



INSTITUTO DOCTUM DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA

FABRÍCIO CORRÊA DE OLIVEIRA

JULIANO ESTEVES BARBOSA

**MÉTODOS DE DRENAGEM PREVENTIVA CONTRA
DETERIORAÇÃO DE ESTRADAS RODOVIÁRIAS**

BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

DOCTUM – MINAS GERAIS

2013



INSTITUTO DOCTUM DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIA

FABRÍCIO CORRÊA DE OLIVEIRA

JULIANO ESTEVES BARBOSA

**MÉTODOS DE DRENAGEM PREVENTIVA CONTRA
DETERIORAÇÃO DE ESTRADAS RODOVIÁRIAS**

Monografia apresentada à banca examinadora do Curso de Engenharia Civil do Instituto Doctum de Educação e Tecnologia, como parte das exigências para conclusão do curso de Graduação em Engenharia Civil e como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Engenharia Civil

Orientador: Prof. Fausto Rogério Esteves

DOCTUM – MINAS GERAIS

2013

DEDICATÓRIA

Aos meus pais e familiares

AGRADECIMENTOS

Aos professores e companheiros de caminhada

Epígrafe

“Uma boa rodovia requer um teto impermeável e um porão seco”

(OLIVEIRA, 1947, s.p.)

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NATM	Novo Método de Tunelamento Austríaco
PNV	Plano Nacional de Viação

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo hidrológico	20
Figura 2 – Elementos de drenagem	27
Figura 3 – Descida d'água rápida.....	32
Figura 4 – Descida d'água em degraus.....	33
Figura 5 – Vista da descida d'água em aterro, em degraus na jusante do bueiro.....	42
Figura 6 – Erosão no aterro.....	43
Figura 7 – Erosão no aterro.....	43
Figura 8 – Rompimento da descida.....	44
Figura 9 – Rompimento do bueiro e da estrada	45
Figura 10 – Vista da pista rompida.....	45
Tabela 1 – Evolução da rede rodoviária nacional por tipo de jurisdição, de 1960 a 2000 (extensão em Km)	15

RESUMO

A água é causa direta ou indireta da maioria dos defeitos de uma estrada, estando geralmente associada aos deslizamentos, recalques, erosões, defeitos no pavimento, etc., portanto, a escolha do método de drenagem, seja urbana ou rodoviária, é um dos meios de garantir o encaminhamento da água para locais corretos. Utilizando como metodologia a pesquisa bibliográfica e o estudo de caso, este trabalho tem como objetivo retratar os métodos de drenagem com vistas a evitar a deterioração das rodovias e, por conseguinte, proporcionar maior segurança na circulação de veículos, seus ocupantes e durabilidade da via. Conclui-se que a manutenção preventiva é o melhor caminho, evitando a interrupção do fluxo de veículos, pessoas, da própria economia, principalmente porque os custos são menores na manutenção do que na recuperação.

Palavras-chave: drenagem de rodovias – erosão – prevenção

ABSTRACT

Water is direct or indirect cause of most of the defects of a road, and is generally associated with landslides, settlements, erosions, defects in the pavement, etc.. Therefore the choice of the method of drainage, whether urban or road, is one of the means to ensure the delivery of water to the correct locations. Using the literature as a methodology and case study, this paper aims to portray the drainage methods in order to prevent the deterioration of roads and therefore provide greater safety in motor vehicles, their occupants and durability of the road. We conclude that preventive maintenance is the best way to avoid the interruption of the flow of vehicles, people, the economy itself, mainly because costs are lower in maintenance than in recovery.

Keyword: drainage of highways - erosion - prevention

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA	13
1.1 MODAL RODOVIÁRIO	13
1.1.1 Definições e estatísticas do setor.....	13
1.1.2 Hierarquia das estradas	15
1.2 HIDROLOGIA	19
1.2.1 Ciclo hidrológico	20
1.2.2 As águas superficiais.....	22
1.2.3 As águas subterrâneas.....	22
1.3 CONSERVAÇÃO DE RODOVIAS	24
1.3.1 Macro atividades de conservação de estradas	24
1.4 DRENAGEM DE RODOVIAS	26
1.4.1 O sistema de drenagem de rodovias.....	29
1.4.1.1 Bueiros para transposição de talwegues	38
1.4.1.2 Descidas d'água	39
1.4.2 Consequências do mau dimensionamento de sistemas de drenagem e falta de manutenção preventiva de sistema de drenagem.....	40
CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS	41
CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO	42
CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

INTRODUÇÃO

O Brasil, um país de dimensões continentais, possui uma malha rodoviária em torno de 1.900.000 km, entre rodovias pavimentadas e não pavimentadas, onde circulam entre veículos de passeio e de carga, algo que gira na casa de 12 milhões de veículos por dia, e que de longe faz desse modal o principal sistema logístico brasileiro e um dos maiores do mundo.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), autarquia que tem por objetivo implementar a política de infraestrutura do Sistema Federal de Viação, compreendendo sua operação, manutenção, restauração ou reposição, adequação de capacidade e ampliação mediante construção de novas vias e terminais, informa em sua página oficial na internet que “para cada R\$ 1,00 investido em rodovias, há uma redução de quase R\$ 3,00 no custo operacional dos veículos”, o que é uma boa abertura para o assunto a ser tratado neste trabalho, uma vez que a relação custo-benefício acaba por ser uma variável que influencia sobremaneira nos rumos da economia e nas decisões das diversas organizações (DNIT, 2013).

Em virtude dos números acima, pode-se afirmar que a conservação das rodovias é de vital importância para a segurança das pessoas e dos veículos, principalmente ao se levar em consideração os aspectos sociais como a perda de vidas humanas e aspectos econômicos como custo com problemas estruturais das próprias rodovias, recuperação de acidentes, ou seja, tratamento de acidentados, seguros veiculares, etc.

Uma vez que a água é causa direta ou indireta da maioria dos defeitos de uma estrada, estando geralmente associada aos deslizamentos, recalques, erosões, defeitos no pavimento, etc., a escolha do método de drenagem, seja urbana ou rodoviária, é um dos meios de garantir o encaminhamento da água para locais corretos.

A pesquisa tem como objeto ou delimitação, retratar os métodos de drenagem com vistas a evitar a deterioração das rodovias e, por conseguinte, proporcionar maior segurança na circulação de veículos, seus ocupantes e durabilidade da via, buscando responder ao seguinte questionamento:

Quais as vantagens da drenagem preventiva para evitar a deterioração de estradas rodoviárias?

As hipóteses a serem testadas são as seguintes:

- A escolha do método de drenagem deve se dar exclusivamente em função da redução dos custos da obra, não importando se é uma drenagem preventiva ou corretiva.
- O método de drenagem preventiva deve ser sempre o escolhido e lavando-se em consideração o tipo de rodovia, o solo e clima da região bem como a duração da rodovia, procurando um equilíbrio na relação custo-benefício da obra.

Justifica-se esta pesquisa dois fatos ou fatores que influenciaram diretamente na escolha do tema e que, por si só, justificam o interesse e importância desse estudo, dentre eles: primeiro o fato das estradas brasileiras estarem constantemente submetidas a um fluxo de veículos sempre intenso e contínuo; segundo, o fato também constatado cotidianamente ao transitar pelas estradas de que elas não são bem cuidadas.

Esses fatores somados mostram que é preciso conhecer, avaliar e adequar os métodos de drenagens a cada obra, de modo que a relação custo-benefício seja uma variável que favoreça aos seus usuários e a quem realiza a obra, ou seja, cada região, tipo de solo e o tipo de clima predominante que se traduz no volume de chuvas influenciam no tipo de drenagem a ser realizado.

Usuários ganham rodovias seguras e de boa qualidade, empresas que executam o serviço realizam obras que durem o tempo estipulado no projeto e o Estado investe o justo e necessário, não tendo custos extras como refazer obras antes do tempo determinado.

Diante dessa realidade elencamos como objetivos, o que segue:

- Mostrar que a escolha do sistema de drenagem preventiva, que evita a deterioração das rodovias, deve prevalecer sobre a escolha de sistemas de drenagem corretiva.
- Contextualizar o modal rodoviário;
- Discorrer sobre a ação das águas sobre as rodovias;
- Elencar as macro atividades que envolvem a conservação de rodovias;

- Diferenciar os sistemas e métodos de drenagem (preventiva e corretiva) de rodovias.

O trabalho ficou composto de três capítulos. No primeiro, teórico será contextualizado o modal rodoviário devido ser nesta modalidade onde aplicar-se-á a drenagem preventiva. Um tópico foi destinado para a ação das águas sobre as rodovias passando necessariamente por conceitos de hidrologia, ciclo hidrológico, águas superficiais e subterrâneas. Em outro tópico o foco será a conservação de rodovias focando as macro atividades de conservação, e por fim, serão examinados o sistema e métodos de drenagem e, em específico, a drenagem preventiva e corretiva.

No capítulo dois encontra-se a metodologia utilizada e no capítulo três, o estudo de caso propriamente dito, ocorrido em rodovia que ilustra a problemática do trabalho e contribui para atingir os objetivos propostos.

Por fim, as considerações finais e as referências utilizadas.

CAPÍTULO 1 – REVISÃO DE LITERATURA

1.1 MODAL RODOVIÁRIO

Para os profissionais que atuam na área de logística, é corriqueiro o uso da expressão “modal”, mas na realidade nada mais significa do que os diversos modos existentes de utilização do transporte.

No caso dos países em desenvolvimento, onde se encaixa o Brasil, os modais são operados sob condições técnicas, institucionais e econômicas diversas.

Desde a década de 1930, com o crescimento da indústria brasileira, viu-se a necessidade de maior integração do mercado interno e maiores investimentos no transporte rodoviário. Aos poucos, foi sendo implantada uma malha rodoviária nacional, conectando os estados e as áreas industriais e na década de 1950, no governo de Juscelino Kubitschek, tem-se o seu ápice com a expansão da indústria automobilística (MENDONÇA, 2006).

O sistema nacional de viação é constituído dos conjuntos dos Sistemas Nacionais Rodoviário, Ferroviário, Portuário, Hidroviário, Aeroviário e de Transportes Urbanos e compreende:

a) infraestrutura viária, que abrange as redes correspondentes às modalidades de transportes citadas, inclusive suas instalações acessórias e complementares;

b) estrutura operacional, compreendendo o conjunto de meios e atividades estatais, diretamente exercidos em cada modalidade de transporte e que são necessários e suficientes ao uso adequado da infraestrutura mencionada na alínea anterior;

c) mecanismos de regulamentação e de concessão referentes à construção e operação das referidas infraestrutura e estrutura operacional (BRASIL, 1975).

1.1.1 Definições e estatísticas do setor

Num país tão vasto, onde o transporte rodoviário assume importância fundamental, visto que trafegam em nossas rodovias mais de 12 milhões de

veículos/dia (MORALES, 2003), a conservação dessas rodovias é vital, levando a afirmar que tal ação começa pela manutenção dos sistemas de drenagem, pois a água é causa direta ou indireta da maioria dos defeitos de uma estrada, estando geralmente associada com os deslizamentos, recalques, erosões, defeitos no pavimento, etc.

A Rodovia, em termos estruturais e de uma forma genérica, pode ser abordada segundo as duas componentes abaixo:

a) A infraestrutura rodoviária - constituída por um conjunto de sistemas, cada um com suas funções específicas, a saber:

- A plataforma terraplenada com seus requisitos e atributos específicos;
- Os sistemas de proteção e drenagem que respondem de forma abrangente, pela preservação e pela durabilidade da via;
- As obras-de-arte especiais que compreendem as estruturas, tais como pontes, viadutos ou túneis necessários à plena implantação de uma via, e que pelas suas proporções e características peculiares requerem um projeto específico.

b) A superestrutura rodoviária - constituída, igualmente, por um conjunto de sistemas, a saber;

- O pavimento, que, com seu pacote estrutural, em especial o revestimento betuminoso (camada de rolamento), interage diretamente com o tráfego;
- Os dispositivos de sinalização e de obras complementares, que buscam resguardar a segurança do tráfego usuário.

A implantação básica da rodovia compreende a construção da infraestrutura viária, envolvendo, portanto, a execução dos serviços preliminares pertinentes, a execução da plataforma terraplenada. A execução dos dispositivos de drenagem e de travessias de talwegues e de obras relacionadas com declividades acentuadas do relevo, bem como das obras de acabamento de terrapleno e das obras complementares e de proteção do corpo estradal (DNIT, 2010).

O quadro abaixo apresenta uma evolução da rede rodoviária nacional por tipo de jurisdição, de 1960 a 2000.

Tabela 1 - Evolução da rede rodoviária nacional por tipo de jurisdição, de 1960 a 2000 (extensão em Km)

Ano	Federal		Estadual		Municipal		Total Geral	
	Pavim.	Total**	Pavim.	Total	Pavim.	Total	Pavim.	Total
1960	8.675	32.402	4.028	75.875	--	353.649	12.703	461.926
1970	24.145	51.539	24.422	129.361	2.001	950.794	50.568	1.131.694
1980	39.695	59.175	41.612	147.368	5.906	1.180.373	87.213	1.386.916
1985	46.455	60.865	63.084	163.987	6.186	1.202.069	115.725	1.426.921
1987	48.544	62.238	70.188	176.115	8.971	1.248.033	127.703	1.486.386
1995*	51.400	67.600	81.900	199.100	14.900	1.391.300	148.200	1.658.000
2000*	57.000	71.000	95.00	213.000	21.000	1.450.000	173.000	1.734.000

Fonte: DNIT (2010, p. 36)

1.1.2 Hierarquia das estradas

Em termos de jurisdição, são federais as rodovias que constam na lei n. 5.917/73 e suas alterações, que estabelece o Plano Nacional de Viação – PNV e sua administração pode ser direta, delegada ou concedida.

A administração é direta quando a responsabilidade pelos programas de operação, manutenção, conservação, restauração e construção de rodovias está a cargo do DNIT.

Quando a responsabilidade pelos programas de operação, manutenção, conservação, restauração ou construção de rodovias for transferida ao Município, Estado ou Distrito Federal através de convênio de delegação com o DNIT, fará parte de uma rodovia delegada.

A rodovia dita concedida é aquela concedida por processo de transferência à iniciativa privada para exploração, cabendo à empresa vencedora da licitação, por prazo determinado, todos os trabalhos necessários para garantir as boas condições da estrada além de proporcionar serviços adequados aos seus usuários contra a cobrança de pedágio, revertendo, ao final do período, a rodovia ao poder concedente, em perfeito estado de condição física operacional (DNIT, 2007).

Rodovia Delegada ao Município, Estado ou Distrito Federal para Concessão é aquela, a qual um determinado Município, Estado ou Distrito Federal, após celebração de convênio com o Ministério dos Transportes de acordo com a Lei n. 9.277/96, transfere à iniciativa privada para exploração, cabendo à empresa

vencedora da licitação, por prazo determinado, todos os trabalhos necessários para garantir as boas condições da estrada além de proporcionar serviços adequados aos seus usuários contra a cobrança de pedágio, revertendo, ao final do período, a rodovia ao poder concedente, em perfeito estado de condição física operacional.

As rodovias sob jurisdição estadual são aquelas, cujos trechos estão sob regime de administração direta ou contratada, controladas pelos órgãos rodoviários estaduais, e que constam do plano de viação de cada estado, nelas incluídas aquelas construídas pelos Estados sobre a diretriz de uma Rodovia Federal Planejada.

O DNIT só reconhece oficialmente como Rodovias Estaduais, aquelas que constam do Sistema Rodoviário Estadual de cada unidade da Federação.

Já as rodovias sob jurisdição do município, são aqueles trechos que estão sob regime de administração direta ou contratada, controladas pelas Prefeituras Municipais, incluídas aquelas construídas pelos Municípios sobre a diretriz de uma Rodovia Federal Planejada.

As rodovias são ainda classificadas em:

- a) Rodovia em área urbana – trechos de rodovias localizados dentro do perímetro urbano das cidades ou municípios;
- b) Rodovia rural - trechos de rodovias que conectam áreas urbana e industrial, pontos de geração e atração de tráfego e pontos significativos dos segmentos modais, atravessando área rural;
- c) rodovia vicinal – estrada local, destinada principalmente a dar acesso a propriedades lindeiras ou caminho que liga povoações relativamente pequenas e próximas (DNIT, 2007).

Quanto à situação física das rodovias, estas podem ser:

- a) PLANEJADA (PLA) - Rodovia que consta de um planejamento e cuja construção se acha em perspectiva. Rodovias fisicamente inexistentes, mas para as quais são previstos pontos de passagem que estabelecem uma diretriz destinada a atender uma demanda potencial de tráfego. Estes pontos de passagem não são obrigatórios até que a realização de estudos e/ou projetos estabeleçam o traçado definitivo da rodovia.
- b) LEITO NATURAL (LEN) - Rodovia construída em primeira abertura, em terreno natural, sem atendimento às normas, podendo eventualmente receber

revestimento primário. Rodovias que não atendem às normas rodoviárias de projeto geométrico, não se enquadrando, portanto em nenhuma das classes de rodovias estabelecidas pelo DNIT. Sua superfície de rolamento se apresenta no próprio terreno natural.

- c) IMPLANTADA (IMP) - Rodovias construídas de acordo com as normas rodoviárias de projeto geométrico e que se enquadram em determinada classe estabelecida pelo DNIT. Apresentam superfície de rolamento sem pavimentação. Estas rodovias normalmente apresentam sua superfície em revestimento primário e permitem tráfego o ano todo.
- d) PAVIMENTADA (PAV) - Rodovia com revestimento superior. Rodovias implantadas que apresentam sua superfície com pavimento asfáltico, de concreto cimento ou de alvenaria poliédrica.
- e) MULTI - FAIXAS (MTF) - Rodovias pavimentadas formadas por duas ou mais pistas com duas ou mais faixas para cada sentido, sem canteiro central, separadas apenas por sinalização horizontal, acrescida ou não de tachões.
- f) DUPLICADA (DUP) - Rodovias Duplicadas são aquelas formadas por duas pistas com duas ou mais faixas para cada sentido, separadas por canteiro central, por separador rígido ou ainda com traçados separados muitas vezes contornando obstáculos.
- g) PISTA TRIPLA (TRP) - Rodovias Triplicadas são aquelas formadas por três pistas com duas ou mais faixas para cada sentido, separadas por canteiro central, por separador rígido ou ainda com traçados separados muitas vezes contornando obstáculos.
- h) EM OBRAS DE IMPLANTAÇÃO (EOI) - Assim devem ser considerados os trechos de rodovia planejada ou em leito natural em que se estejam executando serviços de Implantação, o trecho será designado como em obras de Implantação.
- i) EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO (EOP) - devem ser considerados os trechos de rodovia implantada em que se estejam executando serviços de Pavimentação, o trecho será designado como em obras de Pavimentação.

- j) EM OBRAS DE DUPLICAÇÃO (EOD) – São os trechos de rodovia pavimentada em que se estejam executando serviços de Duplicação, o trecho será designado como em obras de Duplicação.
- k) TRAVESSIA (TRV) - Travessias de cursos d'água – são trechos de transposição de rios em que não há ponte (DNIT, 2007).

Estes conceitos iniciais contribuem para satisfazer os objetivos deste estudo, que passa pela compreensão e análise da manutenção de rodovias enquanto qualquer ação que visa manter a mesma em condições satisfatórias de operação, manutenção esta que pode ser preventiva ou corretiva, utilizando vários tipos de intervenções por programas de manutenção.

1.2 HIDROLOGIA

No estudo da drenagem de rodovias, é essencial entender o ciclo hidrológico, entendido como o movimento contínuo das águas presentes na atmosfera e nos continentes, por isso o seu estudo é aprofundado e considerado uma das bases que sustenta o trabalho de drenagem.

O dicionário Aurélio define hidrologia como o estudo da água nos estados, sólido, líquido e gasoso, da sua ocorrência, distribuição e circulação na natureza.

Enquanto Hidrologia é a ciência da água, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e suas relações com o meio ambiente nos ciclos naturais da Terra, chama-se ciclo hidrológico ao conjunto de mudanças de posição da água na Terra e atmosfera. Relata o processo de trocas de água no entorno da superfície terrestre, ou seja, o transporte de água sob a forma de vapor pelas massas de ar e a condensação, que forma as nuvens que podem fazer a água cair sobre a Terra (na forma de chuvas, etc.) (PEIXOTO JR., FELEX, 1997 *apud* RIBEIRO, 2006, p. 35)

De maneira geral, a hidrologia é uma ciência que tem uma grande importância para a sociedade, pois através de seu estudo pode-se controlar e utilizar os recursos hídricos de forma adequada.

Como justifica o Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem editado pelo DNIT (2005, p. 7):

No dimensionamento das estruturas de drenagem das rodovias é de grande importância a consideração dos fatores de risco de superação e do grau de degradação que possam ocorrer devido a longas exposições da estrada aos efeitos da precipitação, o que leva a tratar-se o ciclo hidrológico de uma forma particular.

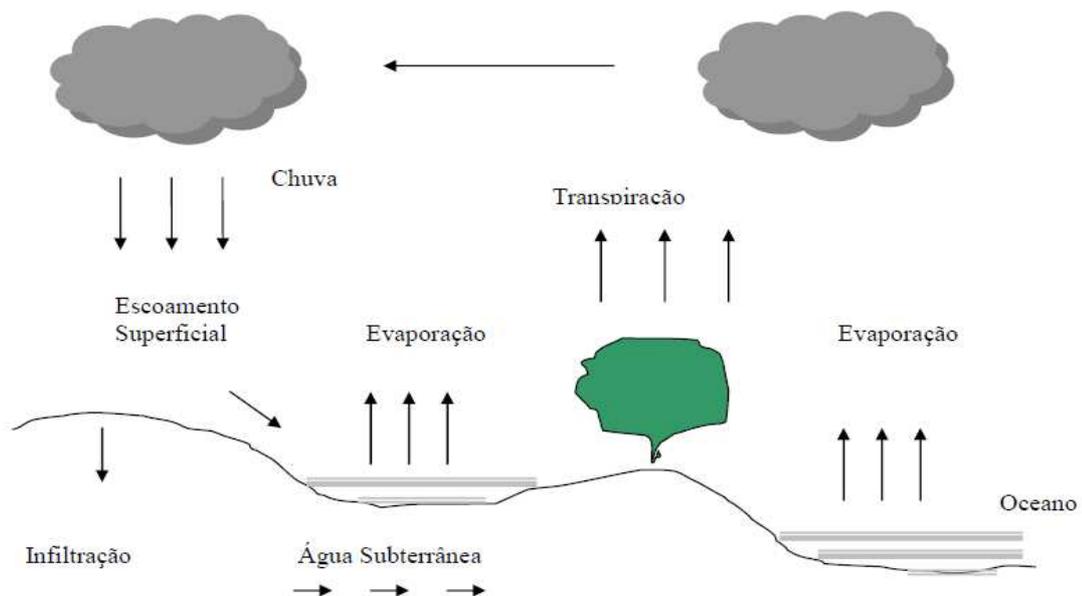
Assim sendo, ao engenheiro e outros profissionais afins, os conhecimentos de hidrologia são imprescindíveis para que realizem obras seguras que perdurem o tempo necessário à locomoção humana.

1.2.1 Ciclo hidrológico

No ciclo hidrológico em se tratando da água presente na atmosfera, quando esta precipita pode seguir vários caminhos, dentre eles: evaporar e retornar à atmosfera; infiltrar-se, percolar no solo ou rochas, formar aquíferos, ressurgir na superfície em forma de nascentes, etc., pode também fluir entre os espaços vazios dos solos e rochas, armazenando-se e formar novos aquíferos (JABOR, 2011).

O ciclo hidrológico tem início com a evaporação da água disponível na superfície líquida como rios, lagos e mares. A evaporação se dá principalmente através do sol e vento onde o vapor d'água ascende a atmosfera sob forma de vapor, resultando a formação das nuvens através da condensação. As nuvens vão se tornando espessas e ao vencer a resistência do ar, essas gotículas precipitam em direção a terra sob a forma de chuva ou neve. Esse ciclo hidrológico ao atingir a superfície da terra é dispersa, ficando sujeita a três possibilidades diferentes, que normalmente ocorrem em conjunto e que são: a evaporação, o escoamento superficial e a infiltração (escoamento subterrâneo). Tanto o escoamento superficial como o subterrâneo é realizado em direção a cotas mais baixas e podem, eventualmente, ser descarregados nos oceanos. Entretanto, quantidades substanciais da água superficial e subterrânea retornam a atmosfera por evaporação e transpiração antes de atingirem o oceano (DELGADO, 2008, p. 17).

Figura 1 – Ciclo hidrológico



Fonte: Jabor (2011, p. 8)

Quando a precipitação é maior do que a capacidade de absorção do solo escoam pela superfície, situação em que pode causar vários transtornos para a

sociedade. De todo modo, tanto as águas superficiais quanto as profundas podem afetar e prejudicar obras em andamento e rodovias concluídas.

A gota de chuva que parece inocente quando se trata de causar estragos ao solo, ao contrário, tem potencial devastador, ou seja, grande importância no fenômeno erosivo, pois quando as mesmas caem sobre o solo descoberto, poderão compactá-lo (ALMEIDA, 2007).

Segundo NOLLA (1982 *apud* ALMEIDA, 2007), a gota, devido a sua energia cinética, causa um impacto no solo compactando o mesmo, e ao mesmo tempo, faz saltar partículas do solo que se desagregaram. Estas partículas, ao voltarem à superfície do solo, encontram uma película de água, a qual começa a transportar as mesmas. Estas gotas, cujo tamanho varia muito ao cair ao solo, têm, realmente, uma ação que atua como elemento de impacto.

Segundo Molina (1976), as gotas de uma chuva de 50 mm, que caem em 1 hectare, quando somadas as suas energias de impacto, têm energia suficiente para levantar uma camada de 17,5 cm a uma altura de 90 cm, em toda a superfície de 1 hectare. Isto daria aproximadamente, a suspensão de 2000 toneladas a uma altura de 90 cm. Partindo, destas condições é fácil observar o poder compactador das gotas de chuva, principalmente se a mesma cai sobre solo descoberto, ou seja, sem vegetação viva ou morta que o esteja protegendo.

Além desta ação, a gota, ao cair, tem ainda a ação desagregadora (que é a que predomina), que faz saltar as partículas de solo. Estas partículas soltas são facilmente arrastadas pela lâmina de água que existe na superfície do solo. É fácil observar estas partículas que saltam por ocasião da chuva (ALMEIDA, 2007).

As partículas menores, provenientes desta desagregação, serão arrastadas posteriormente no escoamento superficial de uma pequena lâmina de água, seja horizontal ou verticalmente, originando então a erosão laminar ou a erosão vertical ou interna.

Assim, origina-se a erosão laminar a partir do impacto da gota de chuva, que participa em 95% do problema erosivo. Somente 5% deste problema são causados pela água corrente (NOLLA, 1982 *apud* ALMEIDA, 2007).

1.2.2 As águas superficiais

Numa estrada, a água superficial, que é a fração que resta de uma chuva após serem deduzidas as perdas por evaporação e por infiltração, pode surgir descendo as encostas ou taludes, ou escoando sobre a pista de rolamento (DNIT, 2010).

As águas superficiais que descem as encostas num corte de estrada irão rolar sobre o talude, erodindo-o e, além de poder vir a comprometer a estabilidade do maciço, carregam o material de erosão para a pista, o que, em conjunto com a água, pode dificultar ou impedir o tráfego normal dos veículos.

Assim é que o acúmulo de água que se escoia sobre a pista de rolamento, dependendo da espessura da lâmina d'água que se forma, pode vir a comprometer seriamente as condições de aderência da pista, acarretando graves acidentes, com a derrapagem e a aquaplanagem.

A erosão nas valetas junto ao pé do corte pode atingir a estrutura do pavimento, daí o emprego de revestimento nessas valetas.

De outra parte, se a água da chuva penetra na base e nela se acumula, os efeitos destrutivos, pelas pressões hidráulicas que as cargas pesadas dos caminhões transmitem, podem ocasionar a ruína completa de um pavimento, ainda que corretamente projetado (DNIT, 2010).

1.2.3 As águas subterrâneas

Em termos geológicos, a água subterrânea é a que ocorre abaixo do nível freático em solos e formações totalmente saturadas. Na sua relação com o homem este tipo de água apresenta vantagens e desvantagens. Entre as primeiras cita-se a sua utilização no consumo, rega e indústria, funções crescentemente importantes face ao conhecimento das dimensões e localização desses recursos e à maior poluição da água doce superficial. As suas desvantagens são usualmente de cariz geológico-geotécnico. As águas subterrâneas constituem, efetivamente, um problema nas estradas. A água subterrânea tem origem relacionada diretamente

com o ciclo hidrológico. Este corresponde à circulação da água entre o oceano, a atmosfera e a terra. Desta forma, a principal fonte das águas subterrâneas é a infiltração das águas provenientes da atmosfera. Efetivamente, a água precipitada pode ter três fins: uma parte escorre superficialmente sobre a terra, uma outra parte, após uma permanência eventualmente curta no solo, é evapotranspirada e por fim, uma outra parte infiltra-se de forma duradoura. Convém assinalar que o escoamento para o interior se dá sob a forma de chuva ou neve (SILVA, 2009).

Estas águas podem ser prejudiciais em engenharia rodoviária de formas diversas:

- favorece escorregamentos dos taludes mais instáveis ou erosão dos mesmos;
- dificulta a construção de túneis e escavações abaixo do nível freático ou franja capilar;
- instabiliza as fundações de aterros onde se manifestam alterações do nível freático;
- favorece o aparecimento de cavidades cársticas, bem como oxidação e envelhecimento prematuro dos asfaltos;
- Rompe aterros e entope bueiros;
- Leva à queda de pontes;
- Diminui a estrutura do pavimento ou sua destruição pela pressão hidráulica.

A drenagem destas águas é, pois, um imperativo nas terraplenagens das vias de comunicação e circulação, bem como é importante ao engenheiro o outro extremo: a seca, pois ambos os movimentos, que variam tanto no espaço como no tempo devem ser levados em consideração nos projetos de rodovias, no dimensionamento de obras, com a finalidade de proteção contra os mesmos.

1.3 CONSERVAÇÃO DE RODOVIAS

Conceitualmente, a conservação rodoviária compreende o conjunto de operações rotineiras, periódicas e de emergência realizadas com o objetivo de preservar as características técnicas e físico-operacionais do sistema rodoviário e das instalações fixas, dentro de padrões de serviço estabelecidos (DNIT, 2005).

Os serviços de conservação das rodovias fazem parte do conjunto de funções e atividades destinadas a proporcionar conforto e segurança aos usuários.

A estrutura dos serviços de conservação deverá estar direcionada para os aspectos físicos do sistema rodoviário, ou seja, aqueles relacionados às condições da pista, em termos de pavimentação, drenagem, dispositivos de segurança, sinalização horizontal, vertical e aérea, obras-de-arte especiais, etc., além da faixa de domínio, prédios e áreas operacionais, bem como veículos e equipamentos utilizados.

As tarefas de conservação propriamente dita, bastante diversificadas, podem ser enfocadas, em razão de suas naturezas e finalidades específicas, em 3 grupos básicos, aos quais se incorporam outros 2 grupos de tarefas com finalidades afins – 2 grupos estes cujas respectivas execuções, quando em vultos relativamente reduzidos, podem ser atribuídas às equipes de conservação.

As obras de conservação fazem parte de qualquer das ações que visem manter a rodovia em condições satisfatórias de operação. Pode ser preventiva ou corretiva.

De maneira geral, a manutenção rodoviária se dá com a utilização de vários tipos de intervenções ou por intermédio de programas de manutenção, em outras palavras, são operações realizadas em conjunto sempre destinadas a preservar as características técnicas e operacionais de uma rodovia ou obra-de-arte de acordo com sua concepção original.

1.3.1 Macro atividades de conservação de estradas

Os cinco grupos de tarefas, constituem-se em macroatividades e comportam, em conformidade com a terminologia oficial do DNIT, as definições que se seguem:

a) Conservação Corretiva Rotineira:

É o conjunto de operações de conservação que tem como objetivo reparar ou sanar um defeito e restabelecer o funcionamento dos componentes da rodovia, propiciando conforto e segurança aos usuários.

Geralmente são reparos localizados de defeitos na pista ou no acostamento com extensão inferior a 150m e manutenção regular dos dispositivos de drenagem, dos taludes laterais, da faixa lindeira, dos dispositivos de sinalização e demais instalações da rodovia.

b) Conservação Preventiva Periódica:

É o conjunto de operações de conservação, realizadas periodicamente com o objetivo de evitar surgimento ou agravamento de defeitos: Trata-se de tarefas requeridas durante o ano, mas cuja frequência de execução depende do trânsito, topografia e clima. Ex.: operação tapa-buraco, fechamento de trincas, etc.

c) Conservação de Emergência:

É o conjunto de operações destinadas a corrigir defeitos surgidos de modo repentino, ocasionando restrições ao tráfego e ou sérios riscos aos usuários.

d) Restauração:

É o conjunto de operações destinado a restabelecer o perfeito funcionamento de um bem determinado ou avariado, e restabelecer, na íntegra, suas características técnicas originais. Envolve, portanto um conjunto de medidas destinadas a adaptar a rodovia, de uma forma permanente, às condições de tráfego atuais e futuras, prolongando seu período de vida.

e) Melhoramentos da Rodovia:

É o conjunto de operações que acrescentam à rodovia existente, características novas, ou modificam as características existentes (DNIT, 2005).

1.4 DRENAGEM DE RODOVIAS

Os registros históricos mostram que alguns povos, desde a Antiguidade, a exemplo dos romanos (3.000 a.C.) já sabiam dos efeitos danosos da água e buscavam construir em níveis mais elevados ao solo. Passagens eram abertas artificialmente, em formações rochosas ou sob o solo, para permitir o escoamento da água, acesso a minas e comunicação mais rápida entre locais isolados topograficamente. As vias eram construídas acima do nível dos terrenos adjacentes, sobre uma camada de areia e cobertas por lajes de pedra cimentadas entre si (VIEIRA, 2003; LEÃO; FREITAS, BENDER, 2007). Em se tratando da época, os trabalhos realizados eram verdadeiras obras de arte, documentadas, mesmo que em termos arqueológicos.

Durante vinte séculos, houve pouco progresso nos processos de construção, até que, no século XIX, “redescobriram” a necessidade de manter secas as estradas - para evitar que se deteriorem por danos causados por pressões d'água existentes nos poros (poro-pressões) do material de sua estrutura e movimentos de água livre contida nesta estrutura (LEÃO; FREITAS, BENDER, 2007).

Assim, ao fazer um recorte na história entre os períodos que remontam a Antiguidade até meados do século XIX, e aportarmos no século XIX veremos que foi nessa época, em decorrência da revolução industrial, que descobriram a necessidade de manter secas as estradas (VIEIRA, 2003).

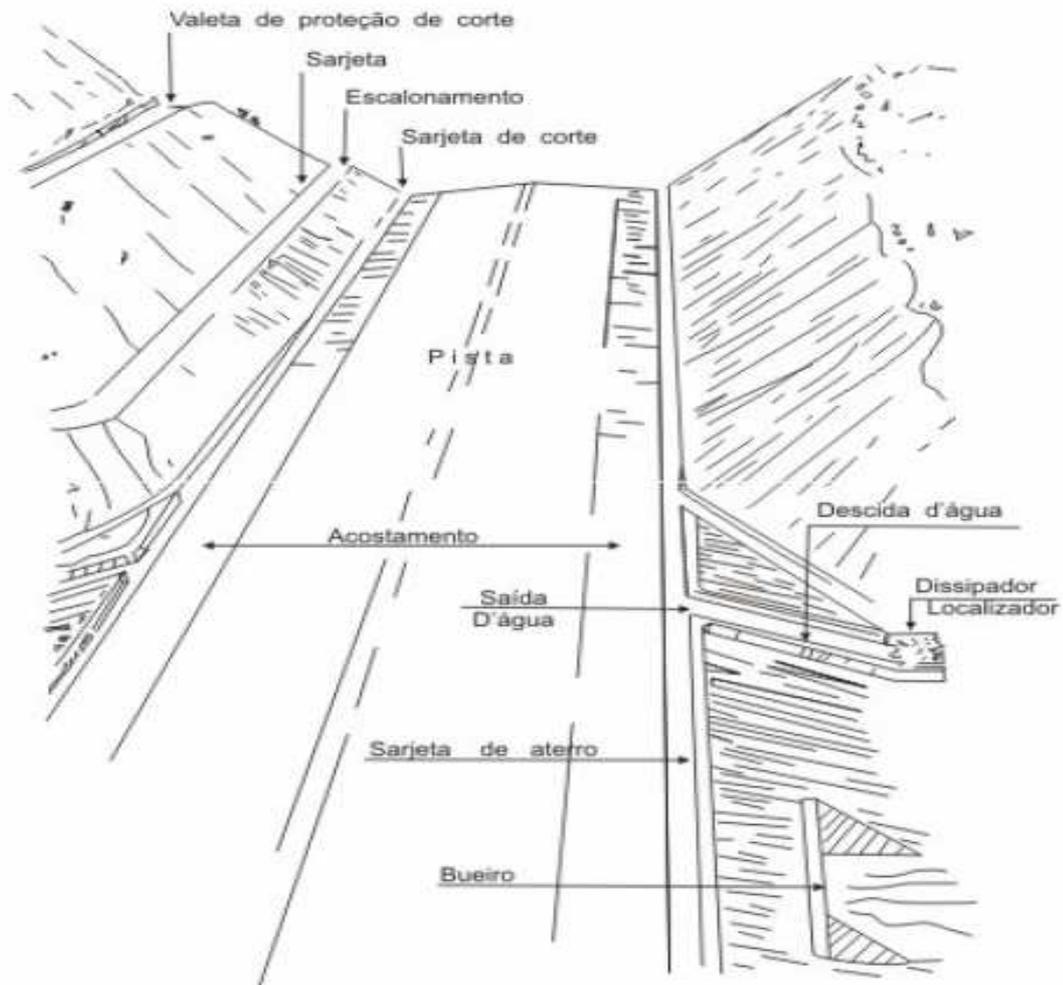
Melhoria das condições de vida da população, soluções que durem mais tempo, equilíbrio da relação custo-benefício e minimização dos impactos ambientais são alguns dos motivos que têm levado os profissionais a buscarem técnicas modernas, seguras e menos impactantes para a construção de rodovias e, por conseguinte, sistemas de drenagem.

Drenagem é a arte de conduzir e controlar o fluxo ou a percolação de água pelas vias ou obras de terra. Drenar é o próprio ato de prover a via com elementos que facilitem o movimento de água para fora do corpo da via ou obra de terra, facilite o controle de teores de umidade, ou o movimento de água infiltrada nos solos ou outros componentes da estrutura da via.

As operações para drenar água das faixas para tráfego, acostamentos e áreas laterais às rodovias envolvem a coleta, a condução, a remoção, e a deposição de água do corpo da via para fora da faixa de domínio.

Nas rodovias o formato e componentes de toda a seção transversal participam da condução e controle de fluxo de água, conforme ilustrado na figura 2 abaixo.

Figura 2 – Elementos de drenagem



Fonte: Fernandes (2011)

Mas os elementos específicos para a operação de drenar contribuem também em ações específicas no controle do fluxo de águas e em relações físicas entre as superfícies de via, pavimento ou outros componentes da via que podem perder a estabilidade ou resistência por ação de contato com o líquido (RIBEIRO, 2006).

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura Terrestre (DNIT), a rodovia, em termos estruturais e de uma forma genérica, pode ser abordada segundo duas componentes básicas:

- a) A infraestrutura rodoviária - constituída por um conjunto de sistemas, cada um com suas funções específicas, a saber: A plataforma terraplenada com seus requisitos e atributos específicos: Os sistemas de proteção e drenagem, que respondem, de forma abrangente, pela preservação e pela durabilidade da via; As obras-de-arte especiais - que compreendem as estruturas, tais como pontes, viadutos ou túneis necessários à plena implantação de uma via, e que pelas suas proporções e características peculiares requerem um projeto específico.
- b) A superestrutura rodoviária - constituída, igualmente, por um conjunto de sistemas, a saber: O pavimento, que, com seu pacote estrutural, em especial o revestimento betuminoso (camada de rolamento), interage diretamente com o tráfego: Os dispositivos de sinalização e de obras complementares, que buscam resguardar a segurança do tráfego usuário. (DNIT, 2010, p. 27).

Uma vez que interessa a este trabalho o sistema de drenagem, este é definido como o conjunto de operações e instalações destinadas a remover os excessos de águas das superfícies e do solo.

O sistema de drenagem tem por objetivo a captação, a condução e o deságue, de forma rápida e eficiente, das águas que, precipitando-se sobre a pista e/ou as áreas adjacentes, por infiltração ou escoamento superficial, podem comprometer o conforto e a segurança dos usuários e a durabilidade da rodovia (DNIT, 2010, p. 53).

Até meados da década de 1980, o sistema de drenagem tinha como objetivo, captar e conduzir para local adequado toda a água que sob qualquer forma viesse a atingir o corpo estradal. Ao final dessa década, acrescentou-se a preocupação com o entorno e o meio ambiente. No início dos anos 90, o conceito passou a preocupar-se também com a segurança dos usuários da via (JABÔR, 2011).

1.4.1 O sistema de drenagem de rodovias

Dentre os vários efeitos nocivos à rodovia, decorrentes da ação das águas, sejam elas superficiais ou subterrâneas tem-se a redução da resistência ao cisalhamento pela saturação dos solos; variação de volume de alguns solos pelo umedecimento; destruição do atrito intergranular nos materiais granulares pelo bombeamento de lama do subleito; produção de força ascensional no pavimento, devida às pressões hidrostáticas e produção de força de arrastamento dos solos pelo fluxo a alta velocidade (DNIT, 2010, p. 28).

A importância da drenagem superficial está no fato da água ser o maior inimigo dos pavimentos, pois ao penetrar nas camadas inferiores de um pavimento, a água acelera a sua degradação.

A água interfere na resistência de solos, provoca erosão, carrega materiais e influi na segurança do tráfego. A construção e a manutenção de componentes para drenar a seção transversal são importantes para a proteção dos pavimentos contra as ações da água, pois o escoamento não controlado da água pode causar danos à superfície de rolamento de vias, aos acostamentos, aos taludes e principalmente risco a segurança do usuário (LUZ, 2009, p. 18).

Fonseca *et al* (2007) também ressaltam que a água é o maior inimigo dos pavimentos, podendo atingir a sua base e/ou sub-base, ocasionando uma redução em sua capacidade de suporte, bem como ao reduzir a proteção da camada superficial, pode abrir caminhos para novas infiltrações, agravando o problema dando origem a um círculo vicioso.

Dentre outros acidentes ou problemas provocados pela ação da água tem-se o escorregamento e erosão de taludes; o rompimento de aterros; o entupimento de bueiros; a queda de pontes; a diminuição da estrutura do pavimento; a variação de volume de solos mais expansivos; a destruição do pavimento pela pressão hidráulica; a oxidação e envelhecimento prematuro dos asfaltos (ALBANO, 2007, p. 02), o que pode ser evitado lançando mão de vários dispositivos como a drenagem superficial, drenagem do pavimento, drenagem profunda e ainda drenagem de transposição de talvegues.

Fazem parte do sistema de drenagem:

- a) obras de arte correntes/drenagem de grotas - O projeto de drenagem de grotas tem como objetivo o dimensionamento de bueiros de forma a garantir a transposição das águas de forma segura, de um lado para outro da rodovia.

Dentro de uma visão mais ampla, pode-se dizer que o projeto de drenagem de grotas compreende o dimensionamento de novos bueiros e a avaliação das obras existentes na rodovia, quanto a seu funcionamento, estado de conservação, suficiência de vazão e o seu posicionamento. O dimensionamento hidráulico das obras de arte correntes é feito com base nas vazões calculadas para as bacias hidrográficas interceptadas pelo traçado da rodovia, fornecidos pelos Estudos Hidrológicos e informações de campo. Uma vez calculada a vazão máxima provável nas bacias hidrográficas, inicia-se o dimensionamento dos bueiros, podendo ser: tubulares de concreto, tubulares metálicos, tubulares em PVC helicoidal (rib loc) ou celulares de concreto (galerias).

- b) valetas de proteção de corte e aterro - têm como finalidade impedir que as águas procedentes das encostas de montante atinjam a rodovia, evitando erosões e desestabilização do talude de corte e aterro, garantindo sua estabilidade. A valeta pode ter a forma retangular ou trapezoidal, sendo que a trapezoidal possuiu uma melhor eficiência hidráulica. Recomenda-se que sua localização seja a uma distância mínima de 3.00 m da linha de offset (crista do corte e/ou pé do aterro), que o material removido na escavação seja removido e transportado até local adequado.
- c) sarjetas de corte e aterro – a sarjeta de corte tem como objetivo captar as águas que precipitam sobre a plataforma e taludes de corte e conduzi-las, longitudinalmente à rodovia, até a transição entre o corte e o aterro, de forma a permitir a saída lateral para o terreno natural ou, então, para a caixa coletora de um bueiro de greide. As principais funções da sarjeta de corte revestida em concreto são: impedir a erosão do bordo do pavimento e do pé do corte; aumentar o comprimento crítico; impedir a travessia de água na pista, impedindo que ocorra o efeito de aquaplanagem em pontos localizados da rodovia. A sarjeta de aterro por sua vez 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. São dimensionadas de forma análoga a de corte, sendo que a contribuição será somente da pista. As principais funções da sarjeta de aterro revestida em concreto aterro são: impedir que se inicie o processo

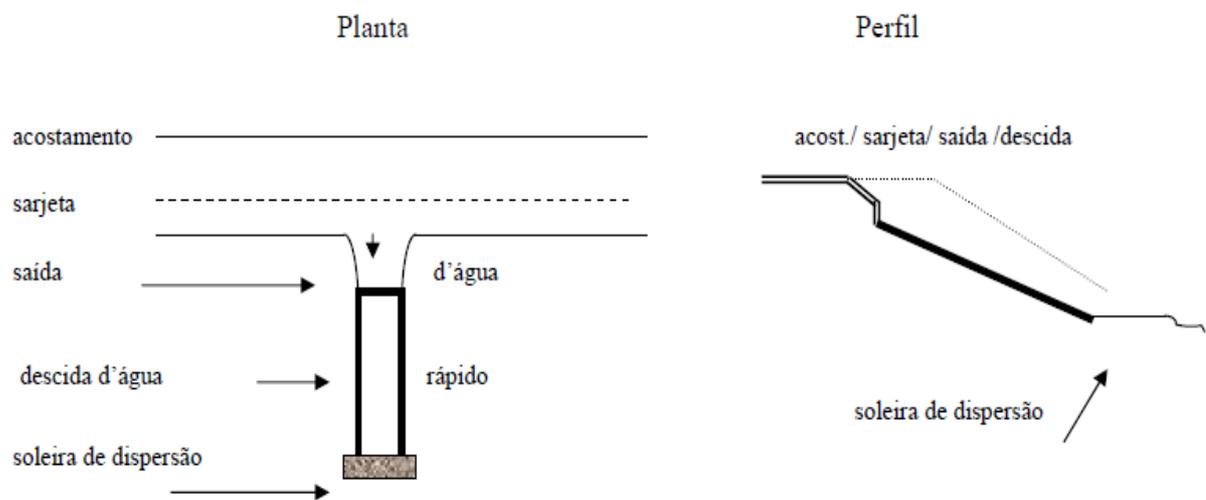
erosivo na saia de aterro; aumentar o espaçamento entre as saídas d'água em aterro e conseqüentemente diminuir o número de descidas d'água.

- d) Saída d'água de corte – é o dispositivo que capta as águas da sarjeta de corte, desaguando-as no terreno natural, conduzindo-as para o canal de lançamento ou descida d'água. Serão posicionadas nos pontos de passagem de corte para aterro e ao final das sarjetas de corte, conduzindo as águas superficiais para fora do corpo estradal. Para o desague das sarjetas que não atinjam valor superior a 80% de sua capacidade máxima, desde que as condições topográficas permitam, a própria sarjeta poderá ser utilizada para fazer a função deste dispositivo. Em todos os tipos de saída d'água, o terreno de fundação deverá ser regularizado e apilado manualmente. O concreto deverá ser constituído de cimento Portland, água e agregados, com resistência $F_{ck} > 15,0$ MPa. As formas deverão ser constituídas de chapas de compensado resinado travadas de forma a proporcionar paredes lisas e sem deformações.
- e) Saídas D'água de Aterro - também denominadas entradas d'água são dispositivos que tem como objetivo coletar as águas das sarjetas de aterro, conduzindo-as para as descidas d'água. São utilizadas quando é atingido o ponto crítico da sarjeta, nos pontos baixos das curvas verticais côncavas e junto às pontes.
- f) descidas d'água de corte e aterro – são dispositivos que tem como objetivo, conduzirem as águas provenientes das sarjetas de aterro quando é atingido seu comprimento crítico e nos pontos baixos das curvas verticais côncavas, desaguando em terreno natural São dois os tipos de dispositivos de descida d'água: Rápido e em degraus, conforme figura 3 abaixo:

A descida d'água em degraus poderá ser em concreto simples ou em concreto armado, dependendo do tipo de solo e das condições para sua implantação. O revestimento em concreto do dispositivo deverá ter 15,0cm de espessura e resistência a compressão a 28 dias , $F_{ck} > 15,0$ MPa. No final de uma descida d'água de aterro, quando a topografia for plana e existir vegetação do tipo grama, não haverá necessidade de implantar dissipador de energia. A descida D'água em Corte é o dispositivo que tem a finalidade de

conduzir as águas proveniente da valeta de proteção de corte, promovendo o seu deságue nas caixas coletoras dos bueiros de greide, de onde serão conduzidas para fora do corpo estradal. A descida d'água em corte poderá ser em concreto simples ou em concreto armado, dependendo do tipo de solo e das condições para sua implantação.

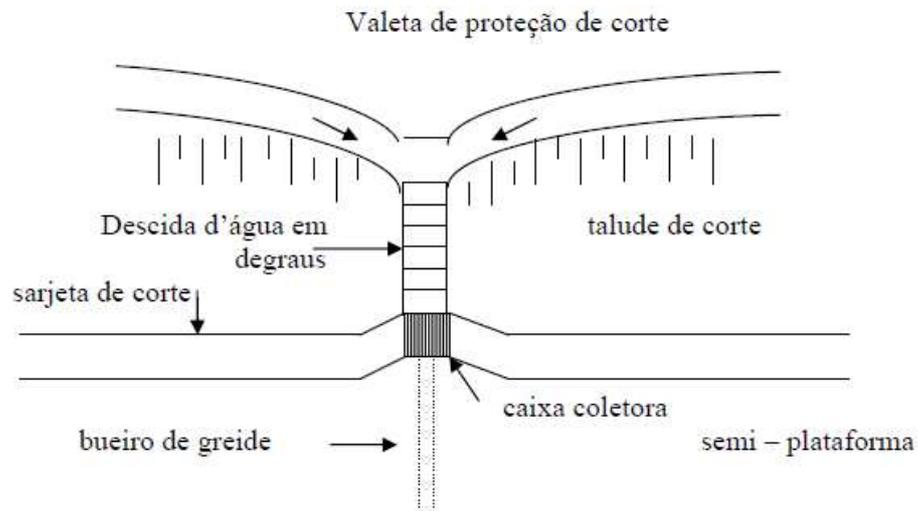
Figura 3 – Descida d'água rápida



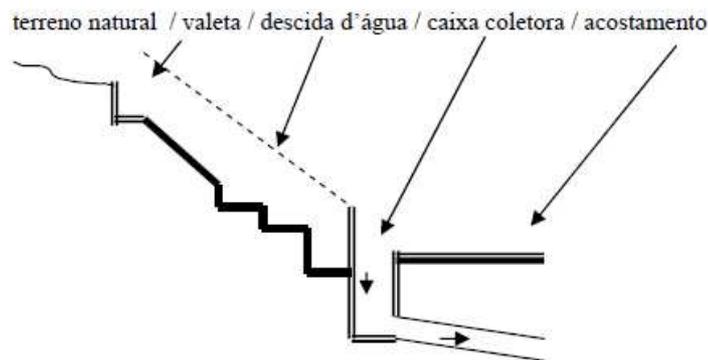
Fonte: JABÔR (2011, p. 100)

Figura 4 – Descida d'água em degraus

Planta:



Corte:



Fonte: JABÔR (2011, p. 102)

- g) soleira de dispersão – São dispositivos destinados a dissipar a energia do fluxo d'água, reduzindo conseqüentemente sua velocidade de modo que não haja risco de erosão no final das saídas d'água, descidas d'água, valetas de proteção e bueiros.
- h) caixa coletora – têm por finalidade coletar as águas oriundas das sarjetas de corte, das descidas d'água dos cortes e talwegues, conduzindo-as para fora do corpo estradal através dos bueiros de greide ou bueiros de grotá
- i) sarjetas de banquetá de corte e aterro – são dispositivos que tem como objetivo captar e conduzir as águas superficiais provenientes das

precipitações sobre os taludes e na plataforma das banquetas conduzindo longitudinalmente a um local de deságue seguro. Utiliza - se normalmente os mesmos dispositivos indicados para a valeta de proteção de corte, com a forma trapezoidal. A sarjeta de banqueta de corte deverá sempre ser conduzida para a valeta de proteção de corte (JABÔR, 2011).

O projeto de drenagem profunda tem como objetivo o dimensionamento dos dispositivos e a especificação dos materiais mais adequados, para promover a interceptação e/ou remoção, coleta e condução das águas provenientes do lençol freático e da infiltração superficial nas camadas do pavimento, de modo a garantir a vida útil estimada para o pavimento.

A visita técnica ao campo é de fundamental importância para a garantia de um bom projeto.

Os principais indicadores da necessidade da implantação de um dreno profundo longitudinal no pé do corte são:

- Ensaio de umidade natural do solo coletado no mínimo a uma profundidade de 1,50m;
- Afundamentos em trilhas de roda;
- Existência de vegetação característica de regiões úmidas, ex: samambaia;
- Informações junto aos usuários da via de atoleiros no período chuvoso;
- Altura dos cortes;
- A extensão e conformação da encosta de montante;
- Cursos d'água próximos ao trecho em estudo.

São integrantes da drenagem profunda os seguintes dispositivos:

a) O dreno profundo longitudinal que é utilizado para interceptar e/ou rebaixar o lençol freático, tendo como objetivo principal proteger a estrutura do pavimento. A indicação de drenos longitudinais profundos é feita após análise conjunta dos resultados de sondagens e ensaios, verificações de umidade e observação de campo.

b) O dreno espinha de peixe, destinados à drenagem de grandes áreas, pavimentadas ou não. São usados em série, em sentido oblíquo em relação ao eixo longitudinal da rodovia, ou área a drenar. Geralmente são de pequena profundidade

e, por este motivo, sem tubos, embora possam eventualmente ser usados com tubos. Podem ser exigidos em cortes quando os drenos longitudinais forem insuficientes para a drenagem da área. Podem ser projetados em terrenos que receberão aterros e nos quais o lençol freático estiver próximo da superfície. Podem também ser necessários nos aterros quando o solo natural seja impermeável.

c) Os drenos sub-horizontais são aplicados para a prevenção e correção de escorregamentos nos quais a causa determinante da instabilidade é a elevação do lençol freático ou do nível piezométrico de lençóis confinados.

d) O Colchão Drenante que tem como objetivo drenar as águas existentes situadas à pequena profundidade do corpo estradal, quando forem de volume tal que possam ser drenadas pelos drenos “espinha de peixe”. São utilizados:

- Nos cortes em rocha;
- Nos cortes em que o lençol freático estiver próximo ao terreno natural;
- Nos aterros sobre terrenos impermeáveis.

A remoção das águas coletadas pelos colchões drenantes deverá ser feita por drenos longitudinais.

e) Terminal de Dreno Profundo, os quais deverão, na transição corte/aterro, defletir-se de cerca de 45° , com raio de curvatura da ordem de 5 m, prolongando-se além do bordo da plataforma, de modo que o deságue se processe, no mínimo, a um metro do *off-set*.

Nos cortes extensos os drenos deverão ser ligados às caixas coletoras.

f) Os Drenos Subsuperficiais de Pavimento são dispositivos que tem como função receber as águas drenadas pela camada do pavimento de maior permeabilidade conduzindo-as até o local de deságue. Quando o VMD-Volume Médio Diário de Tráfego de uma rodovia for maior ou igual a 3.000(três mil) veículos e a solução de pavimento prever revestimento com massa asfáltica, haverá necessidade do ensaio de permeabilidade das camadas do pavimento.

São dois os tipos de Drenos de pavimento:

1) Drenos laterais de base, drenos longitudinais, devendo ser posicionados no bordo do pavimento para dentro da sarjeta, abaixo da face superior da camada de maior permeabilidade.

2) Drenos transversais, são drenos que tem como função interceptar, captar e conduzir as águas que, atravessam as camadas do pavimento e escoam no sentido longitudinal (JABÔR, 2011).

Como se observa pela exposição acima, a manutenção e restauração de pavimentos rodoviários geram a necessidade de estudar e aplicar técnicas que retardem ou coíbam a degradação dos pavimentos. As rodovias ao longo de sua vida útil alteram sua condição de estanqueidade e permitem a formação de influxo para dentro da estrutura. As fontes potenciais de influxos são: infiltração superficial, água de capilaridade e transferências de água proveniente de áreas adjacentes úmidas. A infiltração superficial, sendo a fonte principal, é estabelecida pela quantidade de água que pode penetrar em uma estrutura tanto pela permeabilidade efetiva do revestimento e pelo suprimento de água disponível. A permeabilidade efetiva é representada pela permeabilidade do revestimento em uma área macroscópica incluindo os efeitos de descontinuidade como trincas, juntas e quaisquer outras áreas ou aberturas que permitam a penetração de água (JURACH et al, 2005).

Enquanto a drenagem superficial se constitui de um conjunto de medidas que são tomadas no sentido de afastar as águas que escoam sobre a superfície da rodovia ou nas proximidades da mesma, ou seja, coletar as águas precipitadas sobre a plataforma, taludes ou ruas e encaminha-las a locais de escoamento natural e segura, a drenagem profunda utiliza dispositivos subterrâneos executados com a finalidade de evitar que as águas profundas atinjam o pavimento ou a superfície da estrada (FONSECA et al, 2007, DELGADO; 2008).

A drenagem superficial deve evitar, assim, que essa água venha a danificar a plataforma e/ou atingir a estrada. Para tanto, são construídos adequados dispositivos que coletam a água e a removem, conduzindo-a para os canais naturais. No caso da chuva que cai diretamente sobre a pista de rolamento, as medidas a serem tomadas, e que evitam sua infiltração ou acumulação, consistem na adoção de declividades adequadas para a seção transversal, bem como na adoção de pavimento, cujo revestimento seja praticamente impermeável (BRASIL, 2010, p. 57).

Na drenagem por transposição de talvegues busca-se possibilitar a passagem da água de um para outro lado da estrada, usada na travessia de cursos d'água, utilizando-se de bueiros (obras de arte correntes), pontilhões e pontes (obras de arte especiais).

No caso da transposição de talvegues, essas águas originam-se de uma bacia e que, por imperativos hidrológicos e do modelado do terreno, têm que ser atravessadas sem comprometer a estrutura da estrada. Esse objetivo é alcançado com a introdução de uma ou mais linhas de bueiros sob os aterros ou construção de pontilhões ou pontes transpondo os cursos d'água, obstáculos a serem vencidos pela rodovia (BRASIL, 2010, p. 54).

Pois bem, a Conservação Rodoviária de Caráter Rotineiro e Preventivo, conceituada como o conjunto de serviços que são executados ao longo das rodovias, de acordo com padrões ou níveis pré-estabelecidos, visando manter os elementos construtivos das rodovias tão próximos quanto possível, atendidos os preceitos técnicos e econômicos, das condições originais em que foram construídos (ou reconstruídos), objetivam preservar os investimentos, garantir a segurança do tráfego e o conforto do usuário, além de manter o fluxo racional e econômico dos veículos (DNIT, 2005).

Como visto, a drenagem é uma das atividades ou componentes da infraestrutura, portanto, a conservação rotineira dos dispositivos de drenagem e obras-de-arte correntes das rodovias deverá garantir boas condições de captação, escoamento e destinação das águas, para manter as características de aderência das pistas, preservar as estruturas e oferecer conforto e segurança aos usuários.

Para que a drenagem das estradas funcione adequadamente é preciso escolher o método de drenagem mais apropriado com vistas a atingir às necessidades de um determinado trecho ou rodovia. Em se tratando de atravessar rodovias, por exemplo, esses métodos podem ser destrutivos como abertura de valas ou não destrutivos como o bueiro metálico e túnel bala ou o Novo Método de Tunelamento Austríaco (NATM).

Quando se trata da drenagem superficial, o projeto visa o posicionamento e detalhamento dos dispositivos que tem por finalidade coletar as águas precipitadas sobre a plataforma, taludes ou ruas e encaminhá-las a locais de escoamento natural e seguro (DELGADO, 2008).

Segundo Jabôr (2011) o projeto de drenagem superficial tem como objetivo o dimensionamento dos dispositivos para que tenham capacidade de coletar e conduzir as águas que precipitam sobre a rodovia e suas adjacências, para um local de deságue seguro, garantindo a integridade do corpo estradal e o fluxo contínuo

dos veículos com segurança. O cuidado principal que se deve ter num projeto de drenagem superficial é o seu local de deságue.

De acordo com Morales (2003, p. 31) “a drenagem superficial deverá evitar que essa água atinja a estrada, motivo pelo qual se constroem canais que as coleta e removem, ou, então, tomam-se medidas que evitem sua infiltração ou acumulação através de declividades adequadas, etc.”.

Dentre os dispositivos de drenagem superficial, que podem ser utilizados para transposição de talvegues, estão os bueiros e as descidas d’ água de corte, de aterro dentre outros como pontes e pontilhões.

1.4.1.1 Bueiros para transposição de talvegues

Assim como as pontes e os pontilhões, os bueiros destinam-se a permitir a passagem, de um lado para o outro da rodovia, das águas que escoam por talvegues definidos no terreno natural.

Os bueiros são definidos como condutos destinados à passagem das águas provenientes de bacias hidrográficas próximas à rodovia e possuem como elementos constituintes o corpo e as bocas.

O corpo é a parte situada sob o aterro, de forma e ação geralmente constantes, podendo ser executada em tubos, células, arcos, etc. e as bocas estão de montante a jusante, arrematando externamente o corpo. Contribuem para fixação do bueiro, favorecem a entrada e saída do fluxo, com um mínimo de perturbação turbilhonar. A boca de um bueiro é constituída de soleira, muro de testa e alas. Algumas vezes a boca de montante é substituída por caixa coletora ou poço para a condução das águas para o corpo do bueiro; isto se torna necessário quando a cota de entrada tenha de se situar abaixo do nível do terreno natural (ALMEIDA, 2007).

Os bueiros podem ser classificados quanto a forma da seção (tubular, celular ou especial); quanto ao número de linhas (simples ou múltiplo); quanto à rigidez (rígido, semirrígido ou flexível); quanto ao material (de concreto, metálico ou outro tipo); quanto à esconsidade (normal ou esconso) (JABOR, 2011; ALMEIDA, 2007).

1.4.1.2 Descidas d' água

São dispositivos de drenagem transversal que tem como objetivo conduzirem as águas provenientes das sarjetas de aterro quando é atingido seu comprimento crítico e nos pontos baixos das curvas verticais côncavas, desaguardando em terreno natural (JABOR, 2011).

São dois os tipos de dispositivos de descida d'água: Rápido e em degraus.

A descida d'água em degraus poderá ser em concreto simples ou em concreto armado, dependendo do tipo de solo e das condições para sua implantação.

Segundo Jabor (2011, p. 101) “o revestimento em concreto do dispositivo deverá ter 15,0cm de espessura e resistência a compressão a 28 dias , $F_{ck} > 15,0$ Mpa”.

No aterro, as descidas d'água conduzem as águas provenientes das sarjetas de aterro quando é atingido seu comprimento crítico, e, nos pontos baixos, através das saídas d'água, desaguardando no terreno natural.

As descidas d'água também atendem, no caso de cortes e aterros, às valetas de banquetas quando é atingido seu comprimento crítico e em pontos baixos.

Não raramente, devido à necessidade de saída de bueiros elevados desaguardando no talude do aterro, as descidas d'água são necessárias visando conduzir o fluxo pelo talude até o terreno natural. Posicionam-se sobre os taludes dos cortes e aterros seguindo as suas declividades e também na interseção do talude de aterro com o terreno natural nos pontos de passagem de corte-aterro (DNIT, 2006).

No final de uma descida d'água de aterro, quando a topografia for plana e existir vegetação do tipo grama, não haverá necessidade de implantar dissipador de energia.

1.4.2 Consequências do mau dimensionamento de sistemas de drenagem e falta de manutenção preventiva de sistema de drenagem

Como em toda e qualquer obra, a execução de serviços de manutenção ou reparos de uma rodovia, ou um trecho desta, exige a composição de pessoal, equipamentos, ferramentas, materiais, metodologia, um projeto, etc.

Se optar-se por uma manutenção preventiva os custos serão menores, pois menor será o tempo gasto assim como os materiais, a mão-de-obra, ao contrário, quando passa-se à necessidade de recuperação, todos os custos, sejam eles diretos ou indiretos tendem a aumentar.

Com a conservação rotineira adequada, mais a execução do reforço estrutural do pavimento, devida e oportunamente projetado e executado, uma rodovia pavimentada nunca se deteriorará até chegar ao mau estado, quando é necessária a restauração ou mesmo a reconstrução do pavimento (DNIT, 2005, p. 312).

Quando bueiros e descidas d'água não são dimensionados corretamente, bem como negligencia-se na manutenção preventiva, teremos implicações de custo maior, como por exemplo, decorrente de erosão a jusante e/ou inundação a montante, surgindo as intervenções de emergência, muitas delas objetivando resolver problemas causados por mau dimensionamento ou dimensionamento inadequado dos dispositivos de drenagem, associados a falta de conservação ou mesmo a uma conservação inadequada (JABOR, 2004).

CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

Optou-se por utilizar como metodologia o estudo de caso que tem como base a pesquisa bibliográfica, a qual no entendimento de Cervo; Bervian e Silva (2007, p. 60):

busca explicar um problema a partir de referências publicadas em artigos, livros, dissertações e teses, podendo ser realizada independentemente ou como parte da pesquisa descritiva ou experimental. É meio de formação por excelência e constitui o procedimento básico para os estudos monográficos, pelos quais se busca o domínio do estado da arte sobre determinado tema.

Lakatos e Marconi (2007) também explicam de maneira sucinta que a pesquisa bibliográfica é um apanhado geral sobre os trabalhos já publicados sobre o tema.

O estudo de caso, no entendimento de Yin (2001) é um modo de pesquisa empírica que investiga fenômenos contemporâneos em seu ambiente real, quando os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidos; quando há mais variáveis de interesse do que pontos de dados; quando se baseia em várias fontes de evidências; e quando há proposições teóricas para conduzir a coleta e a análise dos dados.

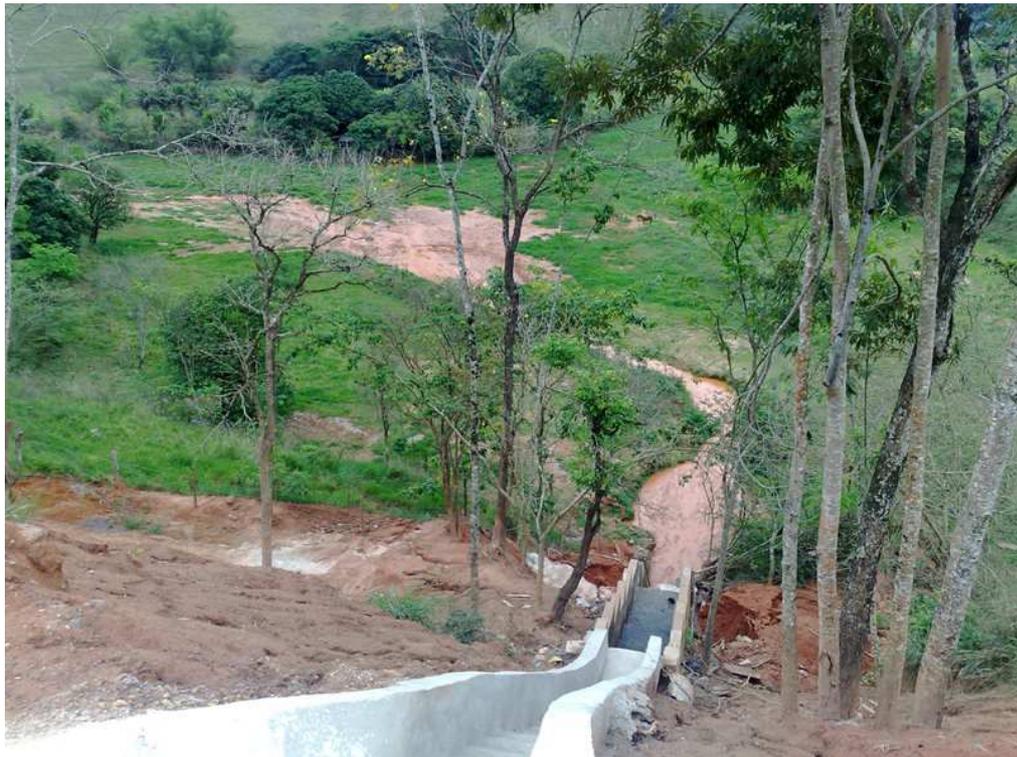
Atendendo a este tipo de pesquisa foram utilizados livros técnicos, artigos científicos disponibilizados em sítios de fontes confiáveis e normas técnicas de departamentos governamentais como o DNIT, além é claro de uma situação real aludida aos objetivos propostos.

CAPÍTULO 3 – ESTUDO DE CASO

Utilizou-se neste trabalho uma situação real acontecida na rodovia LMG-615, trecho Eugenópolis – Antônio Prado de Minas (Minas Gerais) que tem uma extensão de 13,00 km.

No Km 11,1 devido a um problema ocorrido em um dispositivo de drenagem (Descida d'água em degraus, Largura=1,20 m, DR.DSA-03) com 28,0 m de comprimento, no qual não foi feita a devida manutenção preventiva, levou ao rompimento do bueiro e, por conseguinte, da própria rodovia, conforme ilustrado na sequência.

Figura 5 - Vista da Descida d'água em aterro, em degraus na jusante do bueiro



Após um período chuvoso ocorreu uma erosão no aterro que foi descalçando a descida levando a ruína da mesma, conforme imagem abaixo:

Figura 6 - Erosão no aterro



O aterro com 24m de altura, devido a um período de chuva intensa, começou a erosão no corpo do aterro até o pé do aterro.

Figura 7 - Erosão no aterro



Figura 8 – Rompimento da descida



Como descrito acima, e devido a falta de manutenção uma simples recuperação do aterro e da descida d'água, que rompeu e acabou entupindo a boca do bueiro, onde em um outro período chuvoso mais intenso gerou um problema enorme, onde originou a quebra do BSTC Ø 1,00m levando assim ao rompimento da pista levando até a interdição da rodovia como descrito nas imagens abaixo:

Figura 9 - Rompimento do bueiro e da estrada



Uma simples erosão no aterro e conseqüentemente a quebra da descida d'água originou todo este estrago, prejudicando assim o direito dos usuários de trafegarem pela estrada.

Figura 10 - Vista da pista rompida



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Vimos que a água é considerada a maior causadora de problemas em rodovias e que um projeto de drenagem é muito importante, garantindo a integridade da rodovia e a vida útil estimada para o pavimento desta.

Do sistema de drenagem participam dispositivos que objetivam garantir a integridade do corpo da estrada e do seu entorno, bem como a segurança daqueles que transitam por elas.

Para que um sistema de drenagem seja eficaz ele depende não somente de um bom projeto e construção adequada, mas de manutenção.

A drenagem superficial deverá evitar que essa água superficial venha a danificar a plataforma e/ou atingir a estrada. Para tanto são construídos adequados dispositivos que coletam a água e a removem, conduzindo-a para os canais naturais. No caso da chuva que cai diretamente sobre a pista de rolamento, as medidas a serem tomadas e que evitam sua infiltração ou acumulação consistem na adoção de declividades adequadas para a seção transversal - bem como na adoção de pavimento cujo revestimento seja praticamente impermeável.

Entender como funciona um sistema de drenagem requer conhecimentos básicos de hidrologia, estudos topográficos, geotécnicos, bem como o projeto de drenagem em si e, evidentemente, tipos de estruturas e métodos a serem utilizados.

No estudo da drenagem de rodovias, é essencial entender o ciclo hidrológico - movimento contínuo das águas presentes na atmosfera e nos continentes. Nestes últimos, a água precipitada pode seguir vários caminhos entre eles: evaporar e retornar à atmosfera; infiltrar-se, percolar no solo ou rochas, formar aquíferos, ressurgir na superfície em forma de nascentes, etc., pode também fluir entre os espaços vazios dos solos e rochas, armazenando-se e formar novos aquíferos.

Quando a precipitação é maior do que a capacidade de absorção do solo escoar pela superfície, situação em que pode causar vários transtornos para a sociedade. De todo modo, tanto as águas superficiais quanto as profundas podem afetar e prejudicar obras em andamento e rodovias concluídas.

O estudo de caso apresentado mostrou claramente o quanto é importante a manutenção preventiva. Se esta fosse aplicada os custos seriam muito menores,

bem como o trânsito não seria afetado impedindo pessoas de ir e vir, evitando também uma parada na economia local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBANO, João Fortini. **Noções de drenagem de rodovias**. Porto Alegre: UFRGS, 2007.

ALMEIDA, Gil Carvalho Paulo de. **Drenagem rodoviária**. Livro livre, 2007. Disponível em: <ftp://ftp.ifes.edu.br/.../Drenagem%20Rodoviária/Apostila%20de%20dren> Acesso em: 15 out. 2013.

BRASIL. **Lei n. 6.261 de 14 de novembro de 1975**. Dispõe sobre o Sistema Nacional dos Transportes Urbanos, autoriza a criação da Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos e dá outras providências. Disponível em: <http://legis.senado.gov.br/legislacao/ListaPublicacoes.action?id=123071> Acesso em: 10. set 2013.

CERVO, Amado L.; BERVIAN, Pedro A.; SILVA, Roberto da. **Metodologia científica**. 6 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

DELGADO, Neila Carvalho Ferreira. **Hidrologia na drenagem das rodovias**. Belo Horizonte: CEFET/MG, 2008.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Impactos sociais e econômicos dos acidentes de trânsito nas rodovias brasileiras – Relatório Executivo**. Brasília: IPEA/DENATRAN/ANTP, 2006. Disponível em: http://www.denatran.gov.br/publicacoes/download/custos_acidentes_transito.pdf Acesso em: 10. Abr. 2013.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de conservação rodoviária**. 2 ed. Publicação IPR 710. Rio de Janeiro, 2005.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de drenagem de rodovias**. Publicação IPR 724. 2 ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de implantação básica de rodovia**. 3 ed. Publicação IPR 742. Rio de Janeiro, 2010.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Terminologias rodoviárias usualmente utilizadas**. Brasília: Ministério dos transportes/DNIT, 2007.

DNIT. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. Rio de Janeiro: DNIT, 2005.

FERNANDES, Renato de Oliveira. **Drenagem superficial da rodovia**. Universidade Regional do Cariri – URCA, 2011. Disponível em: wiki.urca.br/dcc/lib/exe/fetch.php?media=drenagem-superficial.pdf Acesso em: 10 nov. 2013.

FONSECA, Danilo Antônio Oliveira et al. **Drenagem rodoviária (2007)**. Livro livre. Disponível em:

<ftp://ftp.cefetes.br/.../Drenagem%20Rodoviária/Apostila%20de%20drenage> Acesso em: 10 mar. 2013.

JABÔR, Marcos Augusto. **A Importância da Drenagem na Vida Útil da Rodovia**. Associação brasileira dos fabricantes de tubos de concreto (2004). Disponível em: <ftp://ftp.ifes.edu.br/.../Drenagem%20Rodoviária/Apostila%20de%20dren> Acesso em: 15 out. 2013.

JABÔR, Marcos Augusto. **Drenagem de rodovias**: estudos hidrológicos e projeto de drenagem, 2011.

JURACH, Adalberto et al. **Drenos superficiais como medida de manutenção de pavimento: implantação e avaliação da EFICI**. 36^a Reunião Anual de Pavimentação. Curitiba (PR), 2005.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M de A. **Fundamentos da Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2007.

LEÃO, Marta R.; FREITAS, Michele S.; BENDER, Mônica. **Drenagem de pavimentos**. Rio Grande: Fundação Universidade Federal do Rio Grande, 2007. Disponível em: <dmc.furg.br/disp04091/trabalho/grupo%2007.pdf> Acesso em: 10 nov. 2013.

LUZ, Valter Vicente Cordeiro da. **Avaliação sobre o projeto de drenagem da duplicação da rodovia jornalista Francisco Aguirra Proença**. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2009.

MENDONÇA, Cláudio. **Transporte rodoviário**: Por que o Brasil depende tanto desse sistema (2006). Disponível em: <http://educacao.uol.com.br/disciplinas/geografia/transporte-rodoviario-por-que-o-brasil-depender-tanto-desse-sistema.htm> Acesso em: 10 nov. 2013.

MORALES, Paulo Roberto Dias. **Curso de drenagem urbana e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2003.

RIBEIRO, Rogério Lemos. **Qualidade de viagens e manutenção de equipamentos de drenagem de rodovias na região de Araraquara, estado de São Paulo, Brasil**. São Carlos: USP, 2006. Dissertação de mestrado.

SILVA, Elisabete Maria Duarte. **Drenagem subterrânea em estradas**. Porto: Faculdade de Engenharia do Porto, 2009. Disponível em: <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/59403/1/000136731.pdf> Acesso em: 15 out. 2013.

VIEIRA, Flávio Augusto Moreira. **Execução de túneis em N.A.T.M. (New Austrian Tunneling Method)** para obras de saneamento. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2003. Disponível em: <http://engenharia.anhembi.br/tcc-03/civil-23.pdf> Acesso em: 10. Abr. 2013.

YIN, Robert K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.