KHST1CCMQ_AUIBygB&biw=1366&bih=623#tbm=isch&q=rip+rap+solo+cimento+em+rodovias&imgsrc=Tdl-IX3Z8yr9M%3A) Tdl-IX3Z8yr9M%3A

acessado em 03 de março de 2016.

<http://www.derba.ba.gov.br/download/oc/oc18.pdf> acesso em 03 de março de 2016.

PEREIRA, Antonio Carlos Oquendo – **Influência da drenagem subsuperficial no desempenho de pavimentos asfálticos**/A.C.O.Pereira. – São Paulo, 2003.

AZEVEDO, Ângela Martins – **Considerações sobre a drenagem subsuperficial na vida útil de pavimentos rodoviários** / A.M.Azevedo. – São Paulo, 2007.