

NEILA CARVALHO FERREIRA DELGADO

HIDROLOGIA NA DRENAGEM DAS RODOVIAS

Belo Horizonte
2008

NEILA CARVALHO FERREIRA DELGADO

HIDROLOGIA NA DRENAGEM DAS RODOVIAS

Monografia apresentada ao curso de Especialização em transporte e Trânsito do Programa de Pós-Graduação Lato Sensu do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG, como requisito parcial à obtenção do título de especialista.

Área de Concentração:
Orientador: Flávio Renato Pádua

Belo Horizonte
2008

“Se tens que lidar com água, consulta primeiro a experiência e a razão.”

Leon

Dedicatória:

Ao meu filho,
Renato Carvalho Jacques Delgado

Agradecimentos:
A Deus por tudo e a memória do meu
marido Guilherme Jacques Delgado.

RESUMO

O objetivo desta Monografia é mostrar de forma simples e prática, os princípios básicos para desenvolver um projeto de drenagem de rodovias.

Século XX foi à época que aconteceu a maior preocupação com a hidrologia e seu maior desenvolvimento. Foram à necessidade e o surgimento de grandes obras hidráulicas em várias partes do mundo.

Com o uso de aparelhos de maiores tecnologias a Engenharia e com base nos levantamentos de campo, nas verificações de solos, vegetação, cartas geográficas fornecidas pelo IBGE, vários órgãos governamentais e estaduais, demais componentes responsáveis ao estudo da água, viraram fontes de informações de hidrologia, principalmente no desenvolvimento de projeto de estradas do DER/MG.

Graças a pesquisas persistentes como *Hydraulics of Runoff from Developed Surfaces*, for Carl F. Izzard, *Proceedings of the 26th Annual Meeting of the Highway Research Board*, Washington, D.C. December 5-8, 1946; *Handbook of Applied Hydrology*, Ven Te Chow, Editor-in-Chief, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 1964; *Hydrograph Analysis*, volume 4, HEC-1HD-400, 1973, Hydrologic Engineering Center, Corps of Engineers, 609 Second Street, Davis California; *Rainfall-Runoff Data Small Watersheds in Colorado*, June 1972 through September 1973. USGS Water Resources Data Release, Denver District; *Hydrology – Second Edition* for Chester O. Wisler e Ernest F. Brater (professores de Engenharia Hidráulica da

Universidade de Michigan (tradução em português Hidrologia Eng^o Leonino Júnior e revisão Eng^o Antônio Lopes Pereira, Rio de Janeiro, 1964) e outras obras mais, têm sido desenvolvidas para completar nossos conceitos anteriores e melhorar cada vez nossas técnicas a respeito do assunto.

A hidrologia tem mostrado bons resultados. Trabalhando junto ao meio ambiente, a topografia, a geometria e a pavimentação, as novas obras hidráulicas têm apresentado melhores dimensionamentos com equilíbrio de custos, qualidade e segurança na coleta e remoção das águas.

O Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais – DER/MG, juntamente com sua Diretoria de Projetos na Gerência de Hidrologia e Drenagem, que trabalha diretamente com projetos de estradas nesta área, tem mostrado estudos, pesquisas e alternativas para a drenagem de nossas estradas, inclusive no plano de Governo que temos a cumprir, especificamente no PROACesso.

Uma das inovações que já começa ser implantado nos projetos das estradas do DER/MG, quer dizer as MGs, são as bacias de acumulação, executadas as margens das rodovias no sentido de reaproveitamento e captação das pluviais.

Segundo a apostila “Captação e Aproveitamento de Águas Pluviais das Estradas”, autor Aloysio Miguel Acra, 2^a impressão, Campinas, Coordenação de Assistência Técnica Integral, 1988, 12 p. ilustrada, 21cm (Boletim técnico, 185), CDD 6317 disse:

“Como as águas pluviais constituem a principal causa dos estragos ocasionados pela erosão nas estradas, reveste-se de grande importância à captação dessas águas, de forma a eliminar seu trabalho destruidor, acumulando-se em locais, forçando sua

penetração na terra, favorecendo o abastecimento do lençol freático e, conseqüentemente, alimentando fontes e nascentes naturais”.

A drenagem é a resolução dos estudos hidrológicos. É o dimensionamento tipo, funcionamento e posição da obra, verificação hidráulica, dispositivos capazes de captar e conduzir toda a água que venha atingir o leito da estrada.

Outra alternativa para a drenagem subterrânea e superficial são os valetões laterais que já estão em uso a mais tempo. São valas abertas nos cortes, junto à plataforma do segmento da rodovia, obedecendo algumas diretrizes para o projeto.

Portanto a hidrologia e a drenagem têm procurado buscar cada vez mais, novas tecnologias com bons resultados e com um orçamento bem menor.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
8. Ciclo Hidrológico.....	16
9. Resumo do Ciclo Hidrológico.....	17
10. Fases do Ciclo Hidrológico.....	18
11. Etapas.....	18
12. HIDROLOGIA NA DRENAGEM DAS RODOVIAS.....	19
12.1 - Estimativa dos recursos hídricos de uma região.....	19
12.2 - Projeto e construção de obras hidráulicas.....	21
12.3 - Drenagem.....	21
12.4 - Projeto e construção de barragens.....	21
12.5 - Irrigação.....	21
12.6 - Construção de açudes e bacias de construções.....	21
12.7 - Navegação.....	21
12.8 - Aproveitamento hidroelétrico.....	21
13. PLUVIOMETRIA.....	22
- Medidas de Precipitação.....	22
14. FREQÜÊNCIA DE TOTAIS PRECIPITADOS.....	23
TIPOS DE CHUVA.....	23
Tempo de Recorrência.....	24
17.1 Drenagem Superficial.....	26
17.2 Drenagem de Grotas.....	27
17.3 Drenagem Profunda ou Subterrânea.....	30
18. Obras de Arte Especiais – Pontes.....	33

1. INTRODUÇÃO

A Hidrologia é a ciência que estuda a ocorrência, distribuição e movimento da água no planeta Terra. A definição deve ser ampliada para incluir aspectos de qualidade da água, ecologia, poluição e descontaminação.

É uma ciência natural no passado, no presente e no futuro. Faz parte da nossa forma de viver e da vida terrestre.

Segundo apostila 'CURSO DE DRENAGEM DE RODOVIAS', escrita pelo Engenheiro Civil do DER/MG, Marcos Augusto Jabôr, Gerente da Gerência de Hidrologia e Drenagem na Diretoria de Projetos, define a hidrologia como:

“Ciência básica cujo conhecimento é imprescindível ao Engenheiro Civil, ao Agrônomo, ao Ecologista ou Ambientalista, ao Geógrafo, ao Geofísico e a muitos outros profissionais”.

A. Meyer define a Hidrologia como: “Ciência natural que trata dos fenômenos relativos à água em todos os estados, da sua distribuição e ocorrência na atmosfera, na superfície terrestre, no solo, e da relação desses fenômenos com a vida e com as atividades do homem”.

È influenciada pela fisiografia regional: posição relativamente aos oceanos, presença de montanhas que possam influenciar a precipitação, fortes declividades de terrenos possibilitando rápidos escoamentos superficiais, depressões, lagos ou baixadas capazes de retardar ou armazenar o deflúvio, etc...

Com o desenvolvimento da civilização, a rivalidade e a competição, pela utilização e controle dos recursos de água, têm se desenvolvido e tornado cada vez maior.

O Engenheiro Hidrologista antes de quaisquer Estudos Hidrológicos e de qualquer Projeto de Drenagem, é feito uma triagem de pesquisas com uma bagagem enorme de informações. "Tudo isto, o Hidrólogo e Drenólogo soma com os métodos fornecidos pelo Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura, contido na obra do Engenheiro Otto Pfafstetter - 'Chuvas Intensas no Brasil', Ministério da Viação e Obras Públicas - DNOS, 1957.

Além de outros métodos tradicionais como de Peltier ET Bonnenfant, Burki-Ziegler, Ven Te Chow, método das Isozonas, desenvolvido pelo Engenheiro José Taborga Torrico, fazendo parte de sua obra "Práticas Hidrológicas", Rio de Janeiro, TRANSCON, 1974 - 120 páginas, e por último e mais recente estudo publicado em 2001 elaborado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA, com a cooperação científica da Universidade Federal de Viçosa, chamado "Equações de Chuvas Intensas no Estado de Minas Gerais", onde foram determinadas 193 Equações de Postos contendo dados pluviográficos, sendo 177 no Estado de Minas Gerais, 11 no Espírito Santo e 05 na Bahia, sendo os dois últimos nos limites com o Estado de Minas Gerais.

São métodos utilizados para os cálculos dos Estudos Hidrológicos do projeto do trecho da estrada, da área da bacia, da declividade, do tempo de concentração, tempo em ponta, da intensidade, da precipitação, do Runoff e da vazão.

É importante, que seja bem detalhado os Estudos Hidrológicos desde a delimitação da bacia , o clima, a vegetação, o solo até a vazão, para que o Hidrólogo e Drenólogo possa conduzir melhor a água e conseguir projetar e dimensionar aquela obra mais adequada ao local do estudo.

A partir daí, entra os estudos realmente da água, da qual passará para projeto de drenagem em bacias de acumulação, ou obras hidráulicas. É o aproveitamento, reaproveitamento e o encaminhamento dos recursos dos d'água.

As bacias de acumulação colhem as águas das chuvas que escorrem pela superfície do solo, as quais normalmente provocam erosão nos seus variados tipos. Já as águas que se infiltram, em função das características próprias de cada solo, vão penetrar através das camadas ou horizontais do perfil do solo, abastecendo, dessa forma, o lençol freático e vão reforçar as águas das minas. Estas bacias além de serem benéficas ao meio ambiente e ao trabalhador rural, são também de baixo custo.

A drenagem é detalhada pelos dispositivos com a finalidade de coletar as águas na plataforma, taludes, ruas, rodovias, escoamento natural.

Os valetões laterais são valas abertas nos cortes junto à plataforma com a finalidade conjunta de substituir os dispositivos de drenagem subterrânea e superficial. Tem mostrado vantagens adicionais, além da economia.

As obras de arte correntes são dispositivos da drenagem de grota e as obras de arte especiais são as pontes.

2. DEFINIÇÃO DE HIDROLOGIA

Segundo o livro HIDROLOGIA de Chester O. Wisler e Ernest F. Brater, define a hidrologia como: é a Ciência que se ocupa dos processos que regulam o enchimento e o esvaziamento dos recursos de água na parte sólida do globo terrestre. Tem por assunto o transporte da água no ar, na superfície da Terra e através das camadas da terra. É a ciência que trata das diversas fases do ciclo hidrológico. O conhecimento da hidrologia é de importância fundamental na solução de todos os problemas que dizem respeito ao fornecimento ou ao uso da água, seja para que destino for. Portanto a hidrologia é valiosa, não somente para a engenharia, como também para a silvicultura, a agricultura e outros ramos das ciências naturais.

“No estudo da água continental, tanto sob a forma superficial como subterrânea, deve ser lembrado, em primeiro lugar, o ciclo realizado pelas moléculas de água, conhecido como ciclo hidrológico.”

3. OBJETIVOS

Estudar e elaborar os estudos hidrológicos de uma região, preferencialmente em estradas/rodovias, permitindo projetar a drenagem ou avaliação de obras existente.

4. ESPECÍFICOS

Os estudos hidrológicos têm como finalidade especificar parâmetros de modo a caracterizar a região em estudo.

5. **JUSTIFICATIVA**

A justificativa da escolha é gostar de estradas e querer desafiar os mistérios da natureza. A água é um dos mais valiosos recursos naturais. Não há dúvida de que as estruturas hidráulicas, é devida diretamente mais as razões hidrológicas do que as deficiências estruturais.

E por me dedicar na área em estudo, entendo assim a importância de elaborar um estudo hidrológico para a execução de um projeto de drenagem.

6. **PROBLEMA**

Qual a importância do estudo da hidrologia no dimensionamento das grandes obras hidráulicas?

7. **METODOLOGIA**

Os estudos hidrológicos são desenvolvidos com o objetivo de prover os elementos básicos necessários à caracterização climática e pluviométrica da região do projeto, estabelecendo as correlações precipitação-escoamento e possibilitando a determinação das vazões máximas nas bacias hidrográficas em estudo, visando o adequado dimensionamento do sistema de drenagem.

COLETA DE DADOS

O desenvolvimento de estudos hidrológicos para qualquer finalidade, exige a pesquisa e coleta de dados básicos, envolvendo, principalmente, estudos existentes, informações cartográficas, informações pluviométricas e observações do campo.

As informações cartográficas são importantes na caracterização morfométrica das bacias hidrográficas em estudos.

A análise dos dados pluviométricos ou pluviográficos obtidos permitem a definição do modelo de chuvas representativo da região do projeto.

As observações de campo possibilitam a estimativa de parâmetros relativos ao solo, tipo de cobertura vegetal, determinação de percentagens de áreas permeáveis e impermeáveis, além de permitir a verificação "in loco" das condições de funcionamento de eventuais estruturas hidráulicas existentes na área.

Os elementos básicos obtidos, utilizados no desenvolvimento dos estudos são listados a seguir:

- Restituição aerofotogramétrica do IBGE;

- Caracterização climática, solos e vegetação da área de interesse, de acordo com a obra "Geografia do Brasil – Região Sudeste" da Fundação IBGE.
- Normas climatológicas (1961-1990) fornecido pelo Ministério da Agricultura e Reforma Agrária – Secretaria Nacional de Irrigação do Departamento Nacional de Meteorologia de Brasília – Brasil, 1992.
- "Chuvas Intensas no Brasil" (Engº Otto Pfafstetter);
- Dados de chuva da estação pluviométrica da região pesquisados pelas informações da ANNEEL.

- "Informações Hidrológicas" pelo ANA – Operadora CPRM; HIDROWEB – Operadora INNET e CEMIG.
- Equações de Chuvas Intensas no Estado de Minas Gerais (Universidade de Viçosa e COPASA 2001).
- IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas.

8. Ciclo Hidrológico

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 à 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.

9. Resumo do Ciclo Hidrológico

Como idéia básica o ciclo hidrológico pode ser resumido em:

9.1 - Parcela d'água que escorre sobre a superfície da terra, indo para os lagos, rios e mares. Este fluxo é corrente.

9.2 - Parcela que evapora no momento da caída da chuva, após a chuva e que retorna a atmosfera em forma de vapor.

9.3 - Parcela que é recolhida pela vegetação.

- Parte evapora-se.
- Parte escorre pelos galhos e troncos indo a terra.

9.4 - Parcela que é recolhida pelas lagoas e represas artificiais.

- Parte evapora-se.
- Parte infiltra-se.

9.5 - Parcela que infiltra em direção ao lençol freático, constituindo as descargas básicas dos cursos d'água.

È importante dizer da parcela que infiltra no solo e, de acordo com a cobertura vegetal mais densa, ou menos densa, parte dessa água alimenta essa vegetação e a parte restante alimenta o lençol subterrâneo, bem como, outra parte, por capilaridade, vem até a superfície da terra novamente, onde se evapora.

Existe, portanto um ciclo completo de evaporação, condensação, precipitação e escoamento, que se denomina ciclo hidrológico.

Ao Engenheiro projetista de Drenagem Urbana e Drenagem de Rodovias, interessam apenas as fases dos ciclos de precipitação e escoamento.

10.Fases do Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico engloba duas fases, uma atmosfera e outra terrestre. Cada uma dessas fases inclui:

10.1 - Armazenamento temporário de água.

10.2 - Transporte.

10.3 - Mudança de estado.

11.Etapas

Tendo em vista as aplicações, a Engenharia Hidráulica apresenta o ciclo hidrológico em (04) quatro etapas:

11.1 - Precipitações atmosféricas: chuva, granizo, neve, orvalho.

11.2 - Escoamentos subterrâneos: infiltração, águas subterrâneas.

11.3 - Escoamentos superficiais: torrentes, rios e lagos.

11.4 - Evaporação: na superfície das águas e no solo transpiração.

Em cada uma das fases do ciclo, o movimento da água é bastante diferente, variando tanto no espaço como no tempo.

Em certas ocasiões, a natureza parece trabalhar com descontrole ambiental, temporal, quando provoca chuvas torrenciais, que ultrapassam a capacidade dos cursos d'água provocando inundações, desmoronamentos, transtornos incontroláveis. Em outras ocasiões parece que todo o mecanismo do ciclo parou completamente e com ele a precipitação e o escoamento superficial.

È exatamente estes extremos de enchentes e de seca que mais interessa aos Engenheiros. Para a Engenharia Hidráulica são dados que devem levar em consideração ao projeto, principalmente no dimensionamento de uma obra, com a finalidade ou não de proteção contra estes mesmos extremos.

12.HIDROLOGIA NA DRENAGEM DAS RODOVIAS

12.1 - Estimativa dos recursos hídricos de uma região.

Análise da capacidade de mananciais, previsão e interpretação de variações na quantidade e qualidade das águas naturais.

BACIAS DE ACUMULAÇÃO

As águas das chuvas ao caírem sobre a superfície da terra, evaporam em parte, infiltrando outra parte e o excedente escoando em forma de enxurrada.

O primeiro passo, faz-se um levantamento topográfico visando às estradas, a partir do espigão (divisor de águas). A finalidade é captar as águas das chuvas nas bacias de retenção (cacimbas). As

bacias de retenção são locadas tecnicamente em função do declive e da área de exposição.

CONSTRUÇÃO DA BACIA

Preparo do leito da estrada.

No início dos trabalhos, faz-se necessário quebrar os barrancos das margens das estradas, procurando dar forma de talude, permitindo, assim, a locação das bacias.

Posteriormente se fará aplicação de corretivos e fertilizantes, com a finalidade de implantar a vegetação através de gramíneas rústicas.

Com isso, se obtém a estabilização dos taludes e proteção dos canais de admissão das águas nas bacias. Essas bacias podem ser redondas com um diâmetro de 30 (trinta) a 45 (quarenta e cinco) metros ou em forma geométricas retangulares e quadradas. Poderão ser executadas em série de 50 (cinquenta) em 50 (cinquenta) metros de distância de cada série.

No ponto central escava-se 01 (um) metro de profundidade, colocando-se fora essa terra, ficando teoricamente com 02 (dois) metros na sua altura maior. Deve-se aumentar a altura em mais ou menos 20% para o abatimento natural da terra, ou compactação com a própria máquina.

DISSIPADORES DE ENERGIA

Para os casos em que a velocidade das águas é grande, ocasionando estragos e erosão, sejam elas nos canais de admissão com mais de 0,5% de declive, ou nos trechos de estradas com comprimento de rampa grande, há necessidade de usar um dissipador de energia feito com tora de madeira, que consiste na

colocação de obstáculos com a finalidade de quebrar a velocidade das águas.

MANUTENÇÃO

Para melhor funcionamento do sistema, recomenda-se fazer manutenção anual, procedendo à remoção dos sedimentos acumulados no fundo da bacia, no período da seca.

12.2 - Projeto e construção de obras hidráulicas.

Dimensionamento de condutos ou dispositivos capazes de captar e conduzir as águas superficiais e subterrâneas, que chegam a rodovia, preservando a estrutura da via, dando-lhe segurança na sua operação, sem riscos durante as precipitações e controle de erosão. Fixação de seções de vazão em pontes, bueiros, galerias.

12.3 - Drenagem.

12.4 - Projeto e construção de barragens.

12.5 – Irrigação

12.6 - Construção de açudes e bacias de construções.

12.7 - Navegação.

12.8 - Aproveitamento hidroelétrico.

Previsão das vazões máximas, mínimas e médias dos cursos d'água para o estudo econômico- financeiro do aproveitamento; verificação da necessidade de reservatório de acumulação e, existindo este, determinação dos elementos necessários ao projeto e construção do mesmo; bacias hidrológicas, volumes armazenáveis, perdas por evaporação e infiltração, etc.

13. PLUVIOMETRIA

É o ramo da climatologia que se ocupa da distribuição das chuvas em diferentes épocas do ano.

– Medidas de Precipitação.

È a quantidade de chuva pela altura de água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável. Ela é avaliada por meio de medidas executadas em pontos previamente escolhidos, utilizando-se aparelhos chamados pluviômetros ou pluviógrafos, conforme sejam simples receptáculos da água precipitada ou registrem essas alturas no decorrer do tempo. Tanto um como outro colhem uma pequena amostra, pois têm uma superfície horizontal de exposição de 500cm², respectivamente, colocados a 1,50m do solo.

As leituras feitas pelo observador do pluviômetro, normalmente, em intervalos de 24 horas, em provetas graduadas, são anotadas em cadernetas próprias que são enviadas a ANA – Agência Nacional de Águas – Operadora CPRM, responsável pela rede pluviométrica, todo fim de mês. Elas se referem quase sempre ao total precipitado das 6 horas da manhã do dia anterior que se faz a leitura.

Os pluviogramas obtidos no pluviógrafo fornecem o total de precipitações acumulado no decorrer do tempo e apresentam grandes vantagens sobre medidores sem registro, sendo indispensáveis para o estudo de chuvas de curta duração.

Pluviômetro é o instrumento usado para medir a quantidade de chuva caída em determinado lugar e em determinado tempo.

Pluviógrafo é o instrumento que registra a quantidade, duração e intensidade da chuva caída em determinado lugar.

14.FREQUÊNCIA DE TOTAIS PRECIPITADOS

Analisa-se estatisticamente as observações realizadas nos postos hidrométricos, verificando-se com que frequência elas assumiram dada magnitude. Em seguida, podem-se avaliar as probabilidades teóricas de ocorrência das mesmas.

Os dados observados podem ser considerados em sua totalidade, o que constitui uma série total, ou apenas os superiores a certo limite (série principal), ou ainda só o máximo de cada ano (série anual). Este é o método da Califórnia.

Para períodos de recorrência bem menores que o número de anos de observação, o valor encontrado acima pode dar boa idéia no valor real, mas, para os menos frequentes deve ser ajustada a um cálculo correto com melhor probabilidade.

TIPOS DE CHUVA

Precipitação é a queda de água na superfície do solo, não somente no estado líquido-chuva como também no estado sólido-neve e granizo.

A ascensão do ar úmido é o processo que produz condensação e precipitações consideráveis; deste modo, as chuvas são classificadas segundo as causas do movimento ascendente, a saber:

- Chuva orográfica – é causada pela elevação do ar ao galgar e transpor cadeias de montanhas, produzindo precipitações locais, mais elevadas e freqüentes no lado dos ventos dominantes.
- Chuva ciclônica – é causada por ciclones com depressões centrais provocando movimentos atmosféricos ascendentes.
- Chuva de convecção – resulta dos movimentos ascendentes do ar quente mais leve do que o ar mais denso e frio o rodeia.

Dentre os fatores fisiográficos, os mais importantes são: a área, as formas, a permeabilidade, a capacidade de infiltração e a topografia da bacia.

As obras hidráulicas construídas na bacia, tal como uma barragem que, acumulando a água, reduz as vazões máximas do escoamento superficial e retarda a sua propagação.

Tempo de Recorrência

Tempo de recorrência (período de recorrência), tempo de retorno – é o intervalo médio de anos em que pode ocorrer ou ser superado um dado evento.

È a escolha e justificativa de um determinado período de retorno para determinada obra, prende-se a uma análise de economia e de

segurança da obra. Quanto maior for o período de retorno, maiores serão os valores das vazões de pico encontrados e mais seguros e cara a obra.

Para um extravasor de barragem, por exemplo, adotam-se períodos de retorno de 1000 a 10000 anos, posto que, acidentes neste tipo de obra, além de ocasionarem prejuízos incalculáveis, geralmente acarretam elevado número de vítimas.

Em se tratando de obras de canalização de cursos d'água de pequenas bacias de drenagem para controle de inundação, como é o caso comum, os problemas são obviamente atenuado e, portanto, o período de retorno a ser adotado será menor. Em geral, de acordo com a importância de obra, este período varia de 5 a 50 anos.

Para o dimensionamento hidráulico das obras de arte -pontes e bueiros- que são estruturas localizadas que dificilmente permitem melhorias posteriores e que podem constituir um ponto de estrangulamento, é mais conveniente a adoção de um período de retorno maior.

O período de retorno ele é interpretado pelo Engenheiro, respeitando os procedimentos dentro das normas é definido dentro do tempo de retorno com maior margem de segurança e melhor dimensionamento para a obra.

Tempo de Recorrência recomendado por Órgãos Rodoviários.

DNIT

Drenagem superficial – 5 a 10 anos

Drenagem profunda – 1 ano

Drenagem Grota – Bueiros tubulares – 10 anos a 25 anos e 50 anos (como orifício)

Pontilhões – 50 anos

Ponte – 100 anos

DER-MG

Rodovias Normais

Drenagem superficial – 10 anos

Drenagem profunda – 1 ano

Drenagem de grota – bueiros tubulares – 15 e 25 anos

Drenagem de grota – bueiros celulares – 25 e 50 anos

Pontes – 50 e 100 anos.

abrangência a faixa de 100m à esquerda e à direita, a partir do eixo estradal.

17. DRENAGEM

O projeto de Drenagem é dividido em:

17.1 Drenagem superficial

17.2 Drenagem de grota

17.3 Drenagem profunda ou subterrânea

17.4 Drenagem urbana

17.1 Drenagem Superficial

O projeto de drenagem superficial trata-se do 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 segura.

Os dispositivos de drenagem superficial são:

- Valeta de proteção de corte;
- Valeta de proteção de aturo;
- Abaulamento;
- Sarjeta de corte;
- Sarjeta de aterro;
- Sarjetas de banquetta de corte e aterro;
- Bueiro de greide;
- Boca de lobo;
- Caixa coletora;
- Saída d'água de corte;
- Saída d'água de aterro
- Descida d'água de corte;
- Descida d'água de aterro;
- Soleira de dispersão.
- Valetões laterais.

17.2 Drenagem de Grotta

Os bueiros ou galerias projetadas em fundo de grotta que são:

- Bueiros tubulares de concreto;
- Bueiros tubulares metálicos;
- Bueiros celulares de concreto;
- Bueiros celulares de concreto (pré-moldados)

Lembramos que em drenagem de rodovias, não é comum o uso de bueiro com tubo \varnothing 1,50m. O seu uso é inadequado em vista de ser muito pesado o que vem a dificultar o seu transporte até a o fundo da grotta e seu manuseio.

É aconselhável projetar bueiros tubulares em estradas até BTTC \varnothing 1,20m.

Os bueiros tubulares com diâmetro acima de 1,20m devem ficar restritos a áreas urbanas. O transporte desses tubos é feito por caminhões, que pelo diâmetro do tubo acaba transportando poucas unidades. Isto acarreta um sobre preço nos bueiros tubulares, tornando a obra mais cara.

Para que uma obra de arte corrente/especial seja bem dimensionada, é preciso que o estudo hidrológico e levantamento de campo sejam feitos por um profissional que além de ser Engenheiro Civil, que tenha um bom conhecimento em hidrologia, drenagem, geometria, meio ambiente e principalmente uma grande experiência de campo.

Os bueiros podem ser dimensionados como condutos livres ou condutos forçados. No caso das rodovias é comum serem dimensionados como condutos forçados admitindo-se uma relação de hw (altura da lamina d'água a montante do bueiro)/ d (diâmetro do tubo) de no máximo 2.

Capacidade de vazão para bueiros trabalhando como condutos livres:

$$Q = \frac{1}{n} S R^{2/3} d^{1/2} \quad e \quad V = \frac{1}{3} R^{2/3} d^{1/2} \quad \text{onde:}$$

Q = vazão em m^3/s

n = coeficiente de rugosidade (Robert Manning)

S = seção de vazão em m^2 .

R = raio hidráulico do condutor m/m .

Para obras de arte especiais.

$$Q = \frac{1}{n} S R^{2/3} d^{1/2} \quad S R^{2/3} = Q n / d^{1/2}$$

Q = vazão máxima pré-estabelecida em m^3/s .

n = coeficiente de rugosidade (Robert Manning)

D = declividade no local da travessia.

Fundação de Bueiros

A fundação dos bueiros é uma tarefa específica do Engenheiro Calculista, porém o Drenólogo deve ter um conhecimento básico para fazer uma avaliação inicial.

O ideal é que toda obra fosse assentada sobre solo firme com fundação direta. Com a visita "in loco" o Drenólogo deve identificar os locais de fundação direta ou necessidade de sondagem para avaliação e dimensionamento da fundação.

Quando necessário o tipo de sondagem deverá ser a percussão.

Tipos de Fundação

- Fundação direta;
- Fundação com empedramento;
- Fundação em estacas: metálicas, concreto ou pau roliço;
- Fundação para bueiro metálico.

Fundação Direta.

Todo bueiro que for executado sobre o solo firme, a fundação é direta. Contudo, mesmo que a fundação seja direta, é recomendado um pequeno empedramento, compactado com trator D-8, com objetivo de reforçar o solo de fundação, que geralmente apresenta a camada superficial fofa. Sobre o empedramento é executado o berço de concreto para melhor distribuição das tensões oriundas do peso do aterro e da carga móvel.

Há casos de obras de pouca responsabilidade, que o berço pode ser de cascalho compactado.

Fundação Com Empedramento

De posse da sondagem a percussão, os solos de fundação que apresentarem baixa resistência em até 2,00m de profundidade poderão ser reforçados com pedras.

Nestes casos o projeto de fundação deverá indicar um empedramento com pedra de mão de 0,50m, fortemente compactado com trator D-8.

Fundação Com Estacas

Quando o terreno de fundação apresenta solo de baixa resistência com profundidade maior que $h=2,00m$, a fundação tem que ser em estacas. O tipo de espaçamento das estacas é definido pelo projetista.

Fundação Para Bueiros Metálicos

Os bueiros metálicos aceitam melhor as deformações oriundas das pressões provocadas pelo peso do aterro e cara móvel. Portanto, se o solo for fraco, mas suportar o peso do aterro, o bueiro metálico irá ficar também estável, evitando o estaqueamento.

A fundação para bueiro metálico é chamada de estiva que é: bambu com pedra de mão no fundo do breco e argila nos selos na estrada e saída do tubo.

17.3 Drenagem Profunda ou Subterrânea

- Dreno profundo longitudinal;
- Dreno transversal;
- Dreno espinha de peixe;
- Colchão drenante;
- Dreno de talvegue;

- Dreno de pavimento.

VALETÕES

De acordo com as informações de Vaine, Roberto Edison – “Utilização de Valetões Laterais em Rodovias, como Alternativa para a Drenagem do Corpo Estradas”. Curitiba/PR. Janeiro de 1976. 14 páginas descreve:

É uma alternativa para a drenagem subterrânea e superficial dos cortes de rodovias. Consiste na execução de valetões laterais à plataforma como parte da operação normal de terraplenagem da estrada.

A forma, talude, largura, profundidade, etc., são indicados no estudo. A economia resultante da sua utilização em lugar dos dispositivos clássicos é considerável.

A série de vantagens adicionais, além da economia, justificam o seu emprego nas condições propostas.

- Drenagem
- Terraplenagem
- Segurança
- Paisagismo

O dreno subterrâneo profundo possui duas funções principais a saber:

- rebaixar o nível do lençol freático – e como conseqüência a franja – quando isto for possível.

- interceptar o lençol freático a montante do corpo estradal.

São valas abertas nos cortes junto a plataforma com a finalidade conjunta de substituir os dispositivos de drenagem subterrânea e superficial. Serão executados na operação normal de terraplenagem terão a forma triangular com talude 1:3 ou 1:4 adjacentes ao bordo da plataforma, escolhidos de acordo com a importância da rodovia, e o mesmo talude projetado para o corte (normalmente 1:1) no lado oposto.

Para que a cota de fundo do valetão reproduza aquela indicada para o fundo da vala do dreno profundo (1,50 m), distância horizontal entre o bordo da plataforma e o fundo do valetão deverá ser de 6,00 metros (talude 1:4) ou 4,50 metros (talude 1:3).

Desta forma, na realidade os cortes em solo onde estes valetões serão executados se transformam em falsos aterros. A superfície do valetão receberá revestimento vegetal.

Evidentemente neste caso para que possa haver uma compensação de volumes de cortes e aterros, o greide deverá estar situado a uma cota mais elevada do que estaria no caso normal.

Os taludes adjacentes ao bordo da plataforma são propositalmente suaves para não introduzir nos cortes problemas de segurança aos usuários da estrada.

A indicação de construção de valetões far-se-a após cuidadoso estudo comparativo entre ele e a adoção dos dispositivos convencionais de drenagem subterrânea optando-se em iguais condições técnicas, pela solução mais econômica

18. Obras de Arte Especiais – Pontes

Ao maior bueiro celular economicamente viável de ser executada é BTCC 4,00 x 4,00. É capaz de captar e escoar uma vazão de 156,0 m³/s. Para vazões maiores é mais econômico projetar obras de artes especiais (pontes).

Para cálculo de pontes, primeiro é feito os estudos hidrológicos que tem a caracterização do regime pluviométrico ao qual estarão sujeitos as obras de drenagem da rodovia.

Os estudos hidrológicos calculam a vazão das bacias contribuintes dos cursos d'água e, com a vazão de projeto calculada, o projetista de drenagem determina o tipo de obra de arte a executar em cada curso d'água.

Cabe a hidrologia e drenagem, determinar a cota mínima do greide nas travessias dos cursos d'água.

Para cálculo do vão das pontes há necessidade de levantamentos específicos, os quais chamam de levantamentos topo-batimétricos. Por definição, o levantamento topo-batimétrico consiste em determinar o relevo do fundo das áreas oceânica e fluvial. É este levantamento que vai fornecer os elementos necessários para o dimensionamento hidráulico das pontes.

A cota mínima do greide vem após o cálculo da máxima cheia de projeto, de acordo com a seguinte seqüência:

Vazão de projeto = vazão do canal

S = seção de vazão do curso d'água

Rh = raio hidráulico

i = declividade do curso d'água na travessia determinada pela batimetria.

η =coeficiente de rugosidade que depende da forma da caixa do rio do seu solo e vegetação.

O produto SXV (seção molhada da travessia x velocidade no ponto de passagem), tem que ser iguais ou maiores que a vazão de projeto.

Com a máxima cheia de projeto definida, damos uma folga denominada de colchão de ar $C=1,0m$. O colchão de ar é teoricamente necessário para passar os troncos de árvores ou outro material (arrastado pelas águas). Os troncos podem provocar danos à estrutura da ponte quando chocam com a viga no momento da cheia.

Ao se projetar a ponte, por segurança, o off-set de encabeçamento da ponte deve ter um afastamento mínimo de 5,0m da margem do rio.

. RESULTADOS

AS APLICAÇÕES DA HIDROLOGIA A ENGENHARIA

Na engenharia, a hidrologia é aplicada juntamente com vários fatores anteriormente mencionados, desde uma simples obra até o alto porte da construção pesada, no transporte hidroviário, nas ferrovias, rodovias, preservação do lençol d'água, lazer, etc...

RESULTADOS

Para o projeto de drenagem em rodovia, depois de uma visita ao trecho e após levantamentos topográficos e com o projeto geométrico já em andamento, iniciam-se os estudos hidrológicos que irão subsidiar todo o projeto de drenagem fornecendo as informações necessárias para o dimensionamento das obras de arte correntes, obras de artes especiais, dispositivos de drenagem superficial e profunda.

O projeto inicia-se com a elaboração do mapa de bacias, fazendo-se a delimitação de suas áreas para posteriormente obter os dados de área, comprimento do talvegue e declividade efetiva/média.

Após esta fase é que será feito o dimensionamento das obras, aquela mais adequada ao local do estudo.

FONTES DOS DADOS HIDROLÓGICOS

Várias espécies de dados hidrológicos são coletados e publicados por órgãos governamentais e órgãos de governos estaduais. Frequentemente, é possível obter informações valiosas dos serviços de engenharia municipais, de companhias concessionárias de eletricidade, mesmo informações da Hidroweb através da Ana – Agência Nacional de Águas e outras mais. Todas essas informações são coletadas pela internet.

A relação completa das informações disponíveis, estão relacionadas na parte de Metodologia.

É com toda esta parte preliminar que juntamos a outras listas já de costume do Hidrólogo/Drenólogo como exemplo; Climatologic. Data, U.S. Weather Bureau (dados Horários). Hydrologic Bulletin, Daily and Hourly Precipitation, U.S. Weather Bureau e U.S. Corps of Engineers.

Tudo isto mostra resultado em um projeto.

CONCLUSÃO

Para que uma obra hidráulica seja bem dimensionada, é preciso de todos os levantamentos e dados anteriores mencionados.

Os estudos hidrológicos têm que ser bem estudado e detalhado. Antes com a visita "in loco", principalmente para verificação do solo, da vegetação, do tipo da bacia, da região, etc.

Quanto maiores informações, mais precisão chegará os cálculos da área, declividade, tempo de concentração, intensidade, precipitação, vazão.

É a vazão que leva o dimensionamento e tipo de obra, mais adequada para o local em estudo.

Os estudos hidrológicos é fundamental no dimensionamento dos dispositivos de drenagem, das obras de arte correntes e obras de arte especiais.

Portanto, sem hidrologia, não existe drenagem.

BIBLIOGRAFIA

- 1 – Hydraulics of Runoff from Developed Surfaces
Carl F. Izzard
- 2 – Handbook of Applied Hydrology
Ven Te Chow
- 3 – Hydrograph Analysis – Volume 4
HEC – IHD-400, 1973
Hydrologic Engineering Center, Corps of Engineers
- 4 – Hydrology – Second Edition
Chester O. Wister e Ernest F. Brater
- 5 – Apostila – Drenagem de Rodovias
Engº Marcos Augusto Jabor
- 6 – Manual de Projeto de Engenharia do DNER – capítulo III – Hidrologia
- 7 – Rapport Sur Une Mission em Afrique Noire
Autores: J.L. Bonnefant e R. Peltier
- 8 – Drenagem Urbana – Manual de projeto
CETESB/SP - 1980