**PONTILHÃO E SARJETAS ENTRE OS QUILÔMETROS 1 E 2 DA BR 104: UMA ANÁLISE CRÍTICA AOS SEUS DIMENSIONAMENTOS**

Tonieligton Araújo de Oliveira1   
Fernanda Paes Arantes2

**Resumo**

O projeto de execução de drenagem deve ocorrer sob critérios coesos e fundamentados na região pela qual o eixo da rodovia passará. Este trabalho teve como objetivo principal mensurar a qualidade destes dimensionamentos de obras de arte, com base na análise de dados coletados através de pesquisas de campo realizadas à BR 104, entre os quilômetros 1 e 2 no estado de Pernambuco, onde na análise foi possível levantar que as medidas geométricas das sarjetas de proteção de corte estavam corretamente dimensionadas, muito embora seus comprimentos críticos estivessem doze vezes maior do que deveria, favorecendo o extravasamento das mesmas quando sob precipitação torrencial. No que tange a qualificação do pontilhão I, se concluiu que o mesmo foi superdimensionado, para a vazão afluente que ali fora levantada, visto que aquela região se encontra no semiárido nordestino, caracterizada por baixos e irregulares índices pluviométricos anuais. Contudo, o pontilhão I poderia tranquila e assertivamente ser substituído por um bueiro triplo tubular de concreto, com diâmetro de mil e quinhentos milímetros, o que implicaria numa melhor alocação de importantes cifras de recursos financeiros escassos, agregando significativo aumento na produtividade de execução daquelas obras de arte por demandar menos materiais em todo o processo construtivo.

**Palavras-chave:** Drenagem superficial, Sarjetas, Pontilhão, Bueiro triplo tubular de concreto, Obras de arte rodoviárias.

**Abstract**

The drainage execution project must take place under cohesive criteria based on the region through which the highway axis will pass. The main objective of this work was to measure the quality of these designs of works of art, based on the analysis of data collected through field surveys carried out on BR 104, between kilometers 1 and 2 in the state of Pernambuco, where the analysis was possible to survey that the geometric measurements of the cut protection gutters were correctly dimensioned, even though their critical lengths were twelve times greater than they should be, favoring their overflow when under torrential precipitation. Regarding the qualification of the bridge I, it was concluded that it was oversized, for the affluent flow that had been raised there, since that region is located in the northeastern semiarid region, characterized by low and irregular annual rainfall. However, bridge I could quietly and assertively be replaced by a triple tubular concrete manhole, with a diameter of fifteen hundred millimeters, which would imply a better allocation of important figures of scarce financial resources, adding a significant increase in the productivity of the execution of those works of art because it requires less materials in the entire construction process.

**Keywords:** Surface drainage, Gutters, Bridge, triple tubular concrete manhole, Road works of art.

**Resume**

El proyecto de ejecución del drenaje debe realizarse bajo criterios cohesivos en función de la región por la que pasará el eje vial. El objetivo principal de este trabajo fue medir la calidad de estos diseños de obras de arte, a partir del análisis de datos recolectados a través de levantamientos de campo realizados en la BR 104, entre los kilómetros 1 y 2 en el estado de Pernambuco, donde se realizó el análisis. Es posible relevar que las medidas geométricas de las canaletas de protección contra cortes estaban correctamente dimensionadas, aun cuando sus longitudes críticas eran doce veces mayores de lo que debieran, favoreciendo su desbordamiento ante precipitaciones torrenciales. En cuanto a la habilitación del puente I, se concluyó que fue sobredimensionado, por el caudal afluente que allí se había levantado, ya que esa región se ubica en la región semiárida nororiental, caracterizada por lluvias anuales escasas e irregulares. Sin embargo, el puente I podría ser sustituido de forma silenciosa y asertiva por una boca de acceso de hormigón tubular triple, con un diámetro de mil quinientos milímetros, lo que implicaría una mejor asignación de importantes cifras de escasos recursos económicos, sumando un aumento significativo en la productividad de la ejecución de las obras. esas obras de arte porque requiere menos materiales en todo el proceso de construcción.

**Palabras clave:** Drenaje superficial, Canaletas, Pontilhão, Boca de acceso tubular triple de hormigón, Obras de arte viales.

## **1. INTRODUÇÃO**

A execução incorreta e/ou malfeita de elementos de drenagem num corpo estradal, pode implicar em ações complicadoras como a diminuição da resistência do solo ao cisalhamento, dada a elevação da saturação deste; pode potencializar a expansão do solo, dado o aumento da umidade em seu interior; pode desencadear acometimento de fissuras e/ou trincas no pavimento flexível ou rígido, dada a forte presença de umidade, proveniente do processo de percolação ascendente da água (DNIT, 2005).

A eficiência deste complexo procedimento de segurança só pode ocorrer com a existência de uma drenagem superficial e drenagem profunda nesses corpos estradais. A drenagem superficial é responsável por coletar as águas fruto de precipitações e conduzi-las para longe do corpo da estrada. Já a drenagem profunda, tem como função barrar a ascendência de águas provenientes do interior do solo, impedindo que essa percolação chegue ao leito estradal, que é composto por camadas de subleito, leito, sub-base, base e pavimento (flexível ou rígido) (DNIT, 2005).

O processo de industrialização do Brasil se deu por etapas, onde já na segunda, ocorreu a instalação de indústrias de bens de consumo duráveis, como eletrodomésticos e automóveis, no entanto, antes disso, se necessitaria da criação de estradas, para justificar as instalações daquelas indústrias automobilísticas e claro, incentivar a demanda por automóveis, no decorrer da década de 40 do século passado (VASCONCELOS; TONETO, 2007).

Esse tipo de compromisso de “dar subsídio direto e/ou indireto” às indústrias automobilísticas fomentou a venda de milhares de unidades de automóveis em detrimento do investimento em modais de transportes mais eficientes e produtivos (VASCONCELOS; TONETO, 2007). Como, por exemplo, o ferroviário, para transporte das mais variadas cargas e pessoas, que, a partir de 1930 começa a sentir a redução de investimentos nacionais, chegando até a diminuir quilômetros de extensão ao longo do final do século XX, dada a redução da demanda pelos seus serviços (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES FERROVIÁRIOS, 2016).

Por sua vez, a cada ano, são maiores e mais significativos os números de automóveis e caminhões que transportam importantes cifras do PIB brasileiro, cerca de 55,2% de acordo com estudos da Confederação Nacional de Transporte – CNT (2014), pelas estradas do país. Dessa forma, torna-se possível entender o porquê de sempre ter havido projetos de elevados valores de investimento no modal rodoviário.

Assim, o presente artigo tem como objetivo efetuar uma análise crítica do dimensionamento de obras de arte do tipo sarjetas de proteção de corte e um pontilhão, através do levantamento de dados coletados às margens destas, entre os quilômetros 1 e 2 da BR 104, no trecho pernambucano.

**2 REFERENCIAL TEÓRICO**

**2.1 A hidrologia e o ciclo hidrológico**

Na construção de rodovias, diz-se que a “drenagem é a alma da rodovia” e talvez por isso, sirva como importantíssimo critério de desempenho e eficiência de uma rodovia ao longo do tempo de sua operação. Decorre da chuva os processos hidrológicos de interesse da engenharia (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Com base no Plano Hidroambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe – Secretaria de Recursos Hídricos/PE – PHBHRC-SRH/PE (2010), os projetos de drenagem devem ser concebidos com a expectativa de que os condutos tenham suas capacidades de vazão, superadas, pelo menos, uma vez em cinco, dez ou mais anos. Diante disso, se faz necessário a obtenção dos índices pluviométricos, bem como, o estudo das interações deste, com as variáveis: duração, frequência e intensidade.

A interação destas variáveis e a consequente obtenção da intensidade de chuvas é obtida através da fórmula 1, apresentada a seguir, de acordo com (VILLELA e MATTOS, 1975, apud PHBHRC-SRH/PE, 2010).

**(1)**

Onde:

**i**: Intensidade máxima média de chuva (mm/h);

**Tr**: Tempo de retorno (10 anos);

**t**: Duração da chuva (min.); e

**K, a, b** e **c**: São parâmetros empíricos que variam com cada posto pluviométrico.

**2.2 Drenagem**

Drenagem consiste em um conjunto de operações e instalações, que tem por objetivo drenar excessos de água da superfície e do subsolo, para um local de desague que não implique em risco àquele que se quer proteger da água, proveniente de precipitação. A drenagem em um corpo estradal pode vir a ser de vários tipos, sendo: transposição de talvegues, superficial, profunda ou subterrânea e ainda, a drenagem do próprio pavimento (DNIT, 2006). Deve-se destinar significativa importância a essa etapa do processo construtivo de uma estrada, pois esta ditará o quão sadio ou problemático será essa rodovia ao longo do tempo.

As águas que escoam na superfície terrestre seguem seu curso, através dos talvegues, divisores de encostas, de um nível mais alto para um mais baixo, favorecido pelo declive natural do terreno e pela ação da força da gravidade. No decorrer de seu percurso, a água sempre irá procurar a forma mais fácil de transpor um obstáculo qualquer, seja passando por sobre ou sob ele. É neste ambiente de problema que a drenagem, num conceito geral, se debruça a resolver, diante de determinado projeto, no caso, uma rodovia.

No caso específico da transposição de talvegues, as águas originárias das bacias de contribuição, situadas às margens do corpo estradal, devem ser conduzidas para além dele, de forma segura e que não comprometa a integridade física do mesmo. Para tanto, se faz uso da execução de vários tipos de obras de arte, como são conhecidas na engenharia rodoviária, sendo elas: bueiros tubulares (definido a diante); bueiros celulares (definido a diante); pontilhões; e pontes (DNIT, 2006).

Drenagem superficial como sendo a detentora da função de captar e interceptar, águas provenientes de áreas adjacentes, bacias de contribuição e as que se precipitam sobre o corpo estradal, conduzindo-as a um desague seguro, longe da rodovia, mantendo a segurança e a integridade da mesma. O mesmo manual, define os elementos pelos quais a drenagem superficial se executa, sendo os seguintes: valetas de proteção de corte; valetas de proteção de aterro; sarjetas de corte (definida a diante); sarjetas de aterro; sarjeta de canteiro central; descidas d’água; saídas d’água; caixas coletoras; bueiros de greide; dissipadores de energia; escalonamentos de taludes; e corta-rios (DNIT, 2006).

É função da sarjeta de corte, a captação e o direcionamento longitudinal das águas provenientes de precipitação sobre a plataforma da rodovia e os taludes de corte, até o ponto de transição entre corte e aterro, onde essas águas encontrarão uma saída lateral para o terreno natural, ou, uma valeta de aterro, ou ainda, uma caixa coletora de um bueiro de greide. As sarjetas devem ser executadas em todos os pontos onde existirem cortes, sendo sempre marginais à pista, após o acostamento, terminando em pontos de saídas convenientes de água, como transição corte/aterro ou caixas coletoras. As sarjetas de corte podem assumir várias formas geométricas, como: triangulares, trapezoidais e retangulares. O que irá definir a forma geométrica de melhor eficiência para cada trecho é a vazão de contribuição que este trecho fornecerá à sarjeta para escoar. Dessa forma, este trabalho preocupa-se com a definição da sarjeta triangular, haja visto que o trecho sob questão possui esta forma geométrica.

O objetivo da drenagem de pavimento é defender o corpo estradal das águas que incidem diretamente sobre o mesmo, seja por incidência pluviométrica, seja por ascendência de lençóis freáticos. O manual do DNIT (2006) complementa que as águas que atravessam o pavimento rodoviário ainda podem ter a representação de 33 a 50%, para os pavimentos flexíveis e de 50 a 67% para pavimentos rígidos, diante de pesquisas efetuadas, no que tange a possibilidade de danificar, não só o pavimento, mas sim as camadas de base e sub-base, importando assim em uma necessidade real de serem drenadas. Para tanto, o manual orienta que as drenagens sejam executadas com a produção de drenos do seguinte tipo: base drenante; drenos rasos longitudinais; drenos transversais; drenos laterais de base; e camada drenante.

Cada um dos elementos citados, são passíveis de dimensionamento hidráulico, com base nas vazões de contribuição das áreas adjacentes que os margeiam.

**3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

O levantamento dos dados utilizados nesta pesquisa consiste em aferições efetuadas em obras de artes já executadas ao longo dos quilômetros um e dois da BR 104, no trecho do estado de Pernambuco, um quilômetro e cento e cinquenta metros após a divisa com o estado da Paraíba, mais precisamente no pontilhão I.

A coleta de dados foi realizada através da utilização de aparelhos de medição de distâncias lineares, como trena metálica de três metros, trena de roda para 999,9 metros e trena a laser de cinquenta metros. Também foram utilizados *softwares* no auxílio da trabalhabilidade destes dados como *autocad* (para desenho das formas geométricas das sarjetas de proteção de corte), *sketchup* (representação em três dimensões [3D] do pontilhão I), *google earth pro* (localização do campo de pesquisa e levantamento de dados topográficos necessários a mensuração da bacia de contribuição) e o *excel* (na criação das planilhas para anotação dos dados aferidos *in loco*).

A coleta dos dados foi realizada através de várias visitas ao local do pontilhão I, uma vez que as sarjetas de proteção de corte são consideravelmente longas, o que inviabiliza a medição em um único dia. O difícil acesso ao interior do pontilhão I, dada a densa vegetação que ali se aloja, também demandou mais de uma visita, realizadas em finais de semana, sempre uma vez a cada quinze dias.

A análise dos dados desta pesquisa foi feita com base em fórmulas matemáticas já consagradas e referenciadas no Manual de Drenagem do DNIT (2006), por exemplo, no dimensionamento de bueiros tubulares, celulares e sarjetas, foram ainda utilizadas fórmulas empíricas como a do método de Talbot, os coeficientes de *Run-off*, equação da continuidade e outras, também de cunho empírico, como é o caso da utilizada para obtenção de intensidades pluviométricas, além de outras para determinação de áreas, perímetros e vazões.

**4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nesta parte, apresentam-se os dados necessários e suas respectivas análises, de forma a alcançar os objetivos deste trabalho. Tratar-se-á aqui das características físicas dadas, quando das execuções, de um pontilhão e suas sarjetas de proteção de cortes, que a partir do eixo da rodovia, possui lado esquerdo e direito e a partir pontilhão I, possui denominação de trecho de aclive e trecho de declive. Para efeito do sentido de orientação, toda a caracterização do trecho será feita no sentido Campina Grande – Caruaru (Km 1 e 2).

**4.1 Pluviometria local**

No sítio da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), foi possível coletar os dados pluviométricos do posto 72, situado no município de Taquaritinga do Norte, mesorregião do agreste pernambucano. Cidade esta, detentora dos direitos jurisdicionais, onde localiza-se o objeto deste trabalho, o pontilhão I, da BR 104, situado entre os quilômetros 1 e 2 da mesma BR. O maior índice médio pluviométrico anual medido naquele posto foi de aproximadamente 200,40mm, registrado no ano de 1974. Numa análise individual dos mesmos dados, foi possível obter o maior índice pluviométrico medido num só dia, para um período de 24 horas. O valor de 170,50mm/h, ocorrido no décimo primeiro dia do mês de fevereiro do ano seguinte, 1975.

Torna-se fatídica assim, a ocorrência de chuvas esporádicas, escassas, embora significativas naquela região, quando de suas ocorrências. Fato que, num só dia, foi possível chegar muito próximo ao maior valor medido numa média anual, para um intervalo de cinquenta e três anos.

Pode-se então relatar alguns dados do estudo desenvolvido pelo (PHBHRC–SRH/PE, 2010). Ele define os valores que as variáveis empíricas: **k**, **a**, **b** e **c** assumem (apresentados no quadro 2); necessárias à aplicação fórmula 1 (apresentada na seção 2.1.1); para o posto pluviométrico da cidade de Taquaritinga do Norte, no estado de Pernambuco.

Quadro 1 – Dados das variáveis empíricas para o posto 72 de Taquaritinga do Norte

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **CÓDIGO** | **NOME** | **a** | **K** | **b** | **c** |
| 736042 | Taquaritinga do Norte | 0,178 | 796,372 | 10,573 | 0,754 |

Fonte: PHBHRC–SRH/PE (2010)

Diante do exposto, pode-se assim, aplicar tais constantes à fórmula 1, obtendo o valor da intensidade pluviométrica, chuvas intensas, para toda a área de responsabilidade do posto 72 no município de Taquaritinga do Norte – PE.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | .: .: | (1) |

Dito isto, o valor de 48,44mm/h seria o valor mínimo de intensidade pluviométrica a ser usada nos dimensionamentos hidráulicos, para aquela região específica. É sabido que este índice é muito baixo, quando comparado com demais municípios que compõe a mesma mesorregião do agreste pernambucano, e, mesmo diante de todos os critérios implícitos ao método de cálculo, sempre se deve fazer uso da mais desfavorável situação. Diante disso, usar-se-á o valor de índice pluviométrico de 170,50mm/h, visto que esse foi o maior valor aferido, em um só dia, no posto de medição pluviométrica 72, a pouco mais de 14Km de distância do pontilhão I, para definição das vazões de projeto.

Conforme Oliveira (1996 apud MARTINS, 2000, p.23) esse baixo valor de intensidade pluviométrica, decorre da complexidade e dificuldade que existe de transformar precipitação em escoamento de forma rigorosa, uma vez que a água precipitada transcorre por vários percursos diferentes até encontrar as linhas de talvegue, esses percursos são regidos por fenômenos físicos que envolvem inúmeros fatores de difícil medição e estimação no tempo e no espaço.

**4.2 Trecho estudado *–* BR 104, Km 1 e 2**

De acordo com o sítio do órgão responsável pelas rodovias de jurisdição federal do país, DNIT (2009), a rodovia BR 104 é uma rodovia longitudinal, que corta o Brasil no sentido norte a sul. Trata-se de uma rodovia que tem sua origem no município de Macau, estado do Rio Grande do Norte, cruza um total de vinte e quatro municípios, entre os mais importantes estão Campina Grande, Caruaru e Maceió, seu ponto final. A BR 104 possui exatos 672,30 km de extensão, dos quais já existem alguns trechos duplicados nos estados de PE e AL.

Essa é uma importante rota usada para escoamento e abastecimento às principais cidades do interior do Nordeste, bem como, fornece um importante elo entre os sertões de vários estados, funcionando como um “atalho” às BR transversais, que cortam o país de leste a oeste, a exemplo da BR 230 na Paraíba e BR 232 em Pernambuco.

O trecho objeto deste trabalho refere-se ao pernambucano desta BR, entre os quilômetros 1 e 2, mais especificamente a 1,15Km da divisa entre os estados de Paraíba e Pernambuco, onde localiza-se o pontilhão I.

As medidas obtidas *in loco* das sarjetas de proteção de corte, medidas essas que embasarão todos os cálculos sequenciais adiante, estão compiladas nas próximas seções. Dada a necessidade de se seguir uma orientação de sarjetas, haja visto que existem quatro delas (apresentadas na Figura 1), duas do lado direito, duas do lado esquerdo, sendo que duas são anteriores ao pontilhão I e duas são posteriores ao mesmo, criar-se-á uma codificação para cada uma das sarjetas, para melhor identificação das mesmas: (1) S.A.L.D – Sarjeta Anterior (ao pontilhão) Lado Direito; (2) S.A.L.E – Sarjeta Anterior (ao pontilhão) Lado Esquerdo; (3) S.P.L.D – Sarjeta Posterior (ao pontilhão) Lado Direito; e (4) S.P.L.E – Sarjeta Posterior (ao pontilhão) Lado Esquerdo.

Figura 2 – Identificação das sarjetas analisadas

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |

Fonte: Elaboração própria

4.2.1 Dimensionamento das sarjetas

O primeiro passo no dimensionamento das sarjetas consistiu no levantamento das características de cada uma delas, indicadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Características das sarjetas

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **CARACTERÍSTICA** | **S.A.L.D.** | **S.A.L.E.** | **S.P.L.D.** | **S.P.L.E.** |
| Semiplataforma | 3,40m | 3,40m | 3,40m | 3,40m |
| Acostamento | 2,30m | 2,13m | 2,99m | 2,30m |
| Lado inclinado “b” | 1,03m | 1,05m | 0,61m | 1,07m |
| Lado inclinado “c” | 0,30m | 0,34m | 0,42m | 0,34m |
| Altura | 0,235m | 0,217m | 0,28m | 0,22m |
| Trecho de corte | 146,00m | 215,20m | 206,00m | 230,00m |
| Comprimento de sarjeta executado | 145,60m | 140,30m | 205,60m | 209,90m |
| Altura de corte no trecho | 1,00m | 1,00m | 4,00m | 3,00m |

Fonte: Elaboração própria

A partir desses dados, foram calculadas as dimensões de cada sarjeta, seguindo o procedimento detalhado a seguir para a S.A.L.D. Inicialmente foi calculada a área de contribuição de vazão afluente à sarjeta, com base na fórmula 2. Sendo,

L1 (acostamento + plataforma) = 2,30 + 3,40 = 5,70m

L2 (contribuição do talude para a sarjeta) = 1,00 \* 2/3 = 0,67m

d (comprimento do trecho em corte) = 146,00m

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (2) |

O coeficiente “c” foi calculado a partir da fórmula 3, considerando coeficiente de rugosidade da pista e acostamento (c1) igual a 0,75 e coeficiente de rugosidade do talude (c2) igual a 0,70 (DNIT, 2006).

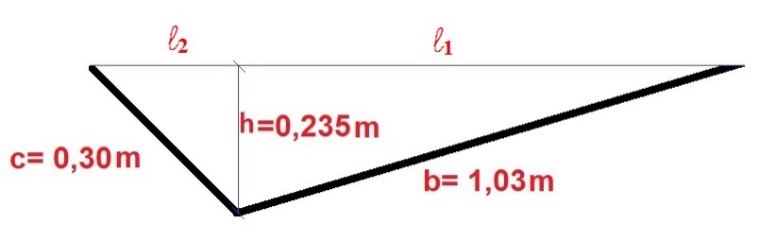
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (3) |

Para o cálculo da vazão de contribuição, também denominada como vazão de projeto ou vazão afluente, apresentado na fórmula 4, considerou-se o valor de intensidade pluviométrica local aferida na série histórica, que foi de 170,50 mm/h (APAC, 2016).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4) |

A seção transversal da sarjeta anterior lado direito pode ser conferida através da Figura 2, que em sequência, demonstra os cálculos das distâncias horizontais utilizando o teorema de Pitágoras, fórmulas 5, 6 e 7.

Figura 3 - Seção transversal da S.A.L.D



Fonte: Elaboração própria

(5)

(6)

(7)

A área de descarga da sarjeta pode ser obtida através do uso da fórmula 8.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (8) |

O raio hidráulico é obtido através da relação entre a área de descarga e o perímetro molhado, conforme a fórmula 9.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (9) |

A velocidade que o fluído da precipitação terá escoando pela sarjeta, pode ser obtida através do uso da fórmula 10.

(10)

A vazão máxima que a sarjeta poderá escoar sem extravasar, pode ser obtida através do uso da fórmula 11, a Equação da Continuidade.

(11)

Obtida a vazão crítica da sarjeta em formato triangular, faz-se necessária a primeira análise comparativa de dimensionamento dessa obra de arte. Uma vez que se deve comparar esta vazão com a vazão de projeto ou a vazão afluente, já calculada acima. Como a vazão da sarjeta (0,1040m³/s) é maior do que a vazão afluente (0,0328m³/s), implica dizer que as medidas de execução, e consequentemente, as projetadas, para esta sarjeta foram corretamente dimensionadas. Estando de acordo com o Manual de Drenagem do (DNIT, 2006).

Seguir-se-á então com o último cálculo de sarjetas. O cálculo de comprimento crítico, dado pela fórmula 12.

(12)

Obtido o valor do comprimento crítico da sarjeta, significa que o máximo comprimento que esta poderia ter, sem que houvesse uma saída de água para o terreno lateral ou uma caixa coletora de um bueiro de greide, deveria ser 20,22m, o que se constatou diferente, no modo como ela fora executada.

Utilizando o mesmo procedimento que foi promovido na sarjeta anterior, seguir-se-ão todos os cálculos necessários à crítica entre o dimensionamento e a execução de fato de mais uma obra de arte. Os resultados são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Dimensionamento S.A.L.E.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **CARACTERÍSTICA** | **S.A.L.E.** | **S.P.L.D.** | **S.P.L.E.** |
| Área de contribuição de vazão afluente à sarjeta |  |  |  |
| Coeficiente “c” |  |  |  |
| Vazão de contribuição |  |  |  |
| Projeções horizontais l1 e l2 | l1 = 1,07m  l2 = 0,40m  lT = 1,47m |  |  |
| Área de descarga da sarjeta |  |  |  |
| Raio hidráulico |  |  |  |
| Velocidade de descarga da água |  |  |  |
| Vazão crítica da sarjeta |  |  |  |
| Comprimento crítico |  |  |  |

Fonte: Elaboração própria

De acordo com a vazão crítica da S.A.L.E, encontrou-se uma vazão de (0,0916m³/s) que é maior do que a vazão afluente (0,0471m³/s). Daí constata-se que os dimensionamentos das medidas geométricas da sarjeta executada estão coerentes com a literatura adotada. O valor do comprimento crítico indica que o máximo comprimento desta sarjeta, até encontrar um bueiro de greide, não poderia superar os 12,07 metros, sob pena de extravasamento de água para a pista, quando de uma precipitação continuada ou curta, porém com intensidade relevante.

Uma vez a vazão crítica da S.P.L.D. executada (0,1169m³/s) sendo maior que a vazão afluente (0,0650m³/s) é possível afirmar que a sarjeta foi projetada de acordo com o previsto no manual do DNIT. O valor de comprimento crítico que esta sarjeta poderia ter deveria ser o de 16,30m, sob pena de extravasamento de água para a pista.

Seguindo a mesma linha de orientação, com a vazão crítica da S.P.L.E, encontrou-se uma vazão de 0,0961m³/s que é maior do que a vazão afluente (0,0618m³/s). Daí constata-se que o dimensionamento das medidas geométricas da sarjeta executada atende ao que se pede em termos de vazão de escoamento. O máximo comprimento desta sarjeta não poderia superar os 11,97 metros, sob pena de extravasamento do volume precipitado para a pista, quando de uma chuva contínua ou curta, porém com intensidade relevante.

Adiante segue-se com o objetivo central deste trabalho que é o redimensionamento do pontilhão I, em função das vazões afluentes encontradas.

4.2.2 Pontilhão I – O objeto da crítica

O pontilhão I possui 2,50m, medida essa, referente ao seu comprimento de guarda-corpo. De área molhada o mesmo possui 1,97m de largura por 2,45m de altura. Trata-se de um trecho executado em corte, com leve declive e aclive, ambos concordando com o pontilhão I, que divide essa topografia com uma linha de talvegue.

4.2.2.1 Redimensionando o pontilhão I

Pela literatura utilizada como referência neste trabalho, o DNIT (2006), é possível dimensionar bueiros tubulares e celulares como orifícios ou como canais, conforme já fora exposto na seção 2. Aqui será utilizado a forma de canais.

Também já foram explanadas as limitações com as quais a execução deste trabalho se deparou, no que tange aos dados topográficos obtidos via *google earth pro*. Somado a isto, dado o tempo já transcorrido de execução desta rodovia, torna-se muito difícil, trabalhoso e dispendioso, pois requer deslocamento às sedes do DNIT, para a coleta de informações dos projetos, quando de sua feição e/ou execução.

Contudo, buscou-se enveredar por um caminho, afim de, desde o princípio, alcançar o mais alto nível crítico às obras de artes já executadas no local de estudo. Por isso, o próximo subitem trará informações acerca de como fora estimada a bacia de contribuição.

4.2.2.2 Determinação das bacias de contribuição marginais aos Km 1 e 2 da BR 104

Para se chegar a uma área molhada pré-dimensionada, seja de bueiro celular ou tubular, em face a inexistência de dados pluviométricos seguros que permitam a obtenção de vazões afluentes às bacias de contribuição, se usará o relevo local, que delimita áreas de contribuição baseadas em dados de altitudes do terreno, fornecidos pelo *software google earth pro.*

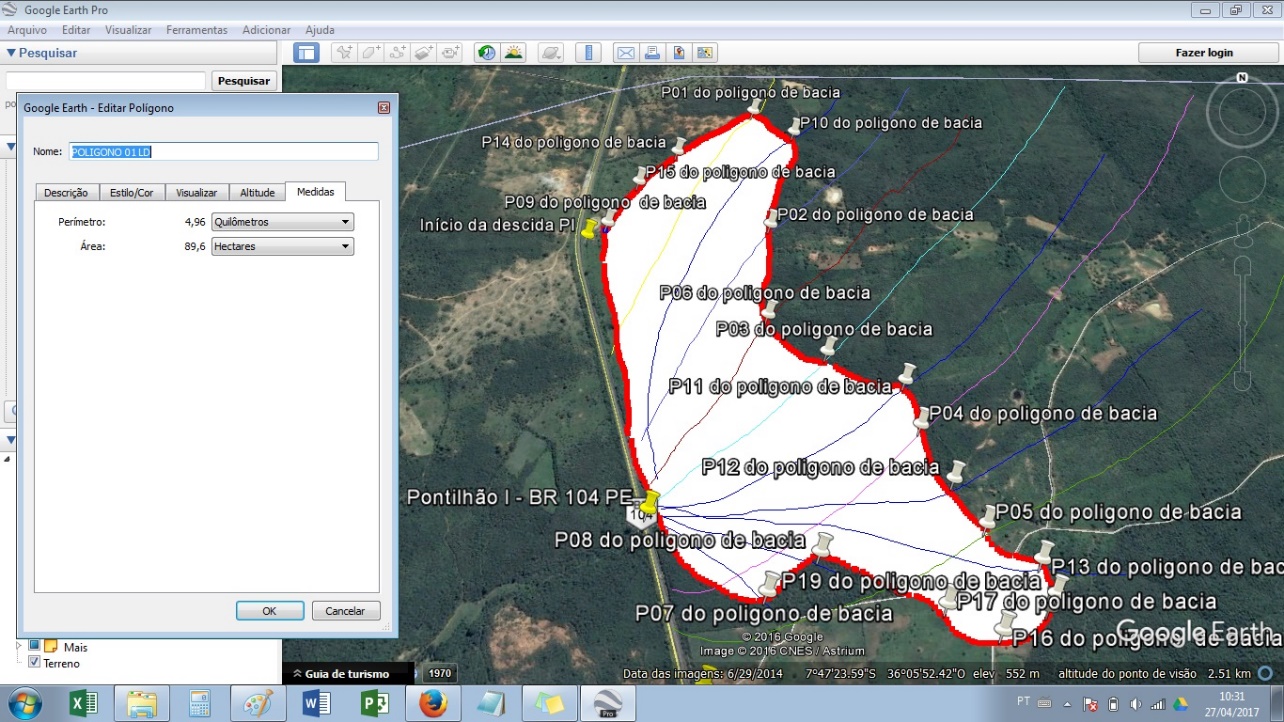
Através dessa ferramenta contemporânea, que por meio de imagens de satélites, obtém-se dados do relevo local estudado, traçaram-se várias e aleatórias linhas de percursos perpendiculares à rodovia BR 104, entre os quilômetros 1 e 2, a fim de delimitar, por tentativa e erro, níveis topográficos que concordassem para o pontilhão I, fazendo escoar o fluído de precipitação para ele.

Determinados todos os possíveis percursos relevantes, para a obtenção de uma bacia de contribuição marginal ao pontilhão I e fazendo uso de uma opção disponível na mesma ferramenta, foi possível extrair informações de elevação do relevo, visualizando os perfis de cada um dos percursos cadastrados.

Para todos os demais percursos cadastrados, procedeu-se com a mesma metodologia, com o caminhamento dos perfis de elevação. Em cada ponto alto, identificou-se um cume com o nome de batismo de: Ponto enésimo (xx) do polígono de bacia, visando apenas uma melhor ordenação e gerência da quantidade de pontos já cadastrados. Cada percurso teve apenas um ponto cadastrado no polígono (soma final de todos os pontos cadastrados). A reunião de todos os pontos altos em cada percurso feito é possível ver através da Figura 7, que traz todos os pontos à montante do pontilhão I.

Elaborados todos os pontos altos em cada percurso realizado aleatoriamente, torna-se possível demarcar o polígono de montante do pontilhão I. Esse polígono, nada mais é do que a mensuração da possível bacia de contribuição, necessária ao embasamento de cálculo que visa criticar o dimensionamento do pontilhão I.

Figura 9 - Polígono de montante do pontilhão I



Fonte: Elaboração própria (via *google earth pro)*

Estimada a possível área da bacia de contribuição (polígono de montante) para o pontilhão I, pode-se então proceder com a obtenção do pré-dimensionamento da área molhada, seja tubular ou celular.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | **= 896.415,00m² ou 89,64ha** | (13) |

4.2.2.3 Pré-dimensionamento via método de Talbot

Fazendo uso de uma das formas de dimensionamento, o método de Talbot, fórmula 2, para determinação de uma área molhada, que serve como pré-dimensionamento de um bueiro tubular ou celular, e, utilizando um coeficiente de *Run-Off* de 0,30 (a média entre os extremos de 0,25 e 0,35, para bacias planas ou levemente onduladas, cujo comprimento é de três a quatro vezes a largura – terreno agrícola), conforme o Quadro 1, compatível com as características topográficas locais, chega-se ao seguinte resultado:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | .:**A =1,6011m² 1,60m²** | (14) |

O valor de 1,60m² refere-se a toda área molhada necessária para fazer escoar o fluído de precipitação. Através da fórmula 15 de área para geometrias circulares, pode-se obter o diâmetro deste bueiro, por consequência do uso do método de Talbot.

(15)

Dessa forma, Talbot prevê o pontilhão I, com medidas de 1,97m x 2,45m poderia ser substituído por um Bueiro Simples Tubular de Concreto (BSTC) de diâmetro de mil e quinhentos milímetros (1,50m).

4.2.2.4 Dimensionamento via fórmula dos bueiros DNIT (2006) publicação 724

A partir da intensidade pluviométrica já demonstrada no item 2.1.2.1 deste trabalho, quando da apresentação da série histórica de 1962 a 2015, para o posto de medição nº. 72, no município de Taquaritinga do Norte, a aproximadamente 14 quilômetros de distância do pontilhão I, onde mediu-se num único dia o valor de 170,50mm/h em fevereiro de 1975, se fará uso dessa informação aplicada à fórmula 16, afim de converter intensidade pluviométrica em vazão afluente estimada e obter o seguinte.

(16)

Obtida a vazão média afluente daquela bacia de contribuição, pode-se proceder com a obtenção de um novo diâmetro, dimensionado via orientação do DNIT, através do uso da fórmula 17, para Bueiro Triplo Tubular de Concreto (BTTC).

(17)

Obtido o dimensionamento através do uso da intensidade pluviométrica na forma de vazão média e chegado ao resultado de 1,50 (um metro e cinquenta centímetros) de diâmetro, para um Bueiro Triplo Tubular de Concreto, torna-se possível perceber que houve um incremento no dimensionamento do Método de Talbot para o Método do DNIT (2006).

Estando a favor da segurança, seria coerente acatar tal incremento de área molhada, ficando como aceita a execução de um Bueiro Triplo Tubular de Concreto (BTTC) com diâmetro de 1,50m (Ø1500mm).

**4.3 Resumo dos dados**

As variáveis de cada sarjeta e do pontilhão I, vistas no Quadro 9 e no Quadro 10 permitem o estabelecimento de comparações entre as mesmas e entre o que prevê a norma, facilitando críticas adiante. Todos estes valores obtidos seguiram as orientações de dimensionamentos contidas no Manual de Drenagem do [DNIT (2006)](#_ENREF_1), que embasou este trabalho acadêmico.

Quadro 9 – Resumo de dados, sarjetas

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **VARIÁVEL** | **S.A.L.D** | **S.A.L.E** | **S.P.L.D** | **S.P.L.E** |
| **Medidas da sarjeta (b, c, h)** | 1,03 x 0,30 x 0,235m | 1,05 x 0,34 x 0,217m | 0,61 x 0,42 x 0,28m | 1,07 x 0,34 x 0,22m |
| **Altura do talude** | 1,00m | 1,00m | 4,00m | 3,00m |
| **Área de contribuição para a sarjeta** | 930,02m² | 1.334,24m² | 1.866,36m² | 1.771,00m² |
| **Área de descarga da sarjeta** | 0,1692m² | 0,1592m² | 0,1638m² | 0,1650m² |
| **Velocidade de descarga do fluído** | 0,6152m/s | 0,5742m/s | 0,7139m/s | 0,5826m/s |
| **Vazão afluente** | 0,0328m³/s | 0,0471m³/s | 0,0650m³/s | 0,0618m³/s |
| **Vazão de descarga da sarjeta** | 0,1040m³/s | 0,0916m³/s | 0,1169m³/s | 0,0961m³/s |
| **Comprimento crítico da sarjeta** | 20,22m | 12,07m | 16,30m | 11,97m |
| **Comprimento crítico executado** | 145,60m | 140,30m | 205,60m | 209,90m |
| **Comprimento do trecho em corte** | 146,00m | 215,20m | 206,00m | 230,00m |

Fonte: Elaboração própria

A primeira comparação que pode ser feita entre as variáveis obtidas é no que se refere a estimativa da velocidade desenvolvida pelo fluído de precipitação, na descarga da sarjeta. A norma prevê que o limite máximo deva ser de cinco metros por segundo (5m/s), como todas as velocidades estimadas, através dos cálculos, foram inferiores a este limite, todas foram aprovadas neste quesito.

Outro ponto de comparação e análise que pode ser tecido é no que tange a vazão de descarga da sarjeta. A vazão de descarga deve ser maior, obrigatoriamente, do que a vazão afluente, também conhecida como vazão de projeto. Neste ponto, todas as sarjetas tiveram seus desempenhos estimados aprovados.

Seguindo ainda com mais comparações, pôde ser levantando o comprimento crítico que cada sarjeta poderia obter. Se faz necessário lembrar que o comprimento crítico de uma sarjeta é o máximo comprimento que ela deve ter até se encontrar com uma saída de água ou com um bueiro de greide, evitando assim, possíveis pontos de extravasamento ao longo de seu comprimento, o que viria a comprometer a segurança daquele ponto de tráfego da rodovia. Neste quesito todas as sarjetas foram reprovadas, pois todas tiveram seus comprimentos críticos extrapolados, ou seja, foram executadas de uma só vez, sem interrupção física.

Por fim, outro ponto muito importante no que tange às especificações da norma refere-se ao comprimento executado de sarjeta no trecho em corte. O manual o DNIT esclarece que todo trecho em corte deve ser acompanhado por uma sarjeta no pé do talude. A existência dessa sarjeta visa impedir que chuvas que venham a cair sobre ele, escorram pelo seu pé causando processos erosivos, podendo comprometer a estabilidade deste talude. Por isso, a norma orienta que todo trecho em corte deve conter uma sarjeta de proteção. Dessa forma, mais um ponto negativo foi acumulado, pois todos os trechos em corte tiveram algum comprimento identificado sem sarjeta executada. Duas foram reprovadas pela falta de 40 centímetros, uma por faltar 20 metros e outra por inexistir mais de 74 metros de sarjeta.

No que se refere ao pontilhão, o Quadro 10 reúne os dados desta obra de arte e de seu possível substituto o bueiro triplo tubular de concreto.

Também é possível tecer comparações entre essas soluções técnicas. No primeiro ponto percebe-se que há um ganho de área quadrada molhada do BTTC em relação ao pontilhão, quase meio metro quadrado. O BTTC também conseguiu ser superior ao pontilhão no quesito área molhada crítica, uma vez que o manual do DNIT (2006) estabelece um percentual maior para bueiros do que para pontilhões. Só um item o BTTC deixa a desejar para o pontilhão, que é em relação à vazão crítica, uma vez que a máxima vazão que pode ser escoada pelo BTTC é 0,87% menor que a do pontilhão.

Quadro 10 – Resumo de dados pontilhão I/ BTTC I

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **VARIÁVEIS** | **PONTILHÃO I** | **BTTC I** |
| **Medidas geométricas** | 1,97m x 2,45m | 3,00und x 1,50m |
| **Área molhada executada** | 4,83m² | 5,30m² |
| **Área molhada crítica (tabela (DNIT, 2006))** | 3,33m² - (69%) | 4,06m² - (77%) |
| **Vazão crítica (tabela (DNIT, 2006))** | 13,48m³/s | 12,67m³/s |

Fonte: Elaboração própria

**5 CONCLUSÃO**

Diante do que foi proposto para este trabalho sobre a análise dos dimensionamentos das obras de arte à rodovia federal BR 104, Km 1 e 2, no estado de Pernambuco, no que tange quatro sarjetas de proteção de cortes e um pontilhão, diante do que orienta o Manual de Drenagem do DNIT em sua publicação de número 724 do ano de 2006 foi possível concluir, a partir dos resultados obtidos acima, o que segue.

As sarjetas de proteção de corte possuem dimensões geométricas coerentes com as vazões afluentes que nelas chegam. Ou seja, a vazão de descarga da sarjeta, para todas elas, é maior que a vazão afluente. Assim, todas foram idealmente dimensionadas neste quesito.

Os comprimentos críticos individuais das sarjetas, todos eles, com base no DNIT (2006), foram desrespeitados. Em média seus comprimentos foram extrapolados 12,24 vezes a mais do que deveriam ser. Isto posto, implica dizer que não há nenhum bueiro de greide ou saída de água a cada comprimento crítico atingido, permitindo assim o extravasamento desta sarjeta, e claro, a projeção da precipitação transportada, por sobre o corpo pavimentado da rodovia. Criando situações de risco para quem ali trafega. Para sorte destes, a região é localizada dentro do semiárido nordestino que é caracterizada por baixos índices pluviométricos e por longos e irregulares períodos de estiagem, o que pôde ter permitido, até então, que estas jamais tenham sido extravasadas.

No quesito comprimento do trecho em corte, as quatro sarjetas não atenderam o item do Manual de Drenagem do DNIT (2006), que reza que deve haver sarjeta onde houver trecho em corte, sendo que duas delas ficaram muito próximas de atingir. As sarjetas localizadas à direita (SALD e SPLD) do pontilhão I ficaram mais próximas de atender ao quesito. Já as duas localizadas à esquerda, não atenderam. Na SALE faltaram 75m e na SPLE faltaram 20m de sarjeta. Isso implica que toda precipitação que por ventura venha a cair naquela região, neste exato ponto em que não há sarjeta, a precipitação escoará diretamente por sobre o talude de corte e percorrerá sua trajetória no pé deste e a depender da intensidade e do tempo de duração desta precipitação, poderão ocorrer processos erosivos ao longo deste comprimento desprovido de sarjeta. Gerando assim, mais situações de riscos, como o desmoronamento do talude, naquele ponto específico da rodovia.

Com base nos resultados obtidos, mediante orientação do Manual de Drenagem Rodoviária do DNIT (2006), ao longo de todos os cálculos feitos, pode-se dizer que a obra de arte central deste trabalho, o pontilhão I foi superdimensionado para aquela vazão afluente estimada. Isso implica dizer que foi dada uma solução técnica mais cara, onerosa, pois um Bueiro Triplo Tubular de Concreto (BTTC), com diâmetro de 1500mm (mil e quinhentos milímetros), já comportaria aquela vazão afluente encontrada, eliminando a necessidade de um pontilhão cujas dimensões são de 1,97m x 2,45m, conforme fora executado. Corroborando a esta opinião pode-se agregar os índices de área molhada executada e área molhada crítica do BTTC que são maiores que os obtidos pelo pontilhão.

Esse dimensionamento, tido como equivocado diante do que indica o DNIT (2006), implicou na utilização de vários materiais e equipamentos necessários àquela solução técnica adotada outrora, como escoras (que à época com certeza eram de madeira), utilizados por todo o tempo de cura do concreto, para sustentação da laje do pontilhão I; elementos de contenção utilizados para anularem o empuxo de terra, quando da execução os muros de gravidade principais que dão sustentação à laje do pontilhão; um importante volume de concreto usinado ou feito *in loco*, utilizado na concretagem da laje; e ainda, ressaltar o tempo de espera destinado a cura daquele conjunto estrutural.

A solução técnica poderia ter sido muito diferente, se melhor reunidos tivessem sido os dados hidrológicos locais, pois se chegaria a uma solução com ganho estimado em mais de sessenta por cento de economia, quando em comparação com a que está posta (executada), conforme pode ser visto nos apêndices que seguem neste trabalho.

**6. REFERÊNCIAS**

ANTF, Associação Nacional de Transportadores Ferroviários -. **Cronologia Histórica Ferroviária.** 2016. Disponível em: <http://www.antf.org.br/index.php/informacoes-do-setor/cronologia-historica-ferroviaria>. Acesso em: 29 ago. 2016.

APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Meteorologia:** Monitoramento pluviométrico. 2016. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia /monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 22 maio 2016.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia:** Para engenharias e ciências ambientais. Porto Alegre: ABRH, 2013. 336 p. (Coleção ABRH; 12).

CNT, Confederação Nacional do Transporte. **Anuário do Transporte:** Estatísticas consolidadas. 2016. Disponível em: <http://anuariodotransporte.cnt.org.br/>. Acesso em: 19 ago. 2016.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de drenagem de rodovias**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006. 333 p.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de conservação rodoviária - 710**: Manual de Conservação Rodoviária. Rio de Janeiro: DNER, 2005. 564 p.

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes; ALMEIDA, Cícero. **Nomenclatura das rodovias federais.** 2009. Disponível em: <https://189.9.128.64/rodovias/rodovias-federais/nomeclatura-das-rodovias-federais/nomeclatura-das-rodovias-federais-1>. Acesso em: 13 maio 2016.

MARTINS, Francisco José Paulos. **Dimensionamento hidrológico e hidráulico de passagens inferiores rodoviárias para águas pluviais.** 2000. 277 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Engenharia Civil, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2000. Cap. 3. Disponível em: <http://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/482/1/Tese - Mestrado.pdf>. Acesso em: 11 set. 2016.

PINTO, N. L. D. S. et al. **Hidrologia básica**. I. São Paulo: 1976. 278 p.

RUIZ, J. A. **Metodologia científica:** guia para eficiência nos estudos. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 1996. 181 p.

SRH, Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco. **Plano hidroambiental da bacia hidrográfica do rio capibaribe**. Recife: Projetec. 021**:** 2010. 963 p.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4 ed. Florianópolis: UFSC, 2005. 138 p.

SILVA, Fernando Antônio Rezende da; **Desafios do federalismo fiscal.** 1**.** ed. Rio de Janeiro: FVG, 2006. 114 p.

SUDENE, Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Semiárido.** 2016. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/area-de-atuacao-da-sudene/semiarido>. Acesso em: 11 set. 2016.

VASCONCELLOS, Marco Antônio Sandoval de; TONETO JÚNIOR, Rudinei. **Economia brasileira contemporânea.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2007.