



UNILAB

**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA**

**INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO LATO SENSU EM GESTÃO DE RECURSOS
HÍDRICOS, AMBIENTAIS E ENERGÉTICOS**

JOÃO PEDRO CARVALHO GOMES

**ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM EXTERNA DO CANAL
ADUTOR DO PROJETO DA INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO
– ESTUDO DE CASO**

REDENÇÃO

2018

JOÃO PEDRO CARVALHO GOMES

**ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM EXTERNA DO CANAL
ADUTOR DO PROJETO DA INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO
– ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gestão de Recursos Hídrico, Ambientais e Energéticos da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos.

Orientador: Prof. Dr. Cleiton da Silva
Silveira

Coorientador: Prof. Msc. Víctor Costa Porto

REDENÇÃO
2018

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Gomes, João Pedro Carvalho.

G612a

Análise do sistema de drenagem externa do canal adutor do
Projeto da Integração do Rio São Francisco - estudo de caso / João
Pedro Carvalho Gomes. - Redenção, 2018.
72f: il.

Monografia - Curso de Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e
Energéticos - 2017.1, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento
Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia
Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

Orientador: Dr. Cleilton da Silva Silveira.
Coorientador: Msc. Víctor Costa Porto.

1. Drenagem. 2. Precipitação. 3. Vazão. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 627.52

UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA
AFRO-BRASILEIRA

JOÃO PEDRO CARVALHO GOMES

ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM EXTERNA DO CANAL
ADUTOR DO PROJETO DA INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO
– ESTUDO DE CASO

Monografia julgada e aprovada para obtenção do título de Especialista em da
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

Data: ____/____/____

Nota: ____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Cleiton da Silva Silveira (Orientador)

Prof. Msc. Víctor Costa Porto (Coorientador)

Prof. Renan Vieira Costa

OFEREÇO

À Deus, em primeiro lugar, a meu
Pai, Edelmar, e meu avô, Valdemar *in*
memorium.

DEDICO

À Deus, meus pais e irmãos, avós e
namorada, familiares e amigos, que me
mostram com o amor o real sentido da vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus, em primeiro lugar, por todo amor e força para o desenvolvimento deste trabalho. Pela paciência e motivação que concedeu-me no desenvolver dos trabalhos. Agradeço a Ele, todas as oportunidades de aprendizagem, acima de tudo, pela realização de sua vontade. Obrigado, meu Deus!

Ao meu pai, Edelmar, e meu avô, Valdemar, que do bom lugar onde estão, me auxiliam no decorrer de toda caminhada. Ao amor de vocês presente em nossas vidas. Agradeço pelo grandes incentivo e motivação traduzidos sempre em nossas vidas.

À minha mãe, Ana Teresa, e meus irmãos, Lucas e Luís Felipe pelo apoio em todos os momentos lado a lado. Pela extrema dedicação e provas de amor concedidos a cada dia. Pelo companheirismo e força para seguir em frente sempre.

Aos meus avós, Eudivan, Maria de Lourdes, e Ana, meus sinceros votos de agradecimentos a vocês que atuaram como pais ao longo de toda jornada.

À minha namorada, Hívina, por toda força, incentivo e amor que me depositou para com este trabalho. Por não me deixar desistir, dividindo as dificuldades e dando força para vencer.

Ao meu tio, Valdemarim, pela grande presença nas conquistas alcançada. Por cada esforço e ensinamento que me propiciou para concluir essa jornada.

Aos meus tios, Valmar, Kerginaldo, Jorge, Evano, Júnior, minhas tias, Milena e Aline, por todo apoio que me concederam durante toda essa batalha. Pelo suor e dedicação prestada para concluir esta etapa.

Ao meu orientador, Cleiton, pela oportunidade e apoio para desenvolver este trabalho.

Ao meu coorientador e amigo, Víctor, pela grande apoio técnico, científico para realização deste trabalho. Pela dedicação e paciência durante o acompanhamento do projeto.

À empresa Engesoft, pelo suporte técnico de apoio para execução dos trabalhos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Bueiro Celular Triplo	15
Figura 3.1: Localização do Trecho III do Canal da Transposição do Rio São Francisco	28
Figura 3.2: Fluxograma com etapas de Projeto de Drenagem	29
Figura 4.1: Bacias de drenagem do segmento 9.....	47
Figura 4.2: Sub-bacias de drenagem do segmento 9.....	48
Figura 4.3: Locação do Bueiro 059 - planta baixa.....	57
Figura 4.4: Locação do Bueiro 059 – Corte Longitudinal.....	58
Figura 4.5: Locação do Dreno Longitudinal DL-3713-12 - Planta Baixa	59
Figura 4.6: Perfil longitudinal do Dreno DL-3713-12.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Postos pluviométricos analisados, com destaque para os postos representativos considerados no estudo das chuvas intensas.	32
Tabela 3.2: Média e desvio padrão das chuvas máximas anuais dos postos pluviométricos representativos	34
Tabela 3.5: Coeficientes de desagregação das chuvas diárias para a isozona G	37
Tabela 3.6: Seções tipos de Bueiros.....	41
Tabela 4.1: Áreas das Bacias e Sub-bacias de drenagem do Segmento 9	49
Tabela 3.3: Parâmetros das distribuições teóricas de probabilidade.....	50
Tabela 3.4: Resultados do teste Qui-Quadrado para as distribuições de probabilidade ajustadas.....	52
Tabela 4.2: Precipitações máximas diárias para diferentes períodos de retorno	53
Tabela 4.3: Precipitações máximas para diferentes períodos de retorno e durações de 6 minutos, 1 hora e 24 horas	53
Tabela 4.4: Dados de precipitação de bueiros e drenos.....	54
Tabela 4.5: Vazões de Projeto dos bueiros e drenos do segmento 9 do projeto	56
Tabela 4.6: Características dos bueiros do segmento 9	58
Tabela 4.7: Dados de projeto dos drenos longitudinais do segmento 9.....	60

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA -AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS

CN – CURVA NÚMERO

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURAS DE TRANSPORTES

SCS - SOIL CONSERVATION SERVICE

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 ESTUDO PLUVIOMÉTRICO	16
2.2 ESTUDO FLUVIOMÉTRICO.....	19
2.2.1 Método Racional.....	20
2.2.2 Método Do Hidrograma Unitário	20
2.2.3 Dimensionamento Hidráulico.....	24
3 METODOLOGIA.....	28
PROJETO DO SISTEMA DE DRENAGEM	29
3.1 CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM	30
3.1.1 Levantamento Topográfico	30
3.1.2 Delimitação das Bacias de Drenagem	30
3.1.3 Escolha e Locação dos Dispositivos de Drenagem	30
3.2 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO.....	32
3.2.1 ESTUDO PLUVIOMÉTRICO	32
3.2.1.1 Chuvas Intensas com Duração de 1 dia.....	33
3.2.1.2 Séries históricas	33
3.2.1.3 Distribuições de probabilidade teóricas	34
3.2.1.4 Teste de aderência dos dados medidos às distribuições teóricas	35
3.2.2 ESTUDO FLUVIOMÉTRICO	37
3.2.2.1 Método Racional	38
3.2.2.2 Método do Hidrograma Unitário.....	39
3.2.3 Definição dos coeficientes de escoamento	40
3.2.3 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO	40
3.2.3.1 Drenagem Transversal.....	40
3.2.3.2 Drenagem Longitudinal	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
4.1 CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM	46
4.1.2 DELIMITAÇÃO DAS BACIAS E LOCAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE DRENAGEM.....	46
4.2 ESTUDO HIDROLÓGICO.....	50
4.2.1 AJUSTE DOS DADOS MEDIDOS ÀS DISTRIBUIÇÕES TEÓRICAS DE PROBABILIDADE.....	50

4.2.2	TESTE DO QUI-QUADRADO	52
4.2.3	PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO.....	53
4.2.4	CHUVAS INTENSAS COM DIFERENTES DURAÇÕES.....	53
4.3	ESTUDO FLUVIOMÉTRICO	55
4.3.1	VAZÕES DE PROJETO DAS BACIAS INTERCEPTADAS PELO TRECHO III DO PISF.....	55
4.4	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO.....	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
6	REFERÊNCIAS.....	63
7	ANEXOS.....	65

ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM EXTERNA DO CANAL ADUTOR DO PROJETO DA INTEGRAÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO – ESTUDO DE CASO

João Pedro Carvalho Gomes¹

Cleiton da Silva Silveira²

RESUMO

Este trabalho aborda a elaboração do projeto sistema de drenagem externa do canal adutor do Projeto da Integração do Rio São Francisco – PISF, abordando as etapas fundamentais da concepção, estudos hidrológicos ao dimensionamento hidráulico. O estudo foi dividido nas fases de concepção e dimensionamento hidráulico do sistema de drenagem. Inicialmente foi analisado o levantamento topográfico da região e delimitadas as bacias de drenagem que compõem o projeto para proceder com os estudos hidrológicos. A partir da análise das precipitações coletadas das séries históricas dos postos pluviométricos da região foi realizado o ajuste probabilístico para obtenção das máximas precipitações com tempo de recorrência adotado em razão do risco requerido para o projeto. Foi utilizado o método das Isozonas, de Taborga Torrico, para obtenção das chuvas com duração inferior a 24 horas, determinando as precipitações a serem usadas no estudo de vazões. Procedeu-se com o estudo fluviométrico, usando o conceito de método racional e do hidrograma unitário que resultou nas vazões de projeto para dimensionamento hidráulico. Com o resultado teve-se a disposição de drenos longitudinais e bueiros compondo o sistema de drenagem externa, dimensionados dentro dos critérios adotados pelo DNIT – Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes - para obtenção das melhores alternativas técnicas e econômicas para o manejo da drenagem para proteção do sistema adutor.

Palavras-chave: Drenagem. Precipitação. Vazão de projeto. Dimensionamento hidráulico.

ABSTRACT

This work approaches the elaboration of the external drainage system project of the Adutor Channel of the São Francisco River Integration Project - PISF, approaching the fundamental stages of the conception, hydrologic studies to the hydraulic dimensioning. The study was divided in the conception and hydraulic dimensioning phases of the drainage system. Initially, the topographic survey of the region was analyzed and the drainage basins that compose the project were delimited in order to proceed with the hydrologic studies. From the analysis of the precipitations collected from the historical series of the pluviometric stations of the region, the probabilistic adjustment was made to obtain the maximum precipitations with recurrence time adopted due to the risk required for the project. The Taborga Torrico Isozone method was used to obtain rainfall with a duration of less than 24 hours, determining the precipitations to be used in the study of flows. The fluviometric study was carried out using the concept of rational method and the unitary hydrogram that resulted in the design flows for hydraulic sizing. The result was the disposition of longitudinal drains and culverts composing the external drainage system, sized within the criteria adopted by DNIT - National Department of Transport Infrastructure - to obtain the best technical and economic alternatives for the management of the drainage to protect the adductor system.

Keywords: Drainage. Precipitation. Project flow. Hydraulic sizing.

¹ Estudante do Curso de Especialização em Gestão de Recursos Hídricos, Ambientais e Energéticos pela Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira e Universidade Aberta do Brasil, polo Redenção, Ceará.

² Orientador. Doutor em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal do Ceará - UFC

1 INTRODUÇÃO

Diversos estudos vêm apontando o agravamento da escassez e diminuição da qualidade da água em inúmeras regiões, sinalizando para alterações nos regimes hídricos e elevando a proporção de eventos extremos, como as secas, cada vez mais intensos.

O uso desordenado e manejo inadequado das fontes hídricas tem levado diversos países a adotarem medidas sistemáticas organizadas e o estabelecimento de políticas que preveem o disciplinamento dos recursos hídricos por meio de diferentes ferramentas e normas legais de gestão, visando minimizar os impactos e garantir o eficaz manejo e aproveitamento de tais recursos.

Em região como a Nordeste do Brasil, a intensificação de eventos secos torna-se mais comum em paralelo ao desenfreado uso de água. Dentro do planejamento das políticas de gestão hídrica na região, modelos e projetos buscam erradicar esses agravantes. Uma medida está no uso de bacias hidrográficas como ferramenta de gestão, como o projeto da integração do Rio São Francisco com as bacias do nordeste setentrional.

A transposição entre bacias hidrográficas é utilizada desde a antiguidade para transpor as águas de uma determinada bacia com finalidade de garantir o abastecimento de outras regiões.

A integração do Rio São Francisco é um dos maiores projetos de infraestrutura do Brasil e do mundo, no qual proporcionará segurança hídrica a vários estados do Nordeste brasileiro. O empreendimento tem como um dos objetivos minimizar a escassez de água na região, como proporcionar a revitalização de diversos açudes da região e atender em sua totalidade uma demanda de mais de 12 milhões de habitantes. A transposição de bacias, dessa forma, consiste também em transpor barreiras para o atendimento de necessidades físicas, econômicas e sociais das populações beneficiadas pela potencial distribuição dos recursos.

A obra é dividida em dois eixos: o Eixo Norte consta com mais de 400 km de extensão de obras, que irá abastecer os sertões de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte e o Eixo Leste que levará água ao agreste do Pernambuco e Paraíba, com cerca de 200 km de obras.

O projeto da transposição é realizado por meio de percurso artificial com a construção de canais adutores. Esse tipo de construção altera o sistema natural de drenagem de águas pluviais da bacia hidrográfica que o mesmo está inserido, interrompendo o fluxo natural das águas.

Este desarranjo pode suscitar áreas de inundação nas áreas de proximidade do canal e causar conseqüente aumento da erosão das estruturas e taludes. Desta forma, deve-se rearranjar a drenagem da bacia, compatibilizando o projeto e a execução de um sistema de drenagem artificial complementar ao natural que atue ao longo e através do eixo do canal.

A drenagem possibilita um acervo de benefícios como a agilidade do fluxo e segurança das águas superficiais decorrentes das chuvas, eleva a vida útil das obras, promove a proteção ao longo do canal, reduz a ação deteriorante nos entornos do canal, reduz de gastos com manutenção, ações corretivas e conservação das obras.

O sistema de drenagem capta o escoamento superficial oriundo das águas pluviais e o conduz, paralelamente à margem do canal, a um curso natural que se afasta do mesmo ou, caso necessário, a um elemento de drenagem transversal, de forma que toda a água captada retorne a um escoamento natural sem afluir para as obras.

Este sistema de drenagem é formado por drenos longitudinais, os quais podem ser revestidos ou não e são posicionados ligeiramente paralelos e adjacentes ao canal e às obras do sistema adutor. Em conjunto, o sistema transversal é formado por bueiros que captam a drenagem natural e longitudinal e conduz sob o canal, transpondo-o, para longe do mesmo até o exutório natural da bacia.

A ocorrência de chuvas intensas ocasiona grandes volumes de escoamento superficial, dessa forma a tamanha necessidade do sistema de drenagem para proteção do projeto do canal. A drenagem faz parte da infraestrutura e seu planejamento deve ser compatibilizado com todo o projeto. Para a adequada concepção e dimensionamento é necessário, antes, a quantificação e localização do escoamento superficial por meio de estudos hidrológicos.

Por se tratar de um amplo projeto, foi tomado como base de estudo, apenas um trecho do canal da transposição, relativo ao Trecho III do projeto, Lote F.

O presente estudo tem por objetivo otimizar a concepção do sistema de drenagem externa de proteção das obras do canal e tem como objetivos específicos o estudo de modelagem hidrológica das bacias na qual está inserido o canal, por meio de estudos pluviométrico e fluviométrico, com análise dos períodos de recorrência das precipitações e o dimensionamento hidráulico do sistema de drenagem longitudinal e transversal.

Para tanto, a pesquisa iniciará com o estudo de hidrologia, coletando os dados dos postos pluviométricos locais, em seguida proceder-se-á com o ajuste de vazão por métodos estatísticos através da análise das precipitações. Com esses dados e conhecimento da topografia, tipo de solo e cobertura local será realizado o estudo de escoamento superficial e, por fim, será concebido o dimensionamento hidráulico dos dispositivos de drenagem.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O projeto de sistema drenagem para uma estrada ou canal tem por função principal captar e reconduzir de forma segura as águas oriundas do escoamento superficial para uma drenagem natural que não comprometa a estrutura projetada.

O sistema de drenagem de um canal é composto por dois tipos de infraestrutura: a drenagem longitudinal, composta por drenos longitudinais e que têm por objetivo conduzir paralelamente o escoamento superficial afluente ao canal até um bueiro ou sistema natural da bacia e a drenagem transversal, perpendicular ao eixo do canal, composto por bueiros com objetivo de transpor à estrutura do canal as águas afluentes da bacia hidrográfica de volta ao sistema natural de drenagem (DNIT, 2013). A **Figura 2.1** mostra o desemboque de um bueiro celular triplo.

Figura 2.1: Bueiro Celular Triplo



O projeto do sistema de drenagem é realizado em duas etapas: a locação dos elementos de drenagem que consiste na disposição de drenos e bueiros locados paralelo e transversalmente ao eixo do canal, respectivamente; e o dimensionamento dos elementos locados, fase em que são apresentados os estudos pluviométricos e fluviométricos para dimensionamento dos dispositivos.

A locação dos elementos da drenagem requer um preciso levantamento topográfico, com a apresentação das curvas de nível do terreno, conhecimento das declividades e tipologia de solos para a adequada implantação (DNIT, 2013).

O dimensionamento de sistema de drenagem é realizado para a chuva de projeto e requer modelos hidrológicos para determinação das chuvas intensas, localização e quantificação do escoamento superficial.

A chuva de projeto é definida estatisticamente a partir do risco adotado para as obras de drenagem conforme o período de retorno adotado e então é transformada em escoamento superficial. Para tanto, faz-se necessário um profundo estudo hídrico das bacias hidrográficas que compõem o projeto, mediante análise pluviométrica e fluviométrica (TUCCI, 2004).

2.1 ESTUDO PLUVIOMÉTRICO

O objetivo do estudo pluviométrico é analisar os dados das precipitações para determinar a intensidade da chuva de projeto. Para obras hidráulicas de drenagem, se faz necessário o estudo de eventos de precipitações máximas na bacia hidrográfica, correlacionando a intensidade da chuva com duração e frequência da ocorrência de um evento extremo, uma vez que eventos de cheias podem provocar inundações e deterioração na infraestrutura do canal (Pruski et al, 2006). A precipitação máxima pode ser definida como a ocorrência de um evento extremo de chuva que possui características como duração, distribuição temporal e espacial críticas para uma determinada bacia hidrográfica, fazendo-se necessário seu estudo para compatibilização com o projeto (TUCCI, 1993).

Além do conhecimento das chuvas máximas analisadas nas séries históricas, é necessário prever, com base nos dados observados, quais as máximas precipitações que possam ocorrer com uma determinada frequência, analisando-se um período de tempo suficientemente longo da ocorrência de eventos extremos (VILLELA & MATTOS, 1975).

Eltz et al. (1992) afirma que o estudo da frequência é uma ferramenta estatística essencial para estudo da intensidade das chuvas, em razão da variabilidade temporal e espacial da precipitação, correlacionando-a com intensidade e duração dos eventos de precipitação (MELLO et al, 2001).

O conhecimento destas grandezas é fundamental para determinação da chuva de projeto nas obras de drenagem. Correlacionando a intensidade e duração da precipitação, verifica-se quanto mais intensa a precipitação, menor será sua

duração e à medida que aumenta a intensidade de uma chuva diminui a frequência de ocorrência (BERTONI E TUCCI, 2002).

O conhecimento dessas grandezas se torna uma dificuldade em razão da limitação de dados obtidos na rede pluviográfica. A análise dos dados de chuvas intensas requer um período suficientemente representativo de dados para estabelecer o correto período de retorno a ser usado na determinação da chuva de projeto (SOBRINHO, 2007).

A correta escolha do tempo de retorno deve ser proporcional aos riscos que pode provocar ao projeto, sendo a intensidade da precipitação proporcional ao tempo de retorno do evento chuvoso. Nunes (2007) define o tempo de recorrência ou de retorno, como o período médio, em anos, que um evento chuvoso é igualado ou superado pelo menos uma vez.

Uma vez que os dados disponíveis nas séries históricas são acumulados diariamente, o ajuste às distribuições de probabilidade teóricas possibilita apenas a obtenção de chuvas máximas diárias. Entre os modelos usados, as distribuições de probabilidade Gumbel, Gamma e Log Normal estão entre as mais usadas para representar eventos extremos de precipitação, a fim de relacionar a intensidade de uma precipitação com seu período de retorno (CHOW, et al 1988).

Utilizando os dados das precipitações diárias, é possível, por meio da distribuição de probabilidade, estabelecer relações entre as precipitações, transformando as chuvas de 1 dia para 24h. No entanto, a situação crítica adotada em projetos de drenagem consiste em definir a duração da chuva de projeto igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica, sendo necessário, portanto, a desagregação das chuvas diárias em intervalos de tempo inferiores ao período de 24 horas.

Um obstáculo a esse tipo de análise está na pequena quantidade de dados de estações pluviográficas. Em paralelo, a ampla quantidade de estações pluviométricas permite correlacionar dados de postos pluviométricos com as estações pluviográficas para definição de precipitações com períodos inferiores a 24 horas, possibilitando calcular, com aproximação, as precipitações de projeto por métodos estatísticos (TORRICO,1974).

Um modelo de desagregação das chuvas diárias em chuvas de durações menores consiste na utilização do método das Isozonas, desenvolvido por Torrico (1974). Em seu trabalho, o autor dividiu o país em isozonas (Figura 2), nas quais as relações entre as intensidades das chuvas de 6 minutos, 1 hora, 24 horas e diárias são constantes para um determinado período de retorno, relacionando para cada isozona com vários períodos de retorno.

No método proposto por Tabora, é possível estimar as precipitações máximas para diferentes períodos de retorno e com durações de 6 minutos, 1 hora e 24 horas a partir do produto da chuva diária por coeficientes de desagregação, os quais dependem da duração desejada, do período de retorno e da isozona. Conhecendo-se as chuvas máximas diárias e os coeficientes de desagregação, é possível correlacionar os dados das estações pluviográficas e pluviométricas e estimar as chuvas máximas com durações de 6 minutos, 1 hora e 24 horas.

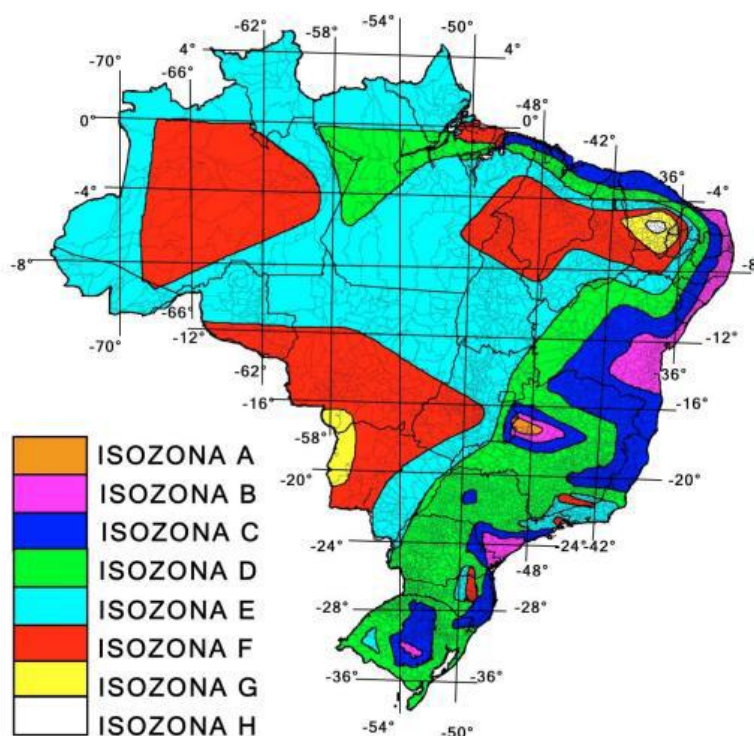
No estudo pluviométrico são analisados os dados da série histórica completa de precipitações das estações pluviométricas da região do projeto para análise das chuvas máximas diárias anuais. Esses dados são ajustados por função de distribuição de probabilidade para o cálculo das chuvas diárias para um dado tempo de recorrência. (TUCCI, 2004). A precipitação de 1 dia corresponde ao valor acumulado no intervalo de observação e a chuva de 24 horas refere-se ao máximo de um período de 24 horas.

Selecionada a isozona de projeto e definido o tempo de recorrência requerido, é determinada a percentagem para tempos de 6 minutos e 1 hora. Com as percentagens e a chuva de 24 horas são determinadas e as alturas de precipitação para 6 minutos e 1 hora. Com essas precipitações, se faz possível determinar as precipitações intermediárias por interpolação (TORRICO,1974). Os valores que relacionam as chuvas com duração inferior a 24 horas por isozona são apresentados na **Figura 2.2**, com base na **Figura 2.3** que representa o mapa de isozonas pelo Brasil.

Figura 2.2: Relação entre as precipitações de 24 h e as de 1h e 6 min.

Relação:		1h/24h										6min/24h	
Tr	5	10	15	20	25	30	50	100	1000	10000	5 ~ 50	100	
ISOZONAS	A	36,2	35,8	35,6	35,5	35,4	35,3	35,0	34,7	33,6	32,5	7,0	6,3
	B	38,1	37,8	37,5	37,4	37,3	37,2	36,9	36,6	35,4	34,3	8,4	7,5
	C	40,1	39,7	39,5	39,3	39,2	39,1	38,8	38,4	37,2	36,0	9,8	8,8
	D	42,0	41,6	41,4	41,2	41,1	41,0	40,7	40,3	39,0	37,8	11,2	10,0
	E	44,0	43,6	43,3	43,2	43,0	42,9	42,6	42,2	40,9	39,6	12,6	11,2
	F	46,0	45,5	45,3	45,1	44,9	44,8	44,5	44,1	42,7	41,3	13,9	12,4
	G	47,9	47,4	47,2	47,0	46,8	46,7	46,4	45,9	44,5	43,1	15,4	13,7
	H	49,9	49,4	49,1	48,9	48,6	48,6	48,3	47,8	46,3	44,8	16,7	14,9

Figura 2.3: Mapa de isozonas de igual relação de intensidades de chuvas



2.2 ESTUDO FLUVIOMÉTRICO

O estudo fluviométrico consiste na determinação do escoamento superficial gerado pela chuva de projeto para períodos de retorno pré-estabelecidos, que será utilizada no dimensionamento das obras de drenagem.

Para estudos de pico de vazões, os principais métodos utilizados para determinar o escoamento superficial são o método racional e método do hidrograma unitário. Esses modelos consistem em determinar a vazão de projeto com base na área da bacia e intensidade da precipitação.

2.2.1 Método Racional

O fundamento do método racional consiste no cálculo da vazão máxima proporcionada pela precipitação correlacionando a vazão de escoamento com a área da bacia e a intensidade da chuva de projeto. Este modelo é recomendado para bacias hidrográficas com área inferior a 3,5km², por admitir as seguintes hipóteses simplificadoras:

- A chuva é considerada uniformemente distribuída no tempo e espaço;
- Há predomínio de escoamento em superfícies planas, antes de se atingir a rede de drenagem.

O método relaciona a vazão com a área da bacia e a intensidade da chuva de projeto através da seguinte equação:

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

Onde,

Q é a vazão de pico (m³/s);

C é o coeficiente de escoamento (adimensional);

i é a intensidade da precipitação (mm/h);

A é a área da bacia (km²).

2.2.2 Método Do Hidrograma Unitário

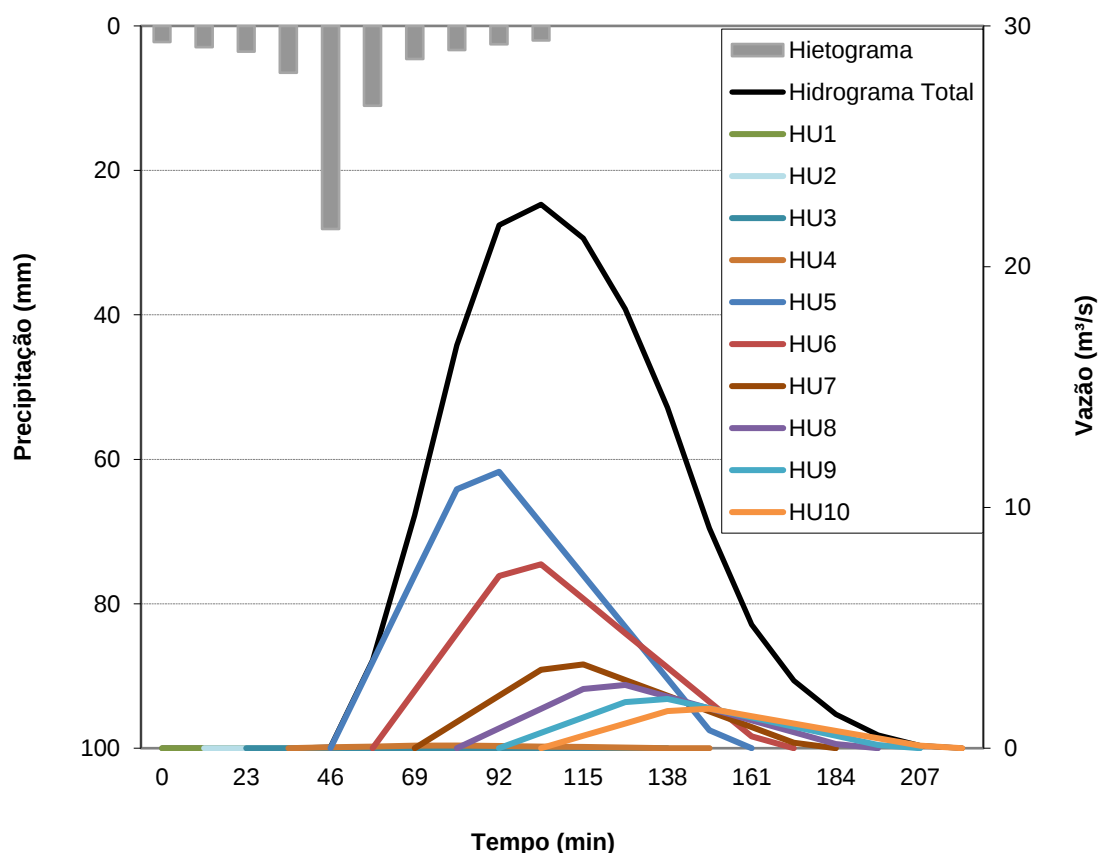
O Método do Hidrograma Unitário compreende o cálculo da lâmina de escoamento a partir da precipitação de projeto e a determinação da vazão de pico a partir da lâmina de escoamento superficial empregando-se o conceito de hidrograma. Esse modelo é utilizado para bacias com áreas superiores a 3,5km².

O hidrograma relaciona a vazão ao tempo e é o resultado da interação dos componentes do ciclo hidrológico que influenciam no escoamento superficial, correlacionando o volume que escoar e a duração do escoamento. O hidrograma unitário representa uma precipitação uniformemente distribuída sobre a bacia com intensidade constante durante um determinado período de tempo. Logo, para obter o hidrograma unitário representativo de uma bacia, é necessário encontrar vários hidrogramas resultantes de chuvas simples com mesma duração, devido à variação espacial e temporal de chuvas com mesma duração.

O método é fundamentado em três princípios básico: para chuvas efetivas de intensidade constante e de mesma duração, os tempos de escoamento superficial são iguais (princípio da constância do tempo de base). Para chuvas efetivas de mesma duração, porém com volumes de escoamento superficial diferentes, irão produzir em tempos correspondentes, volumes de proporcionais às chuvas excedentes (Proporcionalidade das Descargas ou Princípio da Afinidade). A duração do escoamento superficial de uma determinada chuva efetiva independe de precipitações anteriores. O hidrograma total referente a duas ou mais chuvas efetivas é obtido adicionando-se as ordenadas de cada um dos hidrogramas em tempos correspondentes (Princípio da Aditividade), como mostrado na **Figura 2.4**.

O modelo do hidrograma unitário consiste na resposta da bacia hidrográfica a uma precipitação de intensidade e duração unitárias. Uma vez que a construção desses modelos requer métodos complexos que necessitam de dados nem sempre disponíveis, utiliza-se para o dimensionamento de cheias, hidrogramas unitários sintéticos baseados em relações empíricas, nas características físicas da bacia e no tempo de concentração.

Figura 2.4: Aplicação do Método do Hidrograma Unitário



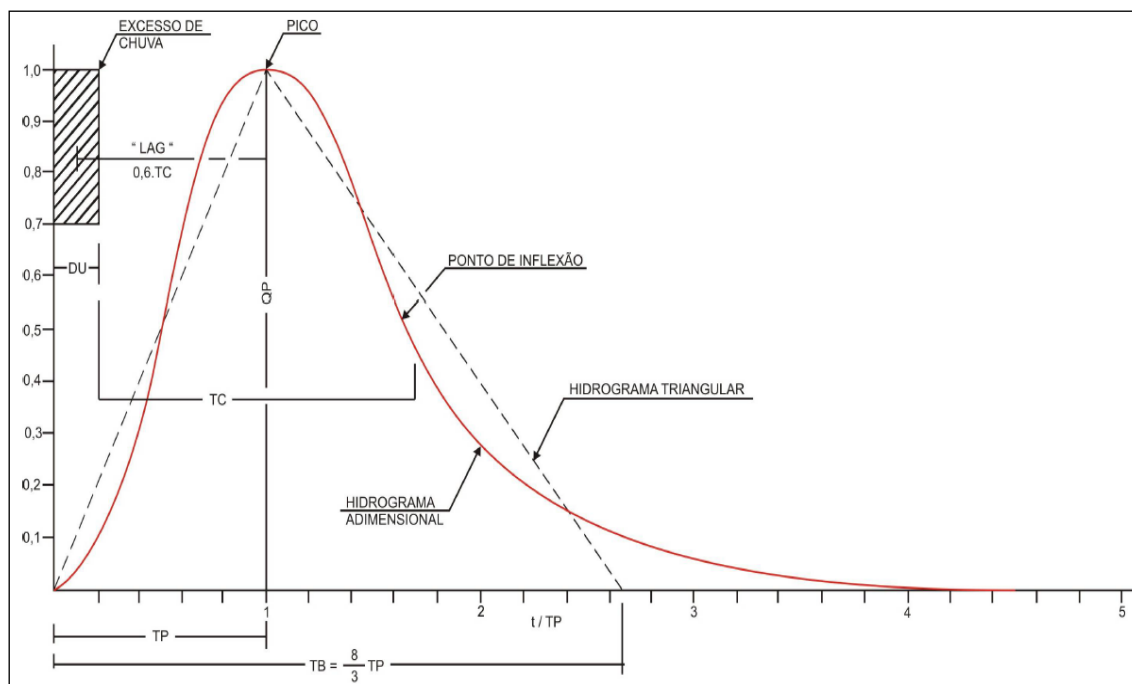
Para o modelo do hidrograma unitário existem vários métodos de construção e o mais usual é hidrograma unitário sintético do SCS (Soil Conservation Service) dos Estados Unidos. Trata-se de um método empírico baseado na relação entre a precipitação total, a precipitação efetiva (parcela responsável pelo escoamento superficial), a cobertura vegetal e tipo, grau de ocupação e condições hidrológicas do solo, que é representada pelo índice CN (Curva Número), correspondente às características da cobertura vegetal e tipo de solo.

O modelo do SCS consiste em estimar a precipitação efetiva ou parte da precipitação responsável pela geração de escoamento superficial, abatendo-se as perdas (interceptação vegetal, infiltração, armazenamento nas depressões do terreno) da chuva de projeto. Um gráfico do hidrograma com modelo do SCS é apresentado na **Figura 2.5**.

Para construção do modelo é realizada a distribuição temporal da chuva de projeto que se refere à construção do hietograma. Para isso tem-se o método dos Blocos Alternados, no qual hidrograma é construído a partir de hidrogramas

triangulares parciais, e através da relação intensidade, duração e frequência obtém-se a intensidade da chuva de projeto para cada duração e transforma-se a intensidade em altura de chuva para cada intervalo de tempo, refletindo o volume de escoamento.

Figura 2.5: Hidrograma Unitário Triangular do Soil Conservation Service - SCS



A área sob a curva corresponde ao volume unitário escoado superficialmente. No modelo do (SCS), admite-se que as perdas iniciais de precipitação correspondem a 0,2 vezes a capacidade de infiltração do solo (S), sendo esta última a principal variável do modelo responsável pelo controle da geração de escoamento. Caso a precipitação seja inferior às perdas iniciais, não há formação de escoamento superficial, ou seja, a precipitação efetiva é zero.

O parâmetro CN é estimado com base nas características do solo, de uso e ocupação da bacia e da umidade antecedente do solo, apresentando valores entre 0 e 100, no qual valores maiores representam condições mais favoráveis à geração de escoamento.

Uma vez definido o valor do parâmetro CN e calculada a precipitação efetiva, utiliza-se o conceito de hidrograma unitário para estimativa da vazão de pico, a qual consiste na resposta da bacia hidrográfica a uma precipitação de intensidade e duração unitárias.

O hidrograma de projeto é construído a partir da aproximação de hidrogramas triangulares parciais, definindo-se o hidrograma de projeto em intervalos

de duração igual à duração da chuva unitária, e o método dos Blocos Alternados para distribuição das chuvas incrementais.

Para cada intervalo do hietograma, é definido o hidrograma triangular parcial para obtenção do hidrograma total e é determinada a vazão de projeto do hidrograma total para o período de retorno utilizado.

Nos projetos de drenagem, faz-se necessária, portanto, a realização de análises matemáticas para definição de parâmetros de projeto de forma não empírica, utilizando-se de simulações e modelos para essa finalidade. Esses modelos são alimentados em seu início a partir de dados fisiográficos, pluviométricos e hidrológicos que geram os dados de vazão e deflúvio necessários às simulações hidráulicas subsequentes.

2.2.3 Dimensionamento Hidráulico

O dimensionamento hidráulico dos dispositivos de drenagem consiste no dimensionamento das obras hidráulicas suficientes para comportar o escoamento superficial resultante da chuva de projeto para um dado período de retorno pré-estabelecido para que não ultrapasse a capacidade de drenagem do elemento.

Hidraulicamente, os drenos e bueiros funcionam como canais, são dimensionados como condutos livres em que o escoamento está em contato direto com o ar, sujeito à pressão atmosférica. Para este tipo de conduto, é considerado o regime permanente uniforme, escoamento em que a velocidade permanece constante.

Por ser um conduto livre, o dreno ou bueiro não têm toda a seção ocupada pelo escoamento, sendo necessário, para o dimensionamento, o cálculo da área e do perímetro efetivos do escoamento, chamados de área e perímetro molhados para as seções transversais adotadas nos dispositivos.

O escoamento por ser permanente e uniforme, pode ser representado pela equação empírica de Chezy com coeficiente de Manning, que, baseado no equilíbrio entre as forças aceleradoras e retardadoras, relaciona a velocidade média do escoamento com a declividade da seguinte forma:

$$v = \frac{R_h^{2/3} \times I^{1/2}}{n} \quad (\text{Fórmula de Manning})$$

Onde,

n é o coeficiente de rugosidade de Manning.

R_h é o raio hidráulico (m), obtido pela razão entre Área molhada e Perímetro Molhado.

I é a declividade do fundo do canal (m/m).

A utilização desta equação em conjunto com a equação da continuidade torna possível a resolução de problemas hidráulicamente determinados.

A equação da continuidade para líquidos incompressíveis determina que:

$$Q = A_m \times v$$

Onde,

Q é a vazão em m^3/s ;

v é a velocidade média na seção do escoamento em m/s ;

A_m é a área da seção de escoamento em m^2 .

Para um fluido incompressível, a energia mecânica do escoamento permanente é constante e determinada na forma de carga, energia por unidade de peso, pelo Teorema de Bernoulli:

$$H = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + Z$$

Onde,

H é a carga total.

$\frac{V^2}{2g}$ é a carga cinética.

$\frac{P}{\gamma}$ é a carga piezométrica ou de pressão.

Z é a carga geométrica ou de posição.

Para o dimensionamento dos drenos e bueiros, leva-se em conta a Energia Específica (E), que é definida como a energia total por unidade de peso em relação ao fundo do canal, assim sua carga de posição Z é nula e uma vez que os dispositivos são dimensionados como condutos livres, a parcela de pressão efetiva P/γ é igual à altura do escoamento h .

Desta forma, a Energia Específica (E) é dada por:

$$E = h + \frac{V^2}{2g}$$

Onde,

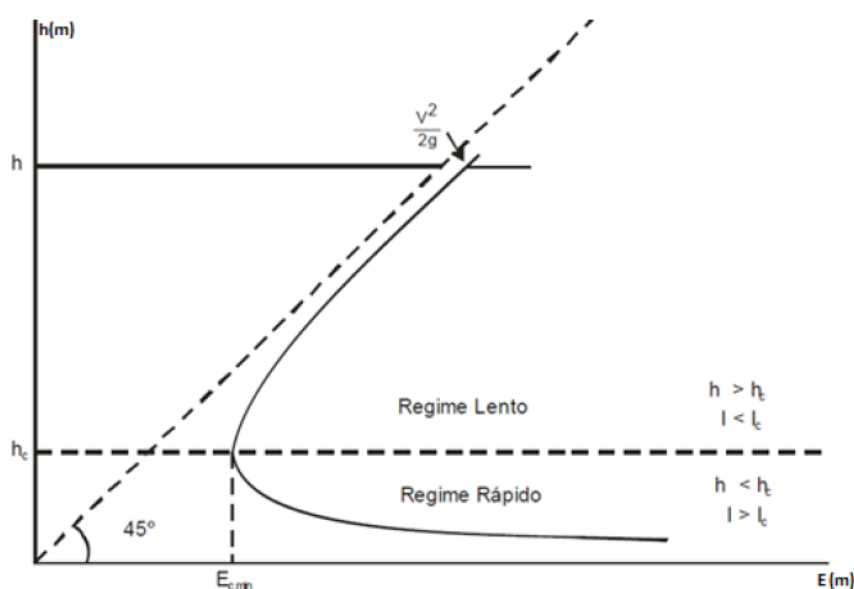
h é o tirante d'água em metros.

v é a velocidade média do escoamento em m/s.

g é a aceleração da gravidade, adotado o valor de 9.81 m/s^2 .

A variação da energia específica em função do tirante d' água para uma dada vazão é mostrada na **Figura 2.6**.

Figura 2.6: Variação da Energia Específica



Fonte: Manual de Drenagem de Rodovias (DNIT, 2013)

Conforme observado no gráfico, a energia específica decresce com a redução do nível de água até o ponto mínimo de energia, a partir do qual a energia passa a crescer com a redução do tirante d'água, este ponto de inflexão é chamado de ponto crítico e define o regime crítico de escoamento.

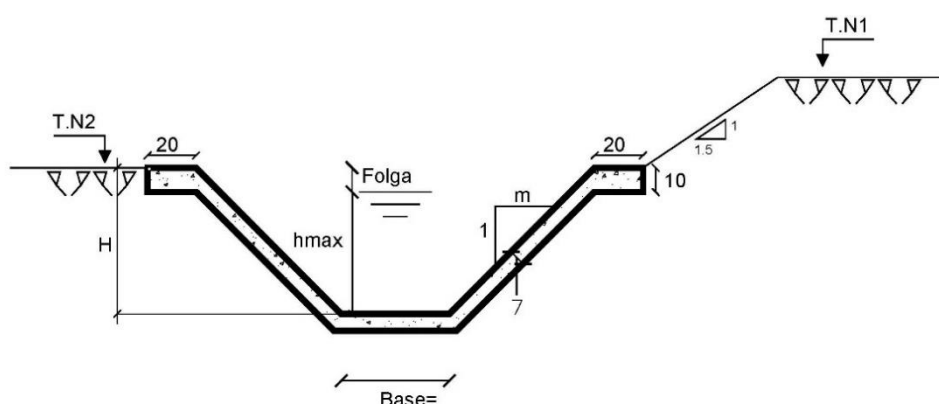
A partir da análise e do comportamento do gráfico da energia específica, pode-se dividir o regime de escoamento em 3 categorias: a) crítico, que ocorre no ponto de menor energia; b) o rápido ou supercrítico, definido por possuir velocidade superior e tirante inferior ao do regime crítico; c) subcrítico, definido por uma velocidade inferior e tirante superior ao do regime crítico.

O que se relaciona com os seguintes valores para o número de Froude:

- $Fr < 1$ - regime de escoamento subcrítico;
- $Fr = 1$ - regime de escoamento crítico;
- $Fr > 1$ - regime de escoamento supercrítico.

O dimensionamento do sistema de drenagem longitudinal consiste na determinação de dispositivos com seções transversais definidas de acordo com o escoamento superficial de projeto.

Figura 2.7: Seção Tipo de dreno longitudinal



Cada seção é determinada, segundo recomenda o Manual de Drenagem do DNIT com base na vazão de projeto, declividade e geotecnia do local e com base nos limites de velocidade e altura de escoamento.

O dimensionamento dos dispositivos transversais (bueiros) também é definido com base na vazão de escoamento de projeto e declividade adotada para a obra para operar com segurança.

Para os bueiros trabalhando como canal, o dimensionamento é baseado no funcionamento do bueiro no regime supercrítico e subcrítico.

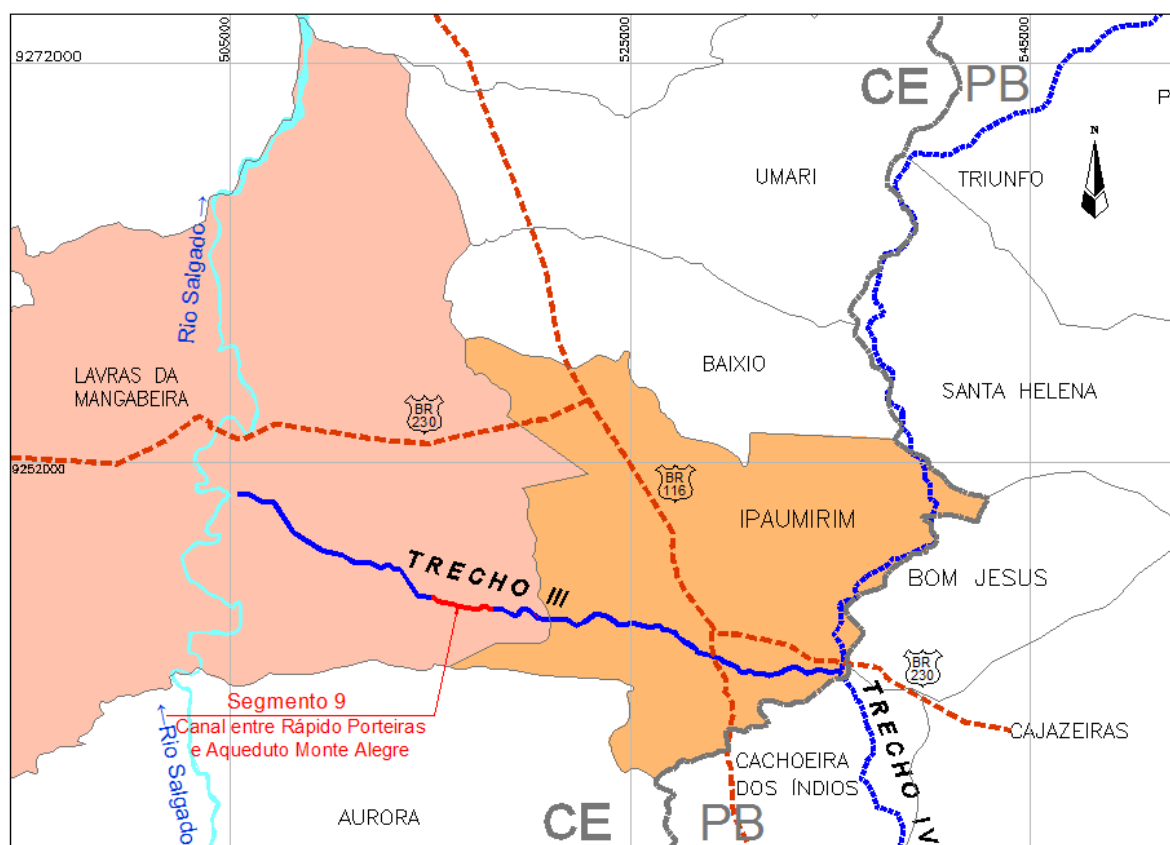
No regime supercrítico, a capacidade admissível do dispositivo é limitada à vazão correspondente ao regime crítico, com energia específica igual ao seu diâmetro ou altura. Nesse caso é necessária proteção à montante e jusante do mesmo para combater riscos de erosão. Para o regime subcrítico a declividade do bueiro é inferior à declividade crítica, caracterizando baixas velocidades de escoamento no elemento de drenagem.

3 METODOLOGIA

A área de estudo corresponde à área de implantação do Trecho III do Canal da Integração do Rio São Francisco, no Sudeste do Estado do Ceará, próximo à fronteira com a Paraíba. O Trecho III do canal possui 34,7 km de extensão e é dividido em 13 segmentos. Esse trecho do canal será implantado nos municípios de Ipaumirim e Lavras da Mangabeira, conforme **Figura 3.1**.

Para o presente estudo foi delimitado a área de estudo correspondente ao segmento 9 do Trecho III do projeto do canal, com uma área de estudo com 3,28 km de extensão.

Figura 3.1: Localização do Trecho III do Canal da Transposição do Rio São Francisco



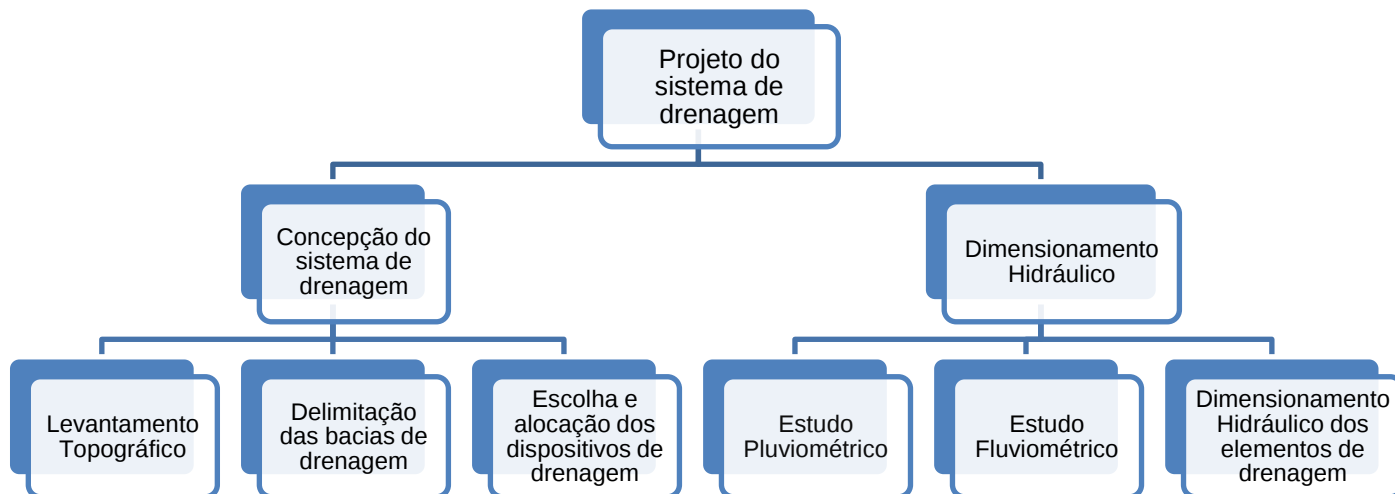
PROJETO DO SISTEMA DE DRENAGEM

A elaboração do projeto do sistema de drenagem externa do canal é dividida em duas etapas: concepção do sistema de drenagem e o dimensionamento hidráulico dos dispositivos. A **Figura 3.2** mostra o fluxograma com as etapas da elaboração do projeto.

Na fase de concepção, será realizado o estudo topográfico da região no qual se insere o canal do projeto para o reconhecimento das bacias hidrográficas e escolha correta dos elementos que virão a compor o sistema de drenagem.

Na fase de dimensionamento hidráulico, será realizado o estudo das variáveis necessárias para a execução do projeto de drenagem. Nesta fase, são conhecidos os aspectos hidrológicos por meio de análise pluvial e fluvial para em seguida proceder com o dimensionamento propriamente dito das obras de drenagem.

Figura 3.2: Fluxograma com etapas de Projeto de Drenagem



3.1 CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM

3.1.1 Levantamento Topográfico

Esta é a fase inicial do projeto. Nesta etapa é analisado o levantamento planialtimétrico do local de implantação do canal e das bacias hidrográficas no qual o canal está inserido, fazendo-se necessário um preciso levantamento da superfície.

Esta etapa é fundamental para o projeto de drenagem, uma vez que por meio desse estudo se faz possível o conhecimento das bacias hidrográficas e será possível proceder com a correta implantação do sistema de drenagem.

Pelo levantamento de campo, é possível elaborar o modelo digital do terreno, possibilitando a análise da representação altimétrica da superfície levantada por meio das curvas de nível em metro em metro com riqueza de detalhes.

3.1.2 Delimitação das Bacias de Drenagem

Com base no levantamento topográfico foram traçados os limites das bacias hidrográficas que abrangem o canal e foram definidas as bacias que contribuem para o projeto de drenagem.

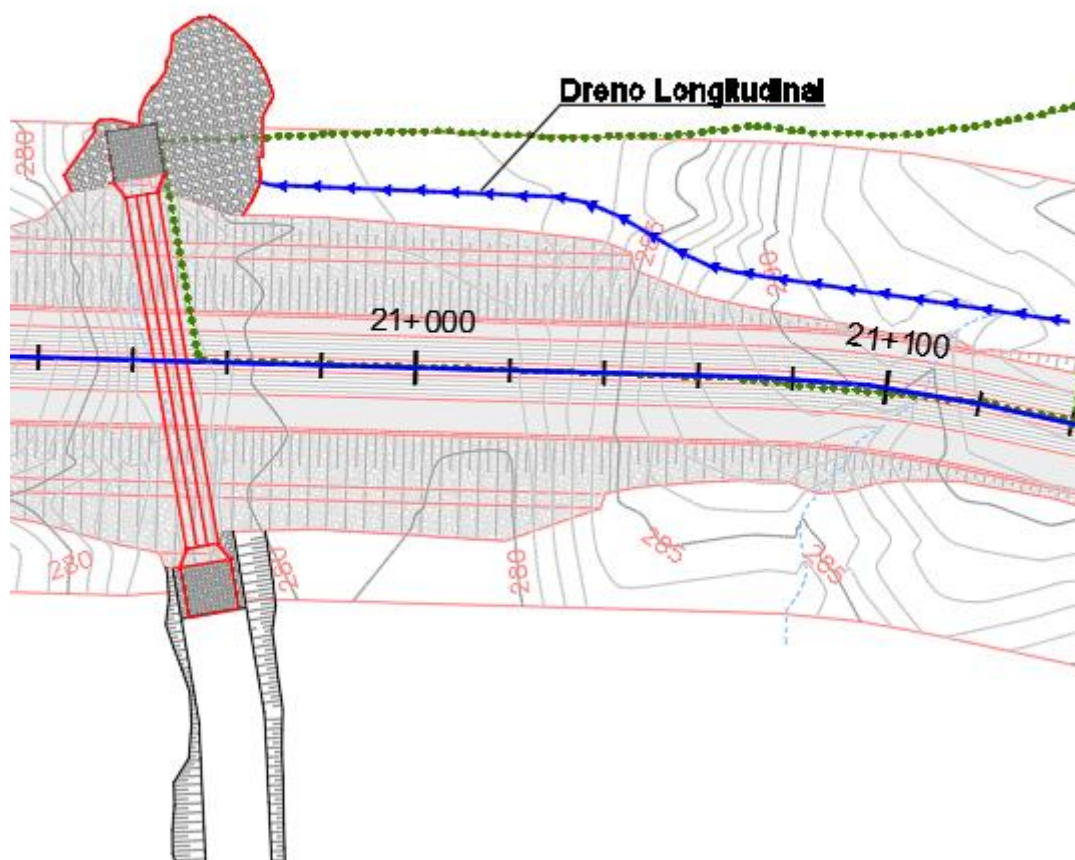
O traçado das bacias foi definido limitando-se os divisores topográficos com o eixo do canal a fim de caracterizar a área de contribuição de escoamento superficial para o dimensionamento hidráulico de cada elemento de drenagem.

3.1.3 Escolha e Localização dos Dispositivos de Drenagem

A localização exata dos elementos de drenagem foi determinada com base no levantamento topográfico, nos locais com existência de escoamento afluente ao corpo do canal. Foram usados drenos e bueiros para compor o sistema de drenagem longitudinal e transversal, respectivamente.

Os drenos foram posicionados paralelamente às margens do canal numa distância aproximada de 5m em relação às margens dos taludes do canal para evitar processo erosivo na estrutura, como na **Figura 3.3**.

Figura 3.3: Localização de dreno longitudinal e bueiro



Nos casos em que a implantação de drenos foi inviável tecnicamente, optou-se pela locação de bueiros, sob o eixo do canal. Procurou-se posicionar o eixo do bueiro em pontos estratégicos na bacia de drenagem, ao longo do maior ponto de convergência de escoamento superficial (talvegue natural), facilitando o manejo do sistema de drenagem.

Os custos de implantação de bueiros são, em geral, mais elevados do que drenos, visto a necessidade de maiores profundidades de escavação para assentamento (grande parte em material rochoso, encarecendo as obras) e maior refino nesse tipo de obra. Dessa forma, busca-se as alternativas técnicas e econômicas para escolha dos componentes de projeto.

3.2 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

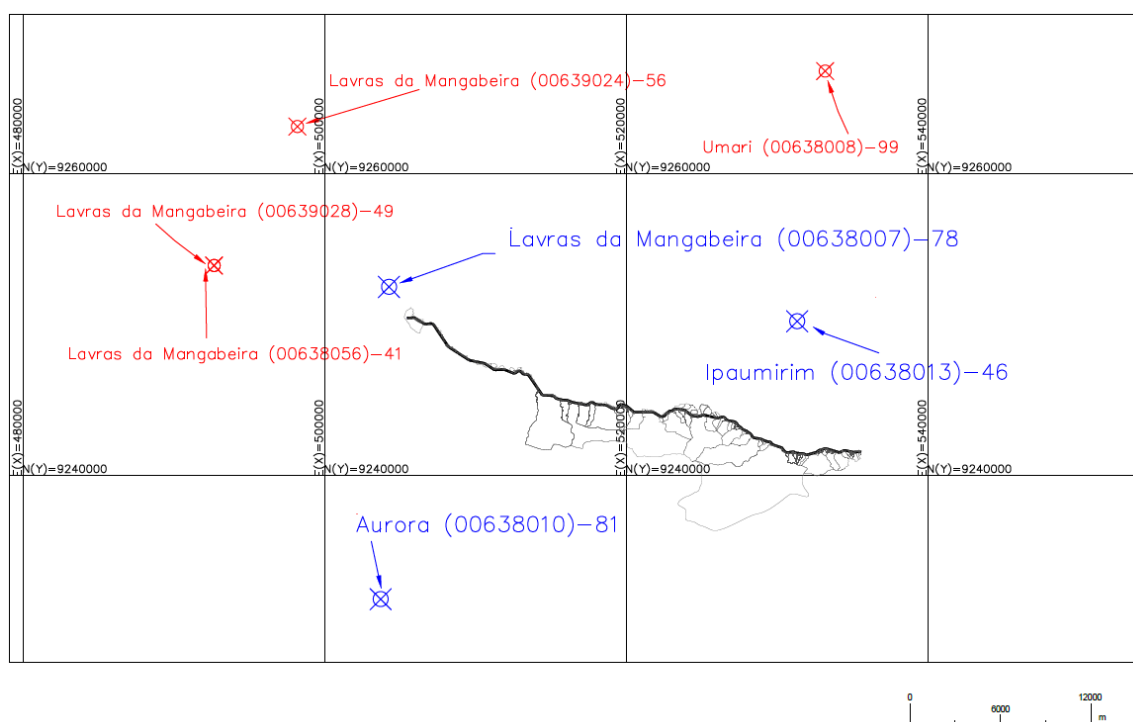
3.2.1 ESTUDO PLUVIOMÉTRICO

O estudo pluviométrico teve início com base na coleta de dados das estações pluviométricas. A identificação das estações localizadas na área de estudo, bem como a obtenção das séries de precipitação diária, foi realizada a partir do Sistema de Informações Hidrológicas – Hidroweb da Agência Nacional de Águas – ANA. Obtiveram-se então os dados de séries históricas de precipitações dos postos pluviométricos próximos à área estudada e com séries históricas com pelo menos 40 anos de dados consistentes. Os postos pluviométricos que foram analisados e a sua localização em relação ao Trecho III do projeto estão apresentados na **Tabela 3.1**, com as respectivas posições geográficas mostradas na **Figura 3.4**.

Tabela 3.1: Postos pluviométricos analisados, com destaque para os postos representativos considerados no estudo das chuvas intensas.

Posto	LAT	LONG	Responsável	Município	Tamanho da Série (Anos)
(00638008)	-6:38:0	-38:42:0	FUNCEME	Umari	99
(00638010)	-6:57:0	-38:58:0	FUNCEME	Aurora	81
(00638007)	-6:45:46	-38:57:38	ANA	Lavras da Mangabeira	78
(00639024)	-6:40:0	-39:1:0	FUNCEME	Lavras da Mangabeira	56
(00639028)	-6:45:0	-39:4:0	DNOCS	Lavras da Mangabeira	49
(00638013)	-6:47:0	-38:43:0	FUNCEME	Ipaumirim	46
(00638056)	-6:45:0	-38:58:0	FUNCEME	Lavras da Mangabeira	41

Figura 3.4: Localização dos Postos Pluviométricos Selecionados



Considerando-se as posições geográficas dos postos (proximidade em relação ao eixo do canal) e a extensão das séries de dados, os postos de Aurora (00638010), Lavras da Mangabeira (00638007) e Ipaumirim (00638013) foram considerados mais representativos e selecionados para o estudo de chuvas intensas, conforme selecionados na **Figura 3.4**.

3.2.1.1 Chuvas Intensas com Duração de 1 dia

O cálculo de chuvas intensas com duração de 1 dia foi determinado por métodos estatísticos para ajustar as séries de máximos anuais a distribuições de probabilidade previamente definidas, obtidas a partir das séries históricas de cada posto. As séries com máximas anuais servem como amostra da população de eventos extremos da região estudada.

As chuvas intensas são associadas a um período de retorno, que representa o inverso da frequência de um dado evento ser superado ou igualado. Por definição o período de retorno é dado por:

$$TR = \frac{1}{P(X \geq x_i)}$$

Onde, TR é o período de retorno em anos;

$P(X \geq x_i)$ é a probabilidade de ocorrer um evento X maior ou igual a x_i .

Por refletir a probabilidade de ocorrência de uma falha, o período de retorno está diretamente relacionado ao risco assumido, quanto maior o período de retorno, maior também será a precipitação adotada para o projeto e menor será o risco.

3.2.1.2 Séries históricas

As séries observadas de máximos anuais consistem nas séries com a precipitação máxima diária de cada ano da série histórica para cada posto. Os valores das precipitações foram ordenados de forma crescente para se obter as probabilidades de excedência ao se dividir a ordem do valor na série pelo número total de valores.

Para o ajuste dos dados às distribuições de probabilidade teóricas faz-se necessário caracterizar as séries observadas de máximos anuais, particularmente no que diz respeito à média (μ_x) e ao desvio padrão (σ_x). A **Tabela 3.2** apresenta os valores de média e desvio padrão das séries de máximos anuais dos postos pluviométricos representativos da área de estudo.

Tabela 3.2: Média e desvio padrão das chuvas máximas anuais dos postos pluviométricos representativos

Posto	Município	μ_x	σ_x
00638007	Lavras da Mangabeira	77.30	21.16
00638010	Aurora	77.40	26.46
00638013	Ipaumirim	87.63	30.44

3.2.1.3 Distribuições de probabilidade teóricas

Na sequência, foi realizado o ajuste dos dados às distribuições de probabilidades usando as distribuições de Gumbel, Gamma e Log Normal para o cálculo dos parâmetros das distribuições.

Para representar os eventos extremos de precipitação procedeu-se com o ajuste probabilístico. Na forma de função cumulativa de probabilidade, a distribuição Gumbel é definida como:

$$1 - P(x \geq x_i) = e^{-e^{-\frac{1}{\beta}(x-\mu)}}$$

Onde, $P(x \geq x_i)$ é a probabilidade de excedência;

x é o valor de um dado evento;

β e μ são os parâmetros da distribuição de Gumbel.

A fim de relacionar a intensidade de uma precipitação com seu período de retorno, pode-se manipular o inverso desta equação junto com a definição de período de retorno para obter:

$$x = \mu - \beta \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right)$$

Onde, x é a intensidade de uma precipitação para determinado período de retorno;

TR é o período de retorno;

β e μ são os parâmetros da distribuição de Gumbel.

Distribuição Gamma:

A distribuição de probabilidade Gamma é definida pela sua função densidade de probabilidade (FDP):

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \times \Gamma(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$$

Onde, x é o valor de um dado evento;

α e β são os parâmetros da distribuição Gamma;

$\Gamma(\alpha)$ é o valor da função gamma ordinária, é definida como:

$$\Gamma(n) = \int_0^{\infty} x^{n-1} e^{-x} dx$$

A função cumulativa de probabilidade é obtida integrando-se a FDP:

$$1 - P(x \geq x_i) = \frac{1}{\beta^\alpha \times \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx$$

Distribuição Log Normal

A distribuição de probabilidade Log Normal é definida pela sua função densidade de probabilidade (FDP):

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma} \right)^2}$$

Onde, x é o valor de um dado evento;

μ e σ são os parâmetros da distribuição Log Normal.

Estas equações não têm solução imediata, requerendo a utilização de métodos numéricos ou tabelas de integrais para a sua resolução. Para isso, utilizou-se de ferramentas computacionais do software Excel para encontrar os valores da inversa desta equação a fim de se obter os valores das chuvas intensas para determinados períodos de retorno.

3.2.1.4 Teste de aderência dos dados medidos às distribuições teóricas

Para analisar a qualidade do ajuste dos dados medidos às distribuições de probabilidade teóricas utilizou-se o teste de aderência estatística Qui-quadrado com função de analisar de forma quantitativa a adequação do resultado observado à distribuição esperada para o evento. Foi analisada a quantificação das discrepâncias entre os valores observados e estimados para consideração de que estes valores de discrepância podem ser representados pela distribuição de probabilidade Qui-Quadrado (X^2).

Pelo teste de aderência para ajuste das distribuições, as discrepâncias (x^2) para cada função ajustada são valoradas pelo somatório das discrepâncias entre as frequências geradas pelo agrupamento dos dados em classes de frequência, da seguinte forma:

$$x^2 = \sum_1^n \frac{(f_{obs} - f_{esp})^2}{f_{esp}}$$

Onde, χ^2 é o valor da discrepância como uma variável da distribuição χ^2 ;

f_{obs} é a frequência da classe na série observada;

f_{esp} é a frequência esperada, estimada, pela função ajustada;

n é o número de classes.

Observa-se que quanto menor for o valor de χ^2 , menor é a discrepância entre as séries, ou seja, melhor é o ajuste. As hipóteses analisadas pelo teste são: H_0 : os dados seguem a distribuição em consideração; H_1 : os dados não seguem a distribuição em consideração.

Para saber o valor crítico de χ^2 para que a hipótese nula possa ser validada para um nível de confiança escolhido, definida pela sua função de densidade de probabilidade como:

$$f(\chi^2) = \frac{1}{2^{k/2} \times \Gamma(k/2)} \cdot (\chi^2)^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{\chi^2}{2}}$$

onde k é o número de graus de liberdade, dado pelo número de classes menos 1.

A probabilidade de $\chi^2 \geq \chi_i^2$ é dada pela integração da FDP da seguinte forma:

$$P(\chi^2 \geq \chi_i^2) = \int_{\chi_i^2}^{\infty} f(\chi^2) d\chi^2$$

Precipitações máximas para diferentes períodos de retorno

O cálculo das chuvas máximas diárias para diferentes períodos de retorno foi realizado utilizando-se a inversa da distribuição de probabilidade de melhor ajuste para cada posto pluviométrico. Foram calculadas as chuvas para períodos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos.

Chuvas intensas com diferentes durações

Neste estudo, para a desagregação das chuvas máximas diárias em chuvas de durações menores foi utilizado o método das Isozonas, desenvolvido por Torrico (1974), determinando estas relações e definido os coeficientes de desagregação para a isozona de estudo para vários períodos de retorno.

Conhecendo-se as chuvas máximas diárias e os coeficientes de desagregação, é possível estimar as chuvas máximas com durações de 6 minutos, 1 hora e 24 horas

e outros intervalos de duração. Pelo método das Isozonas, foram estimadas as precipitações máximas para diferentes períodos de retorno e com durações de 6 minutos, 1 hora e 24 horas a partir do produto da chuva diária pelos coeficientes de desagregação. A **Tabela 3.5** apresenta os coeficientes de desagregação para a isozona G e os períodos de retorno de interesse no âmbito deste estudo.

Tabela 3.3: Coeficientes de desagregação das chuvas diárias para a isozona G

Duração	Período de Retorno (anos)			
	10	25	50	100
6 min	0.154	0.154	0.154	0.137
1 h	0.474	0.468	0.464	0.459
24 h	1.095	1.095	1.095	1.095

3.2.2 ESTUDO FLUVIOMÉTRICO

O estudo fluviométrico foi desenvolvido para determinação das cheias esperadas de projeto para os períodos de retorno estabelecidos para o dimensionamento das obras de drenagem.

Neste estudo as vazões de pico foram estimadas pelo Método Racional para bacias de área inferior a 3,5 km² e pelo Método do Hidrograma Unitário do SCS (Soil Conservation Service) para bacias com área maiores de 3,5km².

Em ambos os casos se admitiu uma chuva de projeto com duração igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica, configurando uma situação de intensidade crítica da precipitação.

Os tempos de concentração foram estimados pelas fórmulas de Kirpich Original (para bacias com área inferior a 0,5 km²) e Modificada (para bacias maiores que 1 km²).

$$tc = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad \text{para bacias com área menor que 0,5 km}^2;$$

$$tc = 85,2 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad \text{para bacias com área maior que 1,0 km}^2.$$

Onde, tc é o tempo de concentração (min);

L é o comprimento do talvegue principal (km);

H é o desnível entre o ponto mais distante da bacia e o exutório (m).

Para bacias com áreas entre 0,5 km² e 1 km², o tempo de concentração foi calculado através da interpolação linear entre as duas equações. Adicionalmente, considerou-se um tempo de concentração mínimo de 6 minutos, admitindo-se que nessas condições a intensidade da chuva é aproximadamente constante.

3.2.2.1 Método Racional

O Método Racional foi utilizado para bacias pequenas, determinando-se a vazão de projeto, de acordo com a área da bacia, intensidade da chuva de projeto e coeficiente de escoamento superficial (CN) de acordo com o tipo de solo e cobertura vegetal da região.

$$Q = C \times I \times A$$

- Q (m³/s) = vazão total de contribuição para o dreno.
- C = coeficiente de deflúvio ($C = 0,20$);
- I = intensidade média da chuva (m/s);
- A = área da bacia (m²);

Para definição do coeficiente de escoamento do Método Racional, seguiu-se recomendação de Ven te Chow et al. (1988) para superfícies não pavimentadas, conforme exposto na **Figura 3.8**.

Figura 3.8: Coeficientes de escoamento do Método Racional para áreas não pavimentadas (adaptado de Ven te Chow et al., 1988)

Superfícies não pavimentadas	Período de retorno (anos)						
	2	5	10	25	50	100	500
Terra cultivada							
Plana, 0-2%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Média, 2-7%	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Íngreme, > 7%	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pasto							
Plana, 0-2%	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Média, 2-7%	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Íngreme, > 7%	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Floresta / bosque							
Plana, 0-2%	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Média, 2-7%	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Íngreme, > 7%	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

3.2.2.2 Método do Hidrograma Unitário

Este método foi utilizado para bacias maiores que $3,5\text{km}^2$ para determinação da vazão de projeto. Foi usado o método do Número de Curva (CN), proposto pelo SCS. Inicialmente foi determinada a lâmina de escoamento em razão da precipitação encontrada no estudo pluviométrico e em seguida foi calculada a vazão de projeto usando o conceito do hidrograma unitário.

Foi admitida as perdas iniciais de precipitação correspondente a 0,2 vezes a capacidade de infiltração do solo (S), fundamental para determinar o escoamento superficial.

Para calibração do parâmetro CN do método do hidrograma unitário, verificou-se, para pequenas bacias, qual seria o valor de CN que produziria resultados semelhantes aos obtidos pelo Método Racional com os coeficientes de escoamento supracitados.

Uma vez definido o valor do parâmetro CN e conhecida a precipitação efetiva, foi utilizado o conceito de hidrograma unitário para estimativa da vazão de pico do hidrograma. Neste estudo, utilizou-se o hidrograma triangular unitário adimensional do SCS, apresentado na **Figura 2.1**.

Calculou-se a duração da chuva unitária, admitida com $1/5$ do tempo de concentração. Definiu-se o hietograma de projeto com intervalos de duração igual à duração da chuva unitária, utilizando-se o método de Taborga Torrico para obtenção das chuvas com diferentes durações.

O hidrograma de projeto foi construído a partir da aproximação de hidrogramas triangulares parciais, definindo-se o hietograma de projeto em intervalos de duração igual à duração da chuva unitária, admitida igual a $1/5$ do tempo de concentração.

O hietograma de projeto foi definido com 10 intervalos de duração igual à duração da chuva unitária e foi calculada a distribuição das chuvas incrementais pelo método dos Blocos Alternados.

Para cada intervalo do hietograma, calculou-se o hidrograma triangular parcial a partir do produto das ordenadas do hidrograma unitário pela precipitação efetiva da chuva incremental no respectivo intervalo, somando-se as ordenadas dos hidrogramas parciais, respeitando-se seus intervalos de ocorrência, para obtenção do

hidrograma total. A vazão de pico do hidrograma total é admitida como a vazão de projeto para o período de retorno utilizado.

3.2.3 Definição dos coeficientes de escoamento

Para definição do coeficiente de escoamento do Método Racional, seguiu-se recomendação de Ven te Chow et al. (1988) para superfícies não pavimentadas, conforme exposto na **Figura 3.8**. Considerando o uso e ocupação do solo na região do Trecho III do PISF, adotaram-se os coeficientes para áreas de floresta com baixas declividades, com coeficientes de escoamento variando de 0,28 para período de retorno de 10 anos a 0,39 para período de retorno de 100 anos.

Para calibração do parâmetro CN do método do hidrograma unitário, verificou-se, para pequenas bacias, qual seria o valor de CN que produziria resultados semelhantes aos obtidos pelo Método Racional com os coeficientes de escoamento supracitados. Constatou-se que um valor de CN igual a 80 resultaria na compatibilidade entre os resultados, tendo sido esse o valor de CN adotado neste estudo. Ressalta-se que esse valor é compatível com valores esperados para áreas com solos do grupo hidrológico D, cobertas por Caatinga e em condição de solo úmido (condição 3 de umidade), como identificado por Araújo Neto et al. (2013).

3.2.3 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Para dimensionamento dos drenos e bueiros foram determinadas seções tipo a fim de permitir uma rápida seleção da seção do dispositivo com base na vazão afluyente de projeto.

3.2.3.1 Drenagem Transversal

As seções típicas adotadas para os bueiros consistem em seções retangulares, com base e altura padronizadas pelo DNIT. Estas seções possuem parâmetros como quantitativos, formas e distribuição da armadura já determinados.

A escolha do tipo de seção para cada bueiro foi efetuada com base na vazão de projeto, nas declividades e geotecnia do local, nos limites estabelecidos para as velocidades e altura do escoamento, visando sempre adotar a seção mais econômica, seguindo-se alguns padrões estabelecidos:

- Foram usados bueiros celulares com seções retangulares e quadradas;
- As seções hidráulicas dos bueiros foram dimensionadas utilizando-se a fórmula de Manning;
- Os bueiros possuem estrutura em concreto armado moldado “in loco”;
- Utilizou-se o valor do coeficiente de rugosidade com “n de Manning” igual a 0,015, tendo em visto que as estruturas dos bueiros são em concreto armado com bom acabamento;
- Foi determinada altura mínima de 1,5 m de modo a permitir a travessia de animais.
- A seção mínima adotada caracteriza-se por um canal retangular revestido com concreto, de base 1,0 m de largura, altura 1,5 m;
- A velocidade máxima de dimensionamento foi limitada a 4,00 m/s;
- Em todos os bueiros foram previstos estruturas de dissipação de energia a jusante dos dispositivos, visando à redução das velocidades e a não ocorrência de erosões à jusante da obra.

As seções dos bueiros são definidas conforme a vazão de escoamento, conforme a **Tabela 3.6**.

Tabela 3.4: Seções tipos de Bueiros

Nome Seção	Tipo de bueiro	Seção	Número de Células	Área da Seção (m ²)	Área Total (m ²)
BSCC (1,0 x 1,5 m)	BSCC	1,0 x 1,5 m	1	1.50	1.50
BSCC (1,5 x 1,5 m)	BSCC	1,5 x 1,5 m	1	2.25	2.25
BDCC (1,5 x 1,5 m)	BDCC	1,5 x 1,5 m	2	2.25	4.50
BTCC (1,5 x 1,5 m)	BTCC	1,5 x 1,5 m	3	2.25	6.75
BSCC (2,0 x 2,0 m)	BSCC	2,0 x 2,0 m	1	4.00	4.00
BDCC (2,0 x 2,0 m)	BDCC	2,0 x 2,0 m	2	4.00	8.00
BTCC (2,0 x 2,0 m)	BTCC	2,0 x 2,0 m	3	4.00	12.00
BSCC (2,5 x 2,5 m)	BSCC	2,5 x 2,5 m	1	6.25	6.25
BDCC (2,5 x 2,5 m)	BDCC	2,5 x 2,5 m	2	6.25	12.50
BTCC (2,5 x 2,5 m)	BTCC	2,5 x 2,5 m	3	6.25	18.75
BSCC (3,0 x 3,0 m)	BSCC	3,0 x 3,0 m	1	9.00	9.00
BDCC (3,0 x 3,0 m)	BDCC	3,0 x 3,0 m	2	9.00	18.00
BTCC (3,0 x 3,0 m)	BTCC	3,0 x 3,0 m	3	9.00	27.00

Onde:

- BSCC - Bueiro simples celular de concreto;
- BDCC - Bueiro duplo celular de concreto;
- BTCC - Bueiro triplo celular de concreto.

3.2.3.2 Drenagem Longitudinal

Para o dimensionamento dos drenos foram usadas seções tipos trapezoidais com dimensões definidas pelo DNIT, revestidas com concreto simples, em razão da irregularidade do terreno.

As seções foram determinadas conforme as vazões afluentes de projeto, declividade e geotecnia local e nos limites estabelecidos pelo DNIT para a velocidade e altura da lâmina de escoamento, visando sempre adotar a seção mais econômica seguindo-se alguns padrões estabelecidos:

- Foram adotadas seções trapezoidais, definidas pela sua base menor e a inclinação dos taludes “m”;
- As seções hidráulicas dos drenos foram dimensionadas utilizando-se a fórmula de Manning;
- Utilizou-se o valor elevado do coeficiente de rugosidade para os drenos com “n de Manning” igual a 0,018, admitindo-se que o acabamento da superfície revestida não necessitará ser tão esmerado;
- A seção mínima adotada caracteriza-se por um canal trapezoidal revestido com concreto simples, de base 0,40 m de largura, altura 0,5 m, taludes com inclinação 1:1 e bordo livre de 0,15 m;
- A velocidade máxima de dimensionamento foi limitada a 3 m/s;
- Considerou-se adequada uma espessura do revestimento de 0,07;
- O final dos drenos longitudinais será: numa bacia de captação de um bueiro ou no terreno natural que conduz a um talvegue;
- Em todas as situações foram previstos estruturas de dissipação de energia a jusante dos dispositivos, visando à redução das velocidades e a não ocorrência de erosões à jusante da obra.

Critérios e Parâmetros de Projeto

Para a definição do dimensionamento hidráulico dos drenos e bueiros, bem como a verificação das condições do escoamento, utilizou-se no projeto, a vazão com período de retorno (T_r) de 100 anos.

Para ambos os dispositivos projetados, foram verificadas as condições do escoamento, através do cálculo dos principais parâmetros hidráulicos (vazão,

velocidade, e altura da lâmina d'água) que deverão ocorrer na passagem do pico da cheia crítica.

Para o regime de escoamento buscou-se caracterizar as suas situações críticas de funcionamento. Em situações de declividades baixas, foi admitido o escoamento lento ou subcrítico e em situações de declividades altas, foi admitido o escoamento rápido ou supercrítico.

Para a vazão de projeto (TR=100 anos), as velocidades de escoamento foram limitadas, quando possível a 4,00 m/s, para os bueiros, e 3,00 m/s, para os drenos, atendendo aos critérios estabelecidos pelo DNIT, que admite que a velocidade do escoamento deve estar limitada a 4.5 m/s, este limite superior se deve para evitar a erosão das paredes do dispositivo e assim, aumentar a vida útil da obra e diminuir os gastos com manutenção. Também, sempre que possível, adotou-se um limite inferior para a velocidade de 0.75 m/s para evitar a deposição de materiais em suspensão.

Para manter a erosão dentro de limites aceitáveis, é possível modificar a declividade no conduto para que a velocidade não ultrapasse os valores limites; ou dimensionar o conduto, tubo ou galeria, para resistir os esforços gerados. Neste estudo, optou-se por alterar a declividade ou seções dos dispositivos conforme a necessidade de projeto.

Desta maneira, buscaram-se sempre declividades longitudinais dos bueiros e drenos que não gerem velocidades acima da estabelecida e que apresentem a menor escavação possível. Nos casos em que a topografia se apresentou íngreme foram previstas a montante, bacias de captação ou caixas coletoras, e a jusante, quando imprescindível, estruturas de dissipação ou bacias de restituição, com objetivo de minimizar a influência da declividade do terreno.

Parâmetros de escoamento

Para o dimensionamento hidráulico, os bueiros e drenos funcionam como canais e foi considerado o regime permanente uniforme. Para tanto, é necessário o cálculo da área e do perímetro efetivos do escoamento, chamados de área e perímetro molhado de acordo com a seção hidráulica adotada para os dispositivos.

O escoamento é representado pela equação empírica de Chezy com coeficiente de Manning, relacionando a velocidade média do escoamento com a declividade da seguinte forma:

$$v = \frac{R_h^{2/3} \times I^{1/2}}{n} \quad (\text{Fórmula de Manning})$$

Onde,

n é o coeficiente de rugosidade de Manning;

R_h é o raio hidráulico (m), obtido pela razão entre Área molhada e Perímetro Molhado;

I é a declividade do fundo do canal (m/m).

A equação da continuidade para líquidos incompressíveis determina que:

$$Q = A_m \times v$$

Onde,

Q é a vazão em m^3/s ;

v é a velocidade média na seção do escoamento em m/s ;

A_m é a área da seção de escoamento em m^2 .

Metodologia de cálculo

O dimensionamento dos drenos é realizado como um problema hidráulicamente determinado, no qual são dadas a vazão e a declividade para o cálculo da lâmina de escoamento.

Visando reduzir os custos com escavação, foi definida a declividade nos perfis de terreno de forma que os drenos e elementos de entradas e saídas dos bueiros sejam o mais próximo possível do nível do terreno, escavando a menor quantidade possível de material.

O cálculo da lâmina de escoamento foi realizado por processo iterativo, da seguinte forma: para a declividade determinada, foi calculada a velocidade média pela fórmula de Manning, determinando-se a velocidade de escoamento. Em seguida, calculou-se a vazão através da equação da continuidade e foi alterado o valor da altura da lâmina de água até que o valor da vazão calculada seja igual ao valor da vazão de projeto, respeitando os limites de escoamento.

Quando os valores do tirante de água e da velocidade calculados foram fora dos limites determinados, foi alterada a seção ou declividade utilizada para atender os critérios estabelecidos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

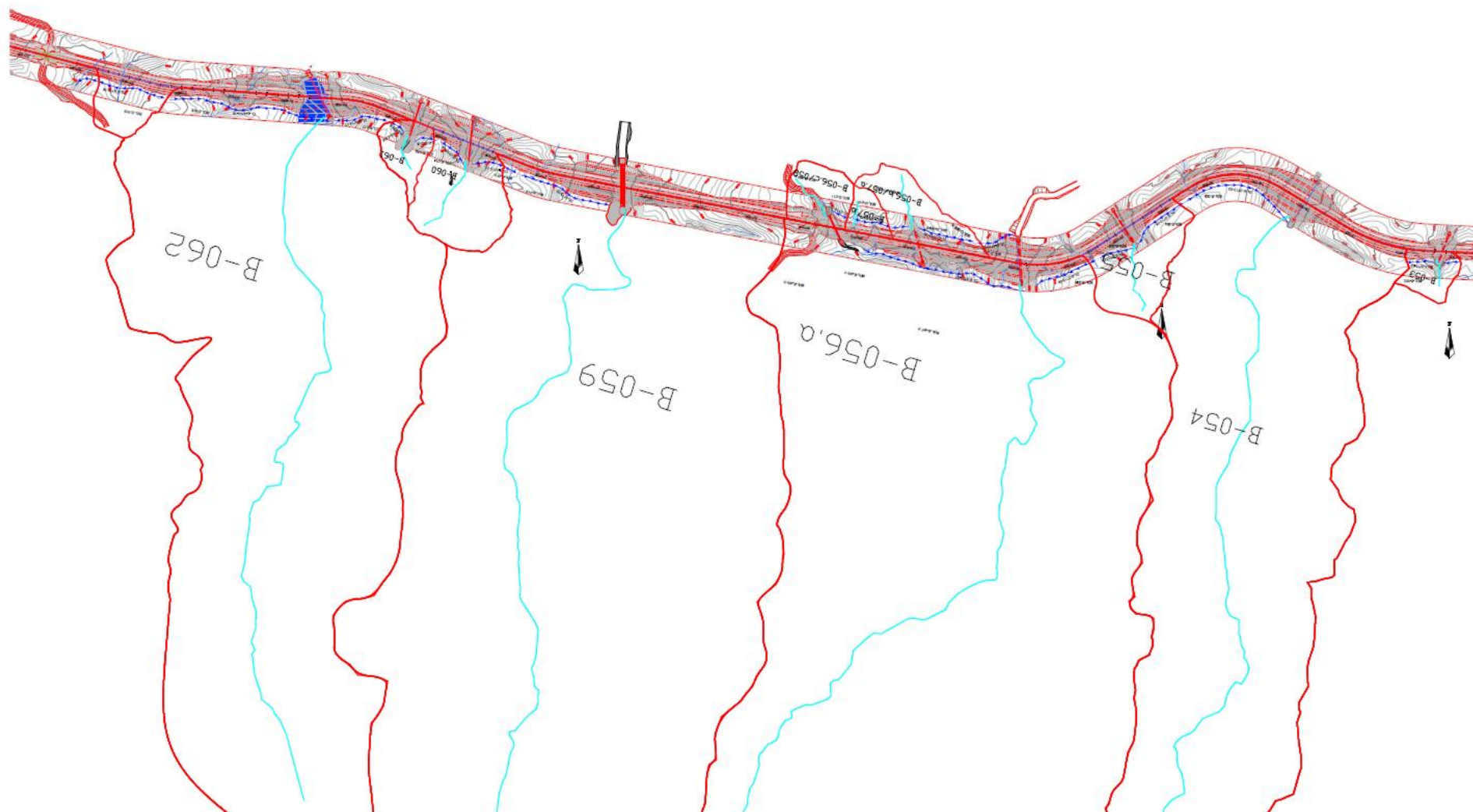
4.1 CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM

A partir da análise da topografia do terreno do segmento 9 do canal foram definidas as bacias e concebidos os elementos de drenagem.

4.1.2 DELIMITAÇÃO DAS BACIAS E LOCAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE DRENAGEM

Com base na hidrografia do segmento foram definidos os limites das bacias hidrográficas que abrangem o canal e foi adotado nomenclatura em conjunto com a disposição dos elementos de drenagem, delimitando-se bacias e sub-bacias de acordo com a caracterização do escoamento superficial. Dessa forma foram utilizados drenos longitudinais para captar e conduzir o escoamento dentro das sub-bacias e bueiros para captar a maior parcela do escoamento, conforme o adequado manejo do sistema de drenagem. A **Figura 4.1** mostra as bacias de drenagem ao longo do segmento 9 do projeto, contendo um bueiro no cruzamento da estrutura do canal. A **Figura 4.2** mostra as subdivisões das bacias, as quais serão intermediadas pelos drenos.

Figura 4.1: Bacias de drenagem do segmento 9



A **Tabela 4.1** apresenta todas as bacias dos bueiros e drenos do seg 9, com suas respectivas áreas de drenagem.

Tabela 4.1: Áreas das Bacias e Sub-bacias de drenagem do Segmento 9

Segmento	Bacia	Estaca	Área da Bacia (ha)	Dispositivo de drenagem
9	B-001	19+326	0,80	Bueiro BU 001
	B-002	19+606	52,27	Bueiro BU-002
	B-003	19+980	2,61	Bueiro BU-003
	B-004	20+192	98,72	Bueiro BU-004
	B-005	20+386	2,31	Bueiro BU-005
	B-006	20+544	1,25	Bueiro BU-006
	B-007	20+948	409,58	Bueiro BU-007
	B-008	21+245	3,10	Bueiro BU-008
	B-009	21+357	0,94	Bueiro BU-009
	B-010	21+540	60,89	Bueiro BU-010
	B-011	22+446	0,26	Bueiro BU-013
	BDL-01	19+300	0,79	Dreno DL-01
	BDL-02	19+350	0,79	Dreno DL-02
	BDL-03	19+700	0,96	Dreno DL-03
	BDL-04	19+900	0,56	Dreno DL-04
	BDL-05	20+000	0,33	Dreno DL-05
	BDL-06	20+100	0,73	Dreno DL-06
	BDL-07	20+600	30,97	Dreno DL-07
	BDL-08	20+250	0,25	Dreno DL-08
	BDL-09	20+300	0,83	Dreno DL-09
	BDL-10	20+500	0,65	Dreno DL-10
	BDL-11	20+550	0,92	Dreno DL-11
	BDL-12	21+000	1,00	Dreno DL-12
	BDL-13	21+200	0,44	Dreno DL-13
	BDL-14	21+280	0,37	Dreno DL-14
	BDL-15	21+320	0,3	Dreno DL-15
	BDL-16	21+360	0,17	Dreno DL-16
	BDL-17	21+450	0,54	Dreno DL-17
	BDL-18	21+700	1,26	Dreno DL-18
	BDL-19	21+900	1,23	Dreno DL-19
	BDL-20	22+180	0,13	Dreno DL-20
	BDL-21	22+200	0,17	Dreno DL-21
	BDL-22	22+280	0,16	Dreno DL-22
	BDL-23	22+300	0,14	Dreno DL-23
	BDL-24	22+400	0,32	Dreno DL-24
	BDL-25	22+450	0,34	Dreno DL-25
	BDL-26	22+400	0,53	Dreno DL-26

4.2 ESTUDO HIDROLÓGICO

4.2.1 AJUSTE DOS DADOS MEDIDOS ÀS DISTRIBUIÇÕES TEÓRICAS DE PROBABILIDADE

O ajuste das séries de máximos anuais às distribuições teóricas de probabilidade foi realizado utilizando-se as características das séries observadas (média e desvio padrão) para o cálculo dos parâmetros das distribuições, os quais são apresentados a seguir:

Parâmetros da Gumbel: $\beta = \frac{\sigma_x}{\sqrt{1.645}}$ $\mu = \mu_x - 0.5772\beta$

Parâmetros da Gamma: $\beta = \frac{\mu_x}{\sigma_x^2}$ $\alpha = \frac{\mu_x^2}{\sigma_x^2}$

Parâmetros da Log Normal: $\sigma = \sqrt{\ln\left(1 + \left(\frac{\sigma_x}{\mu_x}\right)^2\right)}$ $\mu =$
 $0.5 \ln\left(\frac{\sigma_x^2}{\left(1 + \left(\frac{\sigma_x}{\mu_x}\right)^2\right)^2 - \left(1 + \left(\frac{\sigma_x}{\mu_x}\right)^2\right)}\right)$

Os valores dos parâmetros obtidos para cada série observada são apresentados na **Tabela 3.3**.

Tabela 3.2: Parâmetros das distribuições teóricas de probabilidade

Distribuição	Gumbel		Log Normal		Gamma	
Posto	μ	β	μ	σ	α	β
00638007	67.77	16.50	4.31	0.27	13.34	0.17
00638010	65.49	20.63	4.29	0.33	8.56	0.11
00638013	73.94	23.73	4.42	0.34	8.29	0.09

As distribuições de probabilidade ajustadas estão apresentadas, no mesmo intervalo das séries observadas correspondentes, na **Figuras 3.5, Figura 3.6 e Figura 3.7**, respectivamente.

Figura 3.5: Ajuste das distribuições Gumbel, Gamma e Log Normal à série observada do posto pluviométrico de Lavras da Mangabeira (00638007)

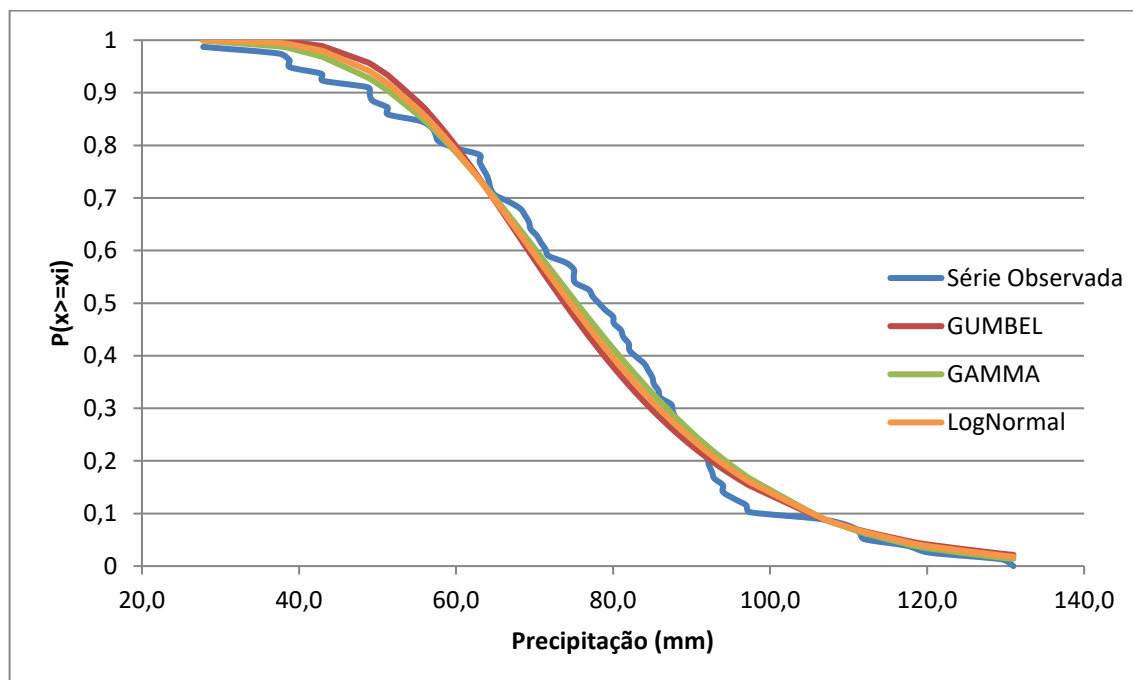


Figura 3.6: Ajuste das distribuições Gumbel, Gamma e Log Normal à série observada do posto pluviométrico de Aurora (00638010)

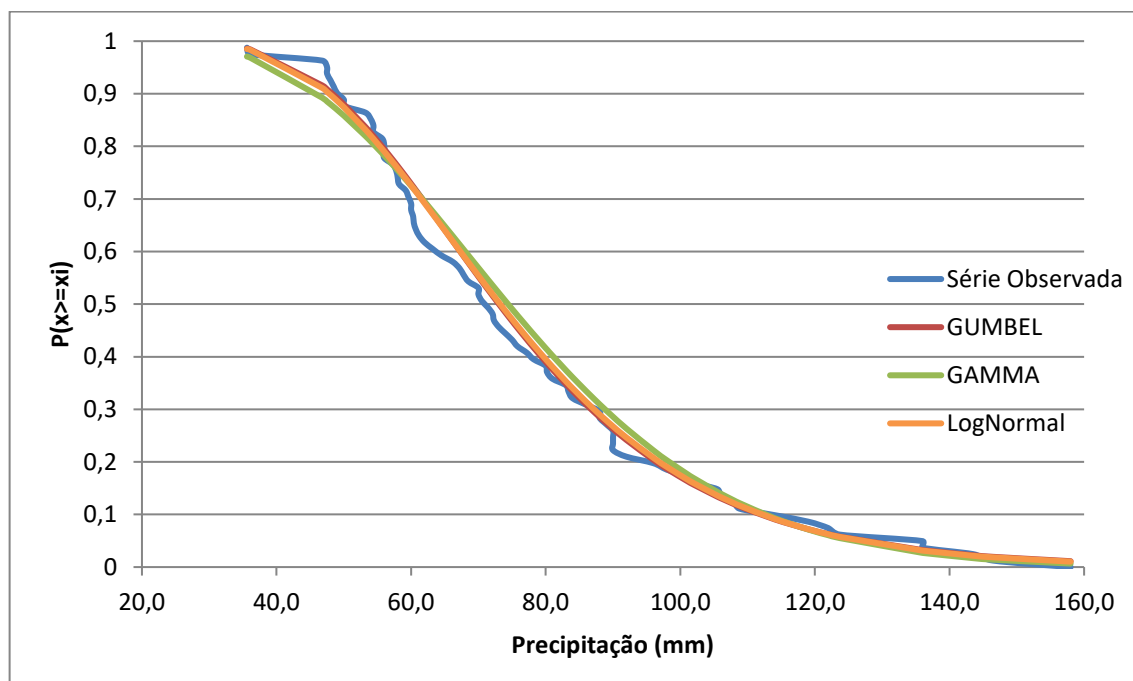
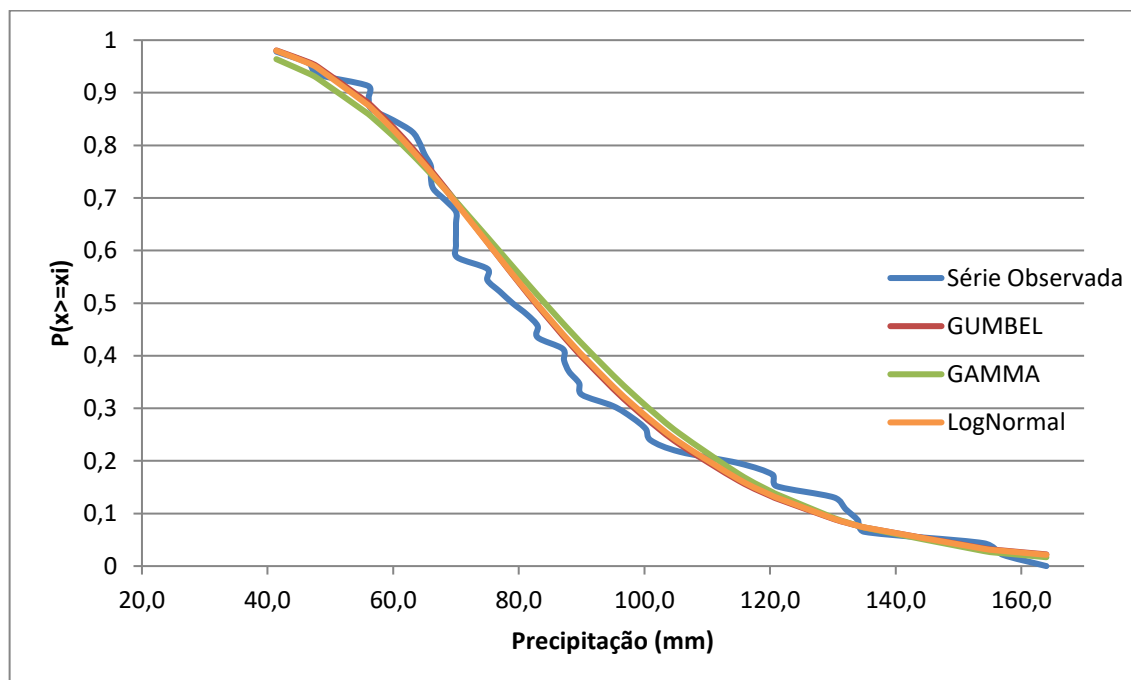


Figura 3.7: Ajuste das distribuições Gumbel, Gamma e Log Normal à série observada do posto pluviométrico de Ipaumirim (00638013)



Observa-se que devido estas distribuições de probabilidade serem próprias para estimativas de valores extremos, as curvas ajustadas melhor se aproximam da série observada nos extremos, enquanto se afasta para valores médios.

4.2.2 TESTE DO QUI-QUADRADO

O valor crítico de X^2 para a validação de H_0 é encontrado por meio da inversa desta equação para uma probabilidade igual ao nível de confiança $(1-\alpha)$ que se deseja obter. Assim, a hipótese nula é aceita se o valor de x^2 encontrado para as funções ajustadas for menor ou igual ao valor crítico obtido. Neste estudo utilizou-se 10 classes de probabilidade e um nível de confiança de 95%, os resultados são apresentados na **Tabela 3.4**.

Tabela 3.3: Resultados do teste Qui-Quadrado para as distribuições de probabilidade ajustadas

Posto		X^2			
Código	Nome	Crítico(95%)	Log Normal	Gumbel	Gamma
00638007	Lavras da Mangabeira	16.9	13.1	11.7	18.2
00638010	Aurora	16.9	12.3	11.5	26.8
00638013	Ipaumirim	16.9	11.8	8.0	7.9

As funções distribuição de probabilidade adotadas no estudo foram aquelas que apresentaram os menores valores, que de acordo com a Tabela 4, estão abaixo do valor limite de Qui-Quadrado, portanto validando a hipótese de que os dados medidos seguem as distribuições consideradas.

4.2.3 PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS PARA DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO

O cálculo das chuvas máximas diárias para diferentes períodos de retorno foi realizado utilizando-se a inversa da distribuição de probabilidade de melhor ajuste para cada posto pluviométrico. Foram calculadas as chuvas para períodos de retorno de 10, 25, 50 e 100 anos, sendo os resultados apresentados na **Tabela 4.2**.

Tabela 4.4: Precipitações máximas diárias para diferentes períodos de retorno

Posto Pluviométrico		Distribuição Ajustada	Precipitação			
Código	Nome		10 anos	25 anos	50 anos	100 anos
00638007	Lavras da Mangabeira	Gumbel	104.9	120.6	132.2	143.7
00638010	Aurora	Gumbel	111.9	131.5	146.0	160.4
00638013	Ipaumirim	Gamma	128.2	147.4	160.8	173.5

Observa-se que os valores obtidos para os três postos são semelhantes, com diferenças entre os valores máximos (posto de Ipaumirim) e mínimos (posto de Lavras da Mangabeira) da ordem de 20%.

4.2.4 CHUVAS INTENSAS COM DIFERENTES DURAÇÕES

Conhecendo-se as chuvas máximas diárias (**Tabela 4.2**) e os coeficientes de desagregação, foram estimadas as chuvas máximas com durações de 6 minutos, 1 hora e 24 horas, as quais estão apresentadas na **Tabela 4.3**. Para se obter as chuvas máximas com durações intermediárias, interpola-se os valores do Quadro 7 em relação ao logaritmo da duração.

Tabela 4.5: Precipitações máximas para diferentes períodos de retorno e durações de 6 minutos, 1 hora e 24 horas

Posto Pluviométrico		Precipitação(mm)											
		TR=10 ANOS			TR=25 anos			TR=50 anos			TR=100 ANOS		
Código	Nome	6 min	1 h	24 h	6 min	1 h	24 h	6 min	1 h	24 h	6 min	1 h	24 h
00638007	Lavras da Mangabeira	17.7	54.4	114.9	20.3	61.8	132.0	22.3	67.1	144.7	21.6	72.2	157.3
00638010	Aurora	18.9	58.1	122.5	22.2	67.4	144.0	24.6	74.2	159.9	24.1	80.6	175.6
00638013	Ipaumirim	21.6	66.5	140.4	24.9	75.6	161.4	27.1	81.7	176.1	26.0	87.2	189.9

Além de situar-se muito próximo ao Trecho III (**Figura 3.4**), o posto de Lavras da Mangabeira apresenta uma extensa série de dados (78 anos), o que reduz o nível de incertezas no ajuste estatístico dos dados. Ademais, esse posto apresentou valores de chuvas máximas muito próximas aos outros postos situados no mesmo município e próximo da estação adotada, o que indica consistência dos valores. Portanto, o posto de Lavras da Mangabeira (código 00638007) foi adotado como

representativo de todas as bacias hidrográficas interceptadas pelo Trecho III dos PISF.

Com base nas bacias definidas e na caracterização hidrológica obtiveram-se os seguintes valores de precipitação para os bueiros e drenos, apresentados na **Tabela 4.4.**

Tabela 4.6: Dados de precipitação de bueiros e drenos

Segmento	Bacia	Área da Bacia (ha)	Dispositivo de drenagem	Tc (min)	P (mm) Tr =100
9	B-001	0,80	Bueiro BU 001	10,00	32,80
	B-002	52,27	Bueiro BU-002	18,40	46,25
	B-003	2,61	Bueiro BU-003	10,00	32,80
	B-004	98,72	Bueiro BU-004	28,10	55,50
	B-005	2,31	Bueiro BU-005	10,00	32,80
	B-006	1,25	Bueiro BU-006	10,00	32,80
	B-007	409,58	Bueiro BU-007	93,20	84,00
	B-008	3,10	Bueiro BU-008	10,00	32,80
	B-009	0,94	Bueiro BU-009	10,00	32,80
	B-010	60,89	Bueiro BU-010	24,50	52,48
	B-011	0,26	Bueiro BU-013	10,00	32,80
	BDL-01	0,79	Dreno DL-01	6,00	21,60
	BDL-02	0,79	Dreno DL-02	6,00	21,60
	BDL-03	0,96	Dreno DL-03	6,00	21,60
	BDL-04	0,56	Dreno DL-04	6,00	21,60
	BDL-05	0,33	Dreno DL-05	6,00	21,60
	BDL-06	0,73	Dreno DL-06	6,00	21,60
	BDL-07	30,97	Dreno DL-07	6,00	21,60
	BDL-08	0,25	Dreno DL-08	6,00	21,60
	BDL-09	0,83	Dreno DL-09	6,00	21,60
	BDL-10	0,65	Dreno DL-10	6,00	21,60
	BDL-11	0,92	Dreno DL-11	6,00	21,60
	BDL-12	1,00	Dreno DL-12	6,00	21,60
	BDL-13	0,44	Dreno DL-13	6,00	21,60
	BDL-14	0,37	Dreno DL-14	6,00	21,60
	BDL-15	0,3	Dreno DL-15	6,00	21,60
	BDL-16	0,17	Dreno DL-16	6,00	21,60
	BDL-17	0,54	Dreno DL-17	6,00	21,60
	BDL-18	1,26	Dreno DL-18	6,00	21,60
	BDL-19	1,23	Dreno DL-19	6,00	21,60
	BDL-20	0,13	Dreno DL-20	6,00	21,60
	BDL-21	0,17	Dreno DL-21	6,00	21,60
	BDL-22	0,16	Dreno DL-22	6,00	21,60
	BDL-23	0,14	Dreno DL-23	6,00	21,60
	BDL-24	0,32	Dreno DL-24	6,00	21,60
	BDL-25	0,34	Dreno DL-25	6,00	21,60
	BDL-26	0,53	Dreno DL-26	6,00	21,60

4.3 ESTUDO FLUVIOMÉTRICO

Para o dimensionamento dos bueiros e drenos foi utilizado o método racional para o cálculo da vazão de projeto, com exceção do bueiro 059, no qual foi utilizado o método do hidrograma unitário, uma vez que a bacia deste bueiro possui área superior a 3,5 km².

4.3.1 VAZÕES DE PROJETO DAS BACIAS INTERCEPTADAS PELO TRECHO III DO PISF

A partir das metodologias descritas nas seções anteriores, foram calculadas as cheias de projeto para os diferentes períodos de retorno para as bacias hidrográficas interceptadas pelo Trecho III do PISF. Os resultados são apresentados no Quadro seguinte.

No cálculo das vazões dos bueiros já foi considerada a vazão contribuinte de dos drenos nos respectivos bueiros em que os mesmos são finalizados.

A **Tabela 4.5** mostra as áreas e vazões dos bueiros e drenos do segmento 9 do projeto.

Tabela 4.7: Vazões de Projeto dos bueiros e drenos do segmento 9 do projeto

Segmento	Bacia	Estaca	Área da Bacia	Dispositivo de drenagem	Tc (min)	P (mm) Tr=100	Vazão (m³/s)
9	B-001	19+326	0,80	Bueiro BU 001	10,00	32,80	0,17
	B-002	19+606	52,27	Bueiro BU-002	18,40	46,25	8,53
	B-003	19+980	2,61	Bueiro BU-003	10,00	32,80	0,56
	B-004	20+192	98,72	Bueiro BU-004	28,10	55,50	12,69
	B-005	20+386	2,31	Bueiro BU-005	10,00	32,80	0,49
	B-006	20+544	1,25	Bueiro BU-006	10,00	32,80	0,27
	B-007	20+948	409,58	Bueiro BU-007	93,20	84,00	29,79
	B-008	21+245	3,10	Bueiro BU-008	10,00	32,80	0,66
	B-009	21+357	0,94	Bueiro BU-009	10,00	32,80	0,20
	B-010	21+540	60,89	Bueiro BU-010	24,50	52,48	8,50
	B-011	22+446	0,26	Bueiro BU-013	10,00	32,80	0,22
	BDL-01	19+300	0,79	Dreno DL-01	6,00	21,60	0,18
	BDL-02	19+350	0,79	Dreno DL-02	6,00	21,60	0,18
	BDL-03	19+700	0,96	Dreno DL-03	6,00	21,60	0,22
	BDL-04	19+900	0,56	Dreno DL-04	6,00	21,60	0,13
	BDL-05	20+000	0,33	Dreno DL-05	6,00	21,60	0,08
	BDL-06	20+100	0,73	Dreno DL-06	6,00	21,60	0,17
	BDL-07.a	20+600	0,92	Dreno DL-07	6,00	21,60	0,21
	BDL-07.b	20+550	2,83		6,00	21,60	0,66
	BDL-07.c	20+450	4,8		6,00	21,60	1,12
	BDL-07.d	20+300	20,17		9,20	31,00	4,41
	BDL-07.e	20+400	2,25		6,00	21,60	0,53
	BDL-08	20+250	0,25	Dreno DL-08	6,00	21,60	0,06
	BDL-09.a	20+300	0,25	Dreno DL-09	6,00	21,60	0,06
	BDL-09.b	20+350	0,58		6,00	21,60	0,14
	BDL-10	20+500	0,65	Dreno DL-10	6,00	21,60	0,15
	BDL-11	20+550	0,92	Dreno DL-11	6,00	21,60	0,21
	BDL-12	21+000	1,00	Dreno DL-12	6,00	21,60	0,23
	BDL-13	21+200	0,44	Dreno DL-13	6,00	21,60	0,10
	BDL-14	21+280	0,37	Dreno DL-14	6,00	21,60	0,09
	BDL-15	21+320	0,3	Dreno DL-15	6,00	21,60	0,07
	BDL-16	21+360	0,17	Dreno DL-16	6,00	21,60	0,04
	BDL-17	21+450	0,54	Dreno DL-17	6,00	21,60	0,13
	BDL-18	21+700	1,26	Dreno DL-18	6,00	21,60	0,29
	BDL-19	21+900	1,23	Dreno DL-19	6,00	21,60	0,29
	BDL-20	22+180	0,13	Dreno DL-20	6,00	21,60	0,03
	BDL-21	22+200	0,17	Dreno DL-21	6,00	21,60	0,04
	BDL-22	22+280	0,16	Dreno DL-22	6,00	21,60	0,04
	BDL-23	22+300	0,14	Dreno DL-23	6,00	21,60	0,03
	BDL-24	22+400	0,32	Dreno DL-24	6,00	21,60	0,07
	BDL-25	22+450	0,34	Dreno DL-25	6,00	21,60	0,08
	BDL-26	22+400	0,53	Dreno DL-26	6,00	21,60	0,12

As vazões foram calculadas para o tempo de recorrência de 100 anos, conforme previsto adotada na metodologia. Nota-se que a vazão total dos drenos 07 e 09 não corresponde à soma de cada sub-bacia, mas sim a vazão correspondente à área total de todas as sub-bacias que formam, o que representa a distribuição temporal e espacial da precipitação em toda a área da bacia hidrográfica.

4.4 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

Para o dimensionamento foram usadas as vazões de projeto determinadas no estudo fluviométrico.

O dimensionamento foi realizado de acordo com as características da topografia em que os dispositivos foram assentados, levando-se em consideração critérios técnicos e econômicos para a escolha da seção hidráulica e atendimento aos critérios adotados pelo DNIT.

De posse das vazões, um fator fundamental para o cálculo foi a inclinação de assentamento do elemento de drenagem. A declividade define a profundidade de escavação de assentamento, ao mesmo tempo em que determina a velocidade de escoamento em função da vazão de projeto. A **Figura 4.3** mostra a locação e a **Figura 4.4** mostra o corte longitudinal, indicando a declividade adotada para o bueiro 059 do projeto.

Figura 4.3: Locação do Bueiro 059 - planta baixa

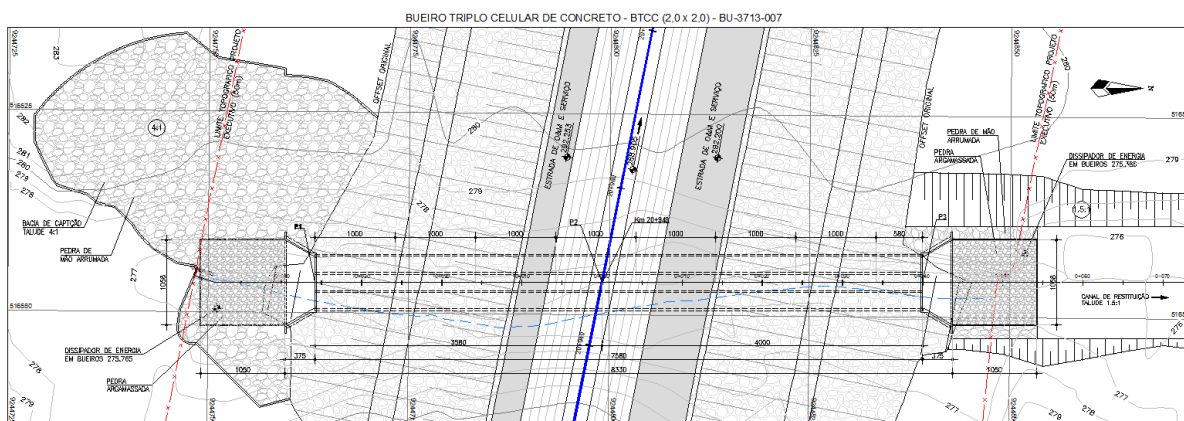
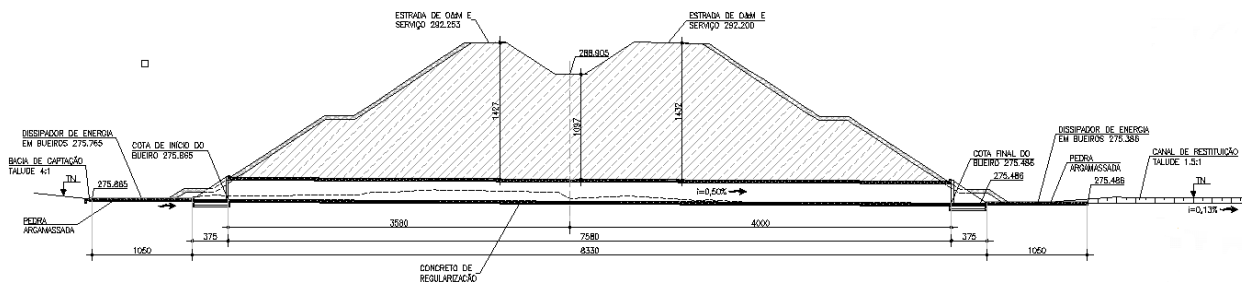


Figura 4.4: Localização do Bueiro 059 – Corte Longitudinal



Por ser um processo iterativo, foi definida a seção de cada dreno e bueiro, com as respectivas declividades e procedeu-se com o dimensionamento e verificação das condições de escoamento.

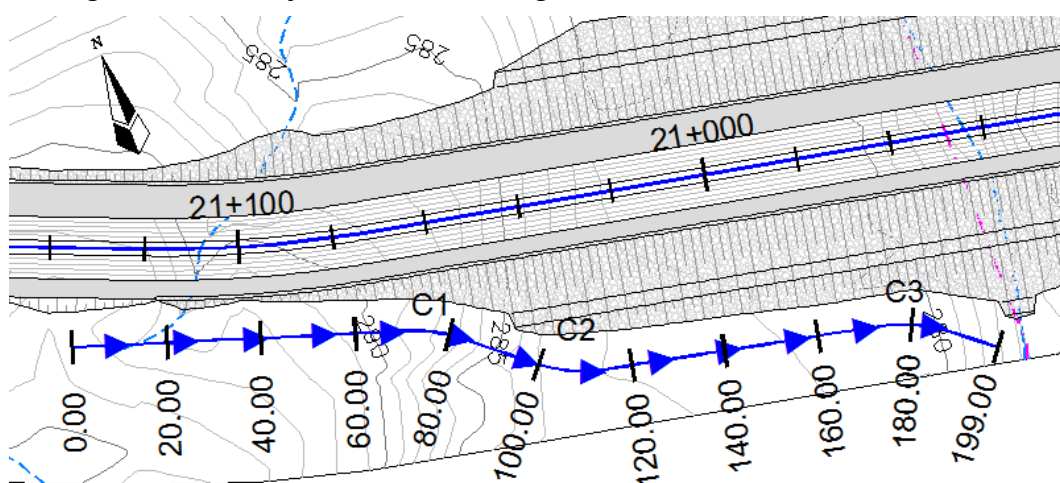
A **Tabela 4.6** em anexo mostra a vazão de projeto, declividade e seção geométrica de cada bueiro.

Tabela 4.8: Características dos bueiros do segmento 9

SEGMENTO	BUEIRO	ESTACA	Seção Bueiro	Vazão de Projeto (m³/s)	Vazão por Célula (m³/s)	Declividade Adotada (%)
9	B-001	19+326	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,17	0,171	5,00
	B-002	19+606	BSCC (2,0 x 2,0 m)	8,53	8,530	0,80
	B-003	19+980	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,56	0,557	2,50
	B-004	20+192	BTCC (1,5 x 1,5 m)	12,69	4,229	0,5%
	B-005	20+386	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,49	0,493	0,5%
	B-006	20+544	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,27	0,267	0,5%
	B-007	20+948	BTCC (3,0 x 3,0 m)	29,79	9,929	0,5%
	B-008	21+245	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,66	0,661	0,5%
	B-009	21+357	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,20	0,201	0,5%
	B-010	21+540	BSCC (1,0 x 1,5 m)	8,50	8,495	0,5%
	B-011	22+446	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,22	0,218	0,5%

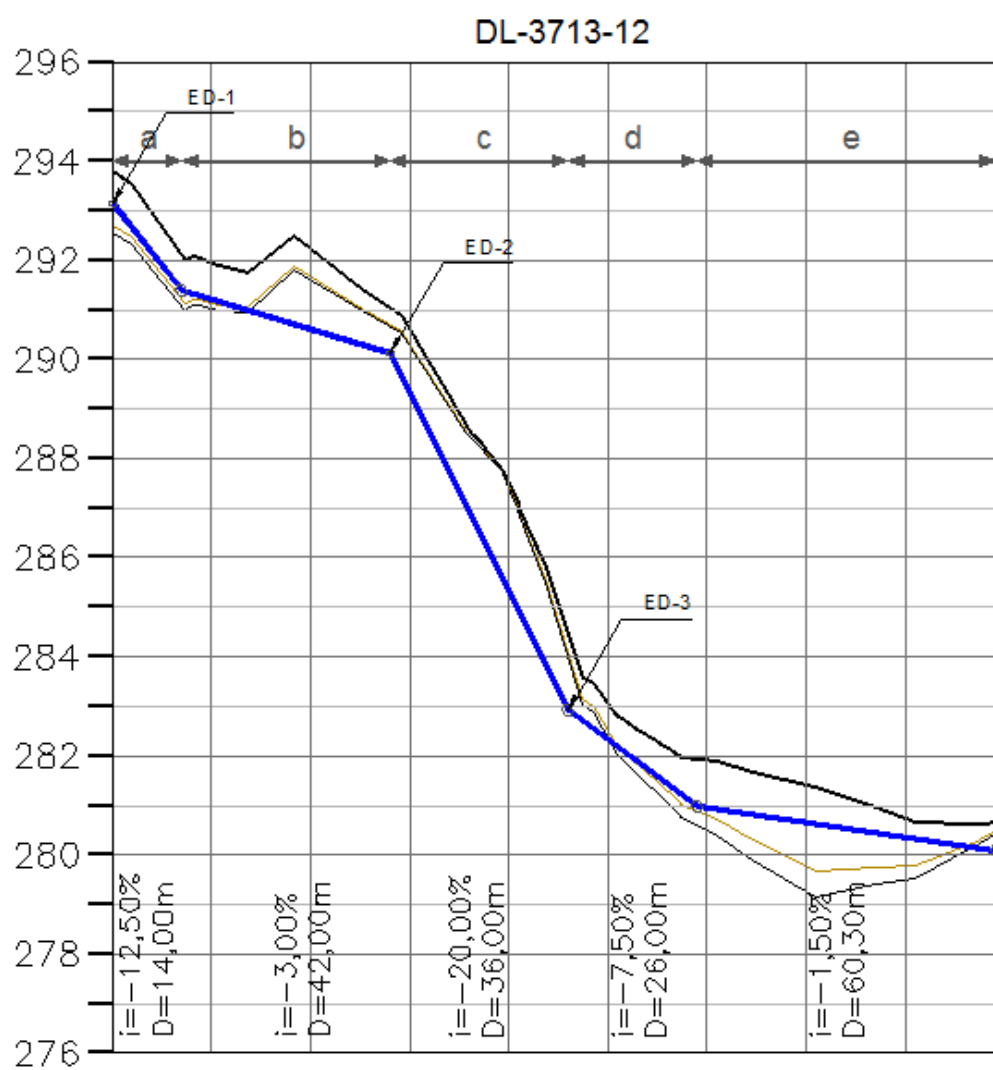
Os drenos foram divididos em sub-trechos, caracterizados de acordo com a mudança de declividade de assentamento, quando necessário. A **Figura 4.5** mostra a localização em planta e perfil do dreno 012 e a **Figura 4.6** mostra o perfil longitudinal do mesmo dreno.

Figura 4.5: Localização do Dreno Longitudinal DL-3713-12 - Planta Baixa



DL-3713-12

Figura 4.6: Perfil longitudinal do Dreno DL-3713-12



A **Tabela 4.7** mostra as características de vazão, seção e declividade de cada dreno usado no projeto.

Tabela 4.9: Dados de projeto dos drenos longitudinais do segmento 9

Dreno	Margem	Sub-Trecho	Q (m³/s)	Seção Tipo (mxm)	Obra	Início			Fim			Extensão (m)	Decl. (%)
DL-3713-01	E	a	0,180	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	0,00	0,00	+	14,00	14,00	9,50
		b	0,180	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	14,00	0,00	+	28,30	14,30	7,00
DL-3713-02	E	a	0,180	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	20,00	20,00	3,50
		b	0,180	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	20,00	0,00	+	39,00	19,00	12,00
		c	0,180	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	39,00	0,00	+	52,00	13,00	6,50
DL-3713-03	E	a	0,220	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	24,00	24,00	6,00
		b	0,220	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	24,00	0,00	+	104,00	80,00	0,50
		c	0,220	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	104,00	0,00	+	147,00	43,00	12,00
		d	0,220	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-2	0,00	+	147,00	0,00	+	189,00	42,00	17,00
		e	0,220	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	189,00	0,00	+	215,00	26,00	3,50
DL-3713-04	E	a	0,130	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	40,00	40,00	1,50
		b	0,130	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	40,00	0,00	+	73,00	33,00	4,00
		c	0,130	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	73,00	0,00	+	103,00	30,00	25,00
		d	0,130	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	103,00	0,00	+	114,00	11,00	5,50
DL-3713-05	E	a	0,080	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	20,00	20,00	10,00
		b	0,080	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	20,00	0,00	+	29,00	9,00	12,50
		c	0,080	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	29,00	0,00	+	38,00	9,00	22,00
		d	0,080	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-2	0,00	+	38,00	0,00	+	43,00	5,00	33,00
		e	0,080	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-3	0,00	+	43,00	0,00	+	50,00	7,00	30,00
		f	0,080	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	50,00	0,00	+	57,70	7,70	9,50
DL-3713-06	E	a	0,170	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	50,00	50,00	0,50
		b	0,170	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	50,00	0,00	+	68,00	18,00	5,50
		c	0,170	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	68,00	0,00	+	87,00	19,00	2,00
		d	0,170	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	87,00	0,00	+	119,20	32,20	8,50
DL-3713-07	E	a	1,120	ST2 (0,60 x 0,60)	ED-1	0,00	+	0,00	0,00	+	13,00	13,00	17,00
		b	1,120	ST2 (0,60 x 0,60)	-	0,00	+	13,00	0,00	+	73,00	60,00	1,50
		c	1,120	ST2 (0,60 x 0,60)	ED-2	0,00	+	73,00	0,00	+	110,00	37,00	7,50
		d	4,410	ST4 (1,50 x 1,00)	-	0,00	+	110,00	0,00	+	139,00	29,00	0,50
		e	4,410	ST4 (1,50 x 1,00)	ED-3	0,00	+	139,00	0,00	+	186,00	47,00	3,00
		f	4,410	ST4 (1,50 x 1,00)	-	0,00	+	186,00	0,00	+	299,00	113,00	0,25
DL-3713-08	D	a	0,060	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	15,00	15,00	6,00
		b	0,060	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	15,00	0,00	+	25,00	10,00	32,50
		c	0,060	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-2	0,00	+	25,00	0,00	+	33,00	8,00	26,50
		d	0,060	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	33,00	0,00	+	42,00	9,00	16,50
		e	0,060	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-3	0,00	+	42,00	0,00	+	53,00	11,00	40,00
		f	0,060	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	53,00	0,00	+	64,00	11,00	16,50
DL-3713-09	D	a	0,140	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	22,00	22,00	5,00
		b	0,140	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	22,00	0,00	+	89,30	67,30	0,25
DL-3713-10	E	a	0,150	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	0,00	0,00	+	9,00	9,00	14,00
		b	0,150	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	9,00	0,00	+	27,00	18,00	1,50
		c	0,150	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	27,00	0,00	+	45,00	18,00	7,50
		d	0,150	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	45,00	0,00	+	84,00	39,00	0,50
		e	0,150	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-2	0,00	+	84,00	0,00	+	107,00	23,00	12,50

Dreno	Margem	Sub-Trecho	Q (m³/s)	Seção Tipo (mxm)	Obra	Início			Fim			Extensão (m)	Decl. (%)
DL-3713-11	D	a	0,210	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	0,00	0,00	+	16,00	16,00	10,00
		b	0,210	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-2	0,00	+	16,00	0,00	+	32,00	16,00	12,00
DL-3713-12	E	a	0,230	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	0,00	0,00	+	14,00	14,00	12,50
		b	0,230	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	14,00	0,00	+	56,00	42,00	3,00
		c	0,230	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-2	0,00	+	56,00	0,00	+	92,00	36,00	20,00
		d	0,230	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-3	0,00	+	92,00	0,00	+	118,00	26,00	7,50
		e	0,230	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	118,00	0,00	+	178,30	60,30	1,50
DL-3713-13	E	a	0,100	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	9,00	9,00	12,50
		b	0,100	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	9,00	0,00	+	39,00	30,00	1,50
		c	0,100	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	39,00	0,00	+	63,00	24,00	17,00
		d	0,100	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-2	0,00	+	63,00	0,00	+	79,00	16,00	23,50
DL-3713-14	E	a	0,090	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	35,00	35,00	14,00
		b	0,090	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	35,00	0,00	+	48,00	13,00	22,00
		c	0,090	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	48,00	0,00	+	58,00	10,00	7,00
DL-3713-15	E	a	0,070	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	26,00	26,00	12,00
		b	0,070	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	26,00	0,00	+	42,00	16,00	4,50
DL-3713-16	E	a	0,040	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	16,00	16,00	6,00
		b	0,040	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	16,00	0,00	+	25,00	9,00	43,50
		c	0,040	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	25,00	0,00	+	31,00	6,00	5,00
DL-3713-17	E	a	0,090	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	15,00	15,00	3,50
		b	0,090	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	15,00	0,00	+	24,00	9,00	20,00
		c	0,090	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-2	0,00	+	24,00	0,00	+	53,00	29,00	19,00
		d	0,090	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	53,00	0,00	+	89,00	36,00	11,00
DL-3713-18	E	a	0,290	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	41,00	41,00	5,50
		b	0,290	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	41,00	0,00	+	99,00	58,00	11,00
		c	0,290	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-2	0,00	+	99,00	0,00	+	112,00	13,00	23,00
		d	0,290	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	112,00	0,00	+	228,00	116,00	0,25
		e	0,290	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-3	0,00	+	228,00	0,00	+	244,00	16,00	16,50
		f	0,290	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	244,00	0,00	+	294,00	50,00	4,50
DL-3713-19	E	a	0,290	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	22,00	22,00	2,50
		b	0,290	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	22,00	0,00	+	36,00	14,00	7,00
		c	0,290	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-2	0,00	+	36,00	0,00	+	87,00	51,00	12,50
		d	0,290	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	87,00	0,00	+	176,50	89,50	0,25
DL-3713-20	D	a	0,030	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	44,00	44,00	1,00
		b	0,030	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	44,00	0,00	+	55,00	11,00	10,00
DL-3713-21	D	a	0,040	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	11,00	11,00	8,00
		b	0,040	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	11,00	0,00	+	22,00	11,00	15,50
DL-3713-22	D	a	0,040	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	10,00	10,00	39,00
		b	0,040	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	10,00	0,00	+	25,00	15,00	18,00
DL-3713-23	D	a	0,030	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	8,00	8,00	2,50
		b	0,030	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	8,00	0,00	+	16,00	8,00	16,50
DL-3713-24	D	a	0,070	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	18,00	18,00	8,00
		b	0,070	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	18,00	0,00	+	62,00	44,00	11,50
		c	0,070	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	62,00	0,00	+	84,00	22,00	2,50
DL-3713-25	D	a	0,080	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	0,00	0,00	+	6,00	6,00	12,50
		b	0,080	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	6,00	0,00	+	37,00	31,00	11,50
DL-3713-26	E	a	0,120	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-1	0,00	+	0,00	0,00	+	26,00	26,00	26,50
		b	0,120	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	26,00	0,00	+	60,00	34,00	11,50
		c	0,120	ST1 (0,40 x 0,50)	ED-2	0,00	+	60,00	0,00	+	93,00	33,00	14,50
		d	0,120	ST1 (0,40 x 0,50)	-	0,00	+	93,00	0,00	+	116,80	23,80	0,50

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo preza pela importância da análise das variáveis de implantação do sistema de drenagem, mostrando as etapas que precedem o dimensionamento propriamente dito dos dispositivos de drenagem, através do estudo de máximas precipitações e pico de vazões provocadas por estas.

Os estudos hidrológicos permitiram a abordagem de engenharia na determinação dos riscos oferecidos ao projeto, analisando-se a importância da definição do tempo de retorno determinado para esse tipo de obra de infraestrutura. Para os tempos avaliados, variando de 10 a 100 anos de recorrência, constatou-se a variação na intensidade da precipitação e vazão de projeto adotada na concepção do sistema de drenagem.

Na determinação da vazão de projeto foi utilizado as recomendações da literatura para projetos de dimensionamento de obras de drenagem, adotando o método dos blocos alternados para compor o hietograma de projeto. Ainda que não ser garantido por normas, é o modelo mais usado para distribuição da chuva no tempo e formação do escoamento superficial.

Nesse método, admite-se maior intensidade da precipitação de projeto nos períodos intermediários da duração do evento. Contudo, outros métodos permitam a distribuição temporal da precipitação durante as fases iniciais ou final de duração de um evento chuvoso, interferindo diretamente na determinação da vazão de projeto e, conseqüentemente, na determinação dos elementos componentes do sistema de drenagem.

Uma outra abordagem que não é feita nos estudos de drenagem corresponde na ausência da análise climatológica, uma vez que são analisadas as séries históricas de precipitações sem considerar as mudanças climáticas que possam vir a ocorrer na região de estudo, interferindo diretamente na concepção do projeto.

No projeto de drenagem adotado, foi possível efetuar o dimensionamento do sistema de drenagem a ser implantado, conforme objetivos previstos, garantindo o remanejo da drenagem natural, dentro dos riscos adotados de projeto, no âmbito do Projeto da Integração do Rio São Francisco.

6 REFERÊNCIAS

- Araújo Neto, J.R., Palácio, H.A.Q., Andrade, E.M., Santos, J.C.N., Pinheiro, E.A.R. (2012) Otimização do número de curva (CN-SCS) para diferentes manejos na região semiárida, Ceará, Brasil. Irriga, Botucatu, Edição Especial, 264-279.
- AZEVEDO NETTO, J. M., *et al.* - "Manual de Hidráulica", Ed. Edgard Blucher Ltda, 8ª Edição, São Paulo, 1998.
- Bureau of Reclamation (USBR), Brasil. Manual de Irrigação, vol. 7, Elaboração de Projetos de Irrigação. Ministério da Integração Nacional, 2002.
- CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R.; MAYS, Larry W. Applied hydrology. New York: McGraw-Hill, c1988. 572 p
- DNIT. Publicação IPR – 736, Álbum de Projetos-tipo de Dispositivos de Drenagem. Ministério dos Transportes, 4ª edição, 2013.
- ELTZ, F. L.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. Período de retorno de chuvas em Santa Maria, RS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 16, p. 265-269, 1992.
- FUNCATE. Projeto de Transposição do São Francisco para o Nordeste Setentrional - Projeto Básico – Trecho III – Eixo Norte – R5 – Sistema de Drenagem. Ministério da Integração Nacional, 2003.
- GENOVEZ, A. M., ZUFFO, A. C.. CHUVAS INTENSAS NO ESTADO DE SÃO PAULO: ESTUDOS EXISTENTES E ANÁLISE COMPARATIVA. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Vol 5, n.3. p. 45-58 . Jul./Set. 2000
- Mello, C. R.; Ferreira, D. F.; Silva, A. M.; Lima, J. M. Análise de modelos matemáticos aplicados ao estudo de chuvas intensas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.693-698, 2001.
- NUNES, F. G.; FIORI, A. P.. A utilização do método de Vem Tem Chow – Soil Conservation Service (SCS) na estimativa da vazão máxima da bacia hidrográfica do Rio Atuba. Revista eletrônica Geografar, V. 2, N. 2, p. 139-155. Curitiba, 2007.
- PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da; TEIXEIRA, A. de F.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, J. M. A. da; GRIEBELER, N. P. Hidros: dimensionamento de sistemas hidroagrícolas. Viçosa, MG: Editora UFV, 2006. 259 p.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005.

SOBRINHO, V. F. Aplicação do Método das Isozonas na Obtenção das Equações IDF de Chuvas Intensas dos Municípios de Juazeiro do Norte, Barbalha e Crato – CE. Fortaleza, 2011. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará (UFC).

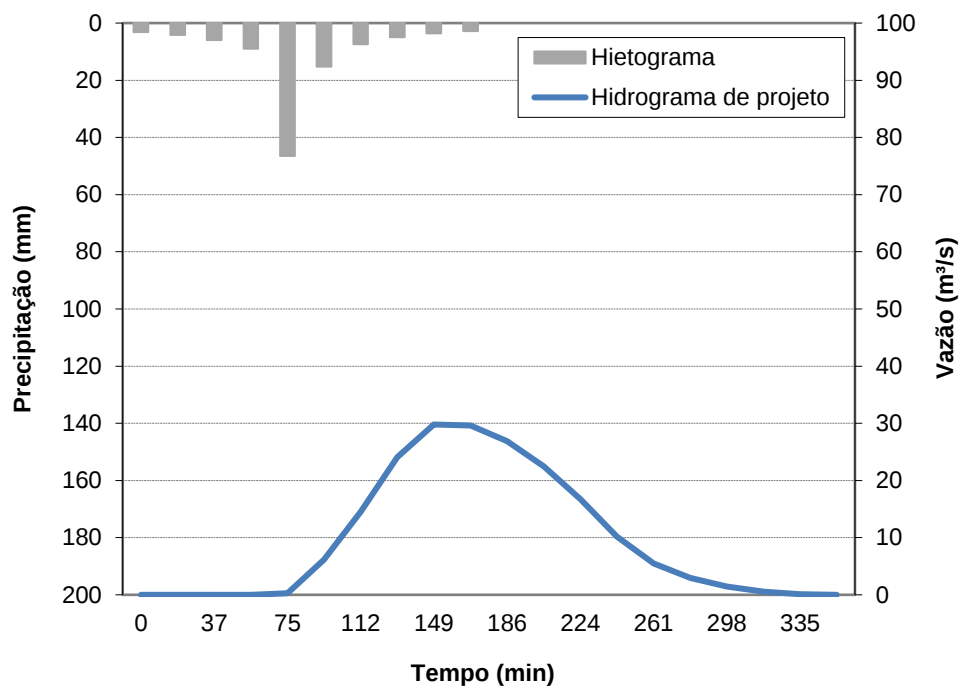
SOUZA, M. J. H.; RIBEIRO, A.; LEITE, F. P. Balanço hídrico e caracterização climáticas de Guanhães, Nova Era e Rio Doce. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., 2003, Santa Maria. Anais... Santa Maria: UNIFRA, SBA, UFSM, 2003. p.99-100.

TORRICO, J. J. T. Práticas hidrológicas. Rio de Janeiro, TRANSCON, 1974.

TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 2004. 943 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4).

TUNDISI, J. G. Água no século XXI: enfrentando a escassez. São Carlos: Rima, 2003. 156p.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245 p.



VAZÃO DE PROJETO DEMAIS BUEIROS DO SEGMENTO 9 - MÉTODO RACIONAL

Bacia	Área (ha)	Compr. talvegue (m)	Cota (m)		Declividade	Tc (min)	Precipitação (mm)				Vazão (m³/s)			
			Máxima	Mínima			Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100
B-001	0,8	53	297,0	288,0	17%	10,0	25,8	29,5	32,2	32,8	0,10	0,12	0,15	0,17
B-002	52,27	1736	380,0	276,0	6%	18,4	35,6	40,5	44,2	46,3	4,72	5,94	7,31	8,53
B-003	2,61	142	297,0	280,2	12%	10,0	25,8	29,5	32,2	32,8	0,32	0,40	0,49	0,56
B-004	98,72	1574	345,0	277,0	4%	28,1	42,3	48,1	52,4	55,5	6,95	8,74	10,74	12,69
B-005	2,31	100	299,0	288,0	11%	10,0	25,8	29,5	32,2	32,8	0,28	0,35	0,43	0,49
B-006	1,25	48	299,0	291,0	17%	10,0	25,8	29,5	32,2	32,8	0,15	0,19	0,24	0,27
B-007	3,1	158	301,0	279,0	14%	10,0	25,8	29,5	32,2	32,8	0,37	0,47	0,58	0,66
B-008	0,94	71	296,0	282,0	20%	10,0	25,8	29,5	32,2	32,8	0,11	0,14	0,18	0,20
B-009	60,89	1467	315,0	278,0	3%	24,5	40,1	45,6	49,7	52,5	4,66	5,87	7,22	8,50
B-013	0,26	85	295,0	289,0	7%	10,0	25,8	29,5	32,2	32,8	0,12	0,16	0,19	0,22

Bacia	Área (ha)	Compr. talvegue (m)	Cota (m)		Declivida de	Tc (min)	Precipitação (mm)				Vazão (m³/s)			
			Máxima	Mínima			Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100	Tr=10	Tr=25	Tr=50	Tr=100
BDL-E-001	0,79	50	297,0	291,0	12%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,11	0,14	0,17	0,18
BDL-E-002	0,79	50	297,0	291,0	12%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,11	0,14	0,17	0,18
BDL-E-003	0,96	88	294,0	292,0	2%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,13	0,17	0,21	0,22
BDL-E-004	0,56	50	294,0	292,0	4%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,08	0,10	0,12	0,13
BDL-E-005	0,33	38	291,0	286,0	13%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,05	0,06	0,07	0,08
BDL-E-006	0,73	88	295,0	288,0	8%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,10	0,13	0,16	0,17
BDL-D-007.a	0,92	90	299,0	290,0	10%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,13	0,16	0,20	0,21
BDL-E-007.b	2,83	204	296,0	285,0	5%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,39	0,50	0,61	0,66
BDL-E-007.c	4,80	204	296,0	285,0	5%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,66	0,84	1,04	1,12
BDL-E-007.d	20,17	413	286,0	278,0	2%	9,2	24,5	28,1	30,7	31,0	2,51	3,17	3,92	4,41
BDL-D-007.e	2,25	110	294,0	286,0	7%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,31	0,39	0,49	0,53
BDL-D-008	0,25	30	289,0	281,0	27%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,03	0,04	0,05	0,06
BDL-D-009.a	0,25	14	291,0	290,0	7%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,03	0,04	0,05	0,06
BDL-D-009.b	0,58	48	294,0	289,0	10%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,08	0,10	0,13	0,14
BDL-D-010	0,65	48	294,0	289,0	10%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,09	0,11	0,14	0,15
BDL-E-011	0,92	90	299,0	290,0	10%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,13	0,16	0,20	0,21
BDL-E-012	1,00	65	290,0	282,0	12%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,14	0,18	0,22	0,23
BDL-E-013	0,44	50	293,0	281,0	24%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,06	0,08	0,10	0,10
BDL-E-014	0,37	46	291,0	282,0	20%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,05	0,06	0,08	0,09
BDL-E-015	0,30	41	293,0	286,0	17%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,04	0,05	0,07	0,07
BDL-E-016	0,17	33	291,0	284,0	21%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,02	0,03	0,04	0,04
BDL-E-017	0,54	46	291,0	282,0	20%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,07	0,09	0,12	0,13
BDL-E-018	1,26	100	295,0	284,0	11%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,17	0,22	0,27	0,29
BDL-E-019	1,23	82	295,0	289,0	7%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,17	0,22	0,27	0,29
BDL-D-020	0,13	17	300,0	298,0	12%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,02	0,02	0,03	0,03
BDL-D-021	0,17	17	301,0	293,0	47%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,02	0,03	0,04	0,04
BDL-D-022	0,16	38	301,0	291,0	26%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,02	0,03	0,03	0,04
BDL-D-023	0,14	37	301,0	294,0	19%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,02	0,02	0,03	0,03
BDL-D-024	0,32	26	298,0	295,0	12%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,04	0,06	0,07	0,07
BDL-D-025	0,34	46	297,0	286,0	24%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,05	0,06	0,07	0,08
BDL-E-026	0,53	36	290,0	283,0	19%	6,0	17,7	20,3	22,3	21,6	0,07	0,09	0,11	0,12

ANEXO 02 – DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DE BUEIROS E DRENOS

BUEIROS

SEGMENTO	BUEIRO	ESTACA	Esconsidade (º)	Seção Bueiro	n	Vazão de Projeto (m³/s)	Vazão de Projeto/ Célula (m³/s)	Declividade Adotada (%)
9	B-001	19+326	18º	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,015	0,171	0,171	5,00
	B-002	19+606	3º	BSCC (2,0 x 2,0 m)	0,015	8,530	8,530	0,80
	B-003	19+980	0º	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,015	0,557	0,557	2,50
	B-004	20+192	8º	BTCC (1,5 x 1,5 m)	0,015	12,687	4,229	0,5%
	B-005	20+386	25º	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,015	0,493	0,493	0,5%
	B-006	20+544	35º	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,015	0,267	0,267	0,5%
	B-007	20+948	11º	BTCC (3,0 x 3,0 m)	0,015	29,788	9,929	0,5%
	B-008	21+245	15º	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,015	0,661	0,661	0,5%
	B-009	21+357	3º	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,015	0,201	0,201	0,5%
	B-010	21+540	30º	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,015	8,495	8,495	0,5%
	B-011	22+446	28º	BSCC (1,0 x 1,5 m)	0,015	0,218	0,218	0,5%

Tirante (m)	Área Molhada (m²)	Perímetro Molhado (m)	Raio Hidraulico (m)	Velocidade (m/s)	Energia Específica (m)	Número de Froud	Regime de Escoamento	Vazão Crítica (m³/s)	Velocidade Crítica (m/s)
0,07	0,07	1,14	0,06	2,36	0,36	2,81	Supercritico	0,171	1,19
1,10	2,20	4,20	0,52	3,88	1,87	1,18	Supercritico	8,530	3,47
0,20	0,20	1,39	0,14	2,85	0,61	2,06	Supercritico	0,557	1,76
1,04	1,56	3,58	0,44	2,71	1,41	0,85	Subcritico	4,229	3,02
0,31	0,31	1,63	0,19	1,57	0,44	0,90	Subcritico	0,493	1,69
0,20	0,20	1,41	0,15	1,30	0,29	0,92	Subcritico	0,267	1,38
0,99	2,97	4,98	0,60	3,34	1,56	1,07	Supercritico	9,929	3,19
0,39	0,39	1,77	0,22	1,71	0,54	0,88	Subcritico	0,661	1,87
0,17	0,17	1,34	0,13	1,19	0,24	0,92	Subcritico	0,201	1,25
3,16	3,16	7,31	0,43	2,69	3,52	0,48	Subcritico	8,495	4,37
0,18	0,18	1,36	0,13	1,22	0,25	0,92	Subcritico	0,218	1,29

DRENOS

Dreno	Sub-Trecho	Q (m³/s)	Decl. (%)	m	B (m)	H (m)	A (m²)	P (m)	R (m)	V (m/s)
DL-3713-01	a	0,180	9,50	1,00	0,40	0,111	0,057	0,714	0,080	3,167
	b	0,180	7,00	1,00	0,40	0,121	0,063	0,743	0,085	2,845
DL-3713-02	a	0,180	3,50	1,00	0,40	0,148	0,081	0,818	0,099	2,224
	b	0,180	12,00	1,00	0,40	0,104	0,052	0,694	0,075	3,437
	c	0,180	6,50	1,00	0,40	0,124	0,065	0,751	0,087	2,771
DL-3713-03	a	0,220	6,00	1,00	0,40	0,142	0,077	0,802	0,096	2,855
	b	0,220	0,50	1,00	0,40	0,280	0,190	1,192	0,160	1,156
	c	0,220	12,00	1,00	0,40	0,117	0,060	0,730	0,083	3,649
	d	0,220	17,00	1,00	0,40	0,106	0,053	0,698	0,076	4,124
	e	0,220	3,50	1,00	0,40	0,165	0,093	0,868	0,108	2,353
DL-3713-04	a	0,130	1,50	1,00	0,40	0,156	0,087	0,842	0,103	1,497
	b	0,130	4,00	1,00	0,40	0,118	0,061	0,734	0,083	2,122
	c	0,130	25,00	1,00	0,40	0,069	0,033	0,596	0,055	3,997
	d	0,130	5,50	1,00	0,40	0,108	0,055	0,705	0,078	2,373
DL-3713-05	a	0,080	10,00	1,00	0,40	0,068	0,032	0,593	0,054	2,505
	b	0,080	12,50	1,00	0,40	0,064	0,030	0,581	0,051	2,701
	c	0,080	22,00	1,00	0,40	0,054	0,025	0,553	0,044	3,264
	d	0,080	33,00	1,00	0,40	0,048	0,021	0,535	0,040	3,734
	e	0,080	30,00	1,00	0,40	0,049	0,022	0,539	0,041	3,618
	f	0,080	9,50	1,00	0,40	0,069	0,032	0,596	0,055	2,462
DL-3713-06	a	0,170	0,50	1,00	0,40	0,244	0,157	1,091	0,144	1,080
	b	0,170	5,50	1,00	0,40	0,126	0,066	0,756	0,088	2,569
	c	0,170	2,00	1,00	0,40	0,167	0,095	0,873	0,109	1,790
	d	0,170	8,50	1,00	0,40	0,111	0,057	0,714	0,079	2,994
DL-3713-07	a	1,120	17,00	1,00	0,60	0,216	0,177	1,212	0,146	6,342
	b	1,120	1,50	1,00	0,60	0,419	0,427	1,785	0,239	2,622
	c	1,120	7,50	1,00	0,60	0,272	0,237	1,369	0,173	4,726
	d	4,410	0,50	1,00	1,50	0,793	1,817	3,742	0,486	2,427
	e	4,410	3,00	1,00	1,50	0,481	0,953	2,861	0,333	4,625
	f	4,410	0,25	1,00	1,50	0,954	2,343	4,200	0,558	1,882
DL-3713-08	a	0,060	6,00	1,00	0,40	0,067	0,031	0,589	0,053	1,921
	b	0,060	32,50	1,00	0,40	0,040	0,018	0,514	0,035	3,366
	c	0,060	26,50	1,00	0,40	0,043	0,019	0,522	0,037	3,149
	d	0,060	16,50	1,00	0,40	0,050	0,022	0,540	0,041	2,694
	e	0,060	40,00	1,00	0,40	0,038	0,017	0,508	0,033	3,602
	f	0,060	16,50	1,00	0,40	0,050	0,022	0,540	0,041	2,694
DL-3713-09	a	0,140	5,00	1,00	0,40	0,116	0,060	0,727	0,082	2,346
	b	0,140	0,25	1,00	0,40	0,265	0,176	1,149	0,153	0,795
DL-3713-10	a	0,150	14,00	1,00	0,40	0,089	0,044	0,653	0,067	3,429
	b	0,150	1,50	1,00	0,40	0,169	0,096	0,878	0,110	1,558
	c	0,150	7,50	1,00	0,40	0,107	0,054	0,703	0,077	2,761
	d	0,150	0,50	1,00	0,40	0,228	0,144	1,046	0,137	1,045
	e	0,150	12,50	1,00	0,40	0,092	0,045	0,661	0,069	3,298
DL-3713-11	a	0,210	10,00	1,00	0,40	0,120	0,062	0,739	0,084	3,376
	b	0,210	12,00	1,00	0,40	0,114	0,058	0,721	0,081	3,599
DL-3713-12	a	0,230	12,50	1,00	0,40	0,118	0,061	0,735	0,083	3,751
	b	0,230	3,00	1,00	0,40	0,177	0,102	0,900	0,113	2,254
	c	0,230	20,00	1,00	0,40	0,103	0,052	0,692	0,075	4,423
	d	0,230	7,50	1,00	0,40	0,137	0,073	0,787	0,093	3,131
	e	0,230	1,50	1,00	0,40	0,214	0,131	1,005	0,131	1,752

Dreno	Sub-Trecho	Q (m³/s)	Decl. (%)	m	B (m)	H (m)	A (m²)	P (m)	R (m)	V (m/s)
DL-3713-13	a	0,100	12,50	1,00	0,40	0,073	0,034	0,606	0,057	2,903
	b	0,100	1,50	1,00	0,40	0,135	0,072	0,781	0,092	1,389
	c	0,100	17,00	1,00	0,40	0,067	0,031	0,588	0,053	3,222
	d	0,100	23,50	1,00	0,40	0,060	0,028	0,571	0,049	3,594
DL-3713-14	a	0,090	14,00	1,00	0,40	0,066	0,031	0,587	0,053	2,916
	b	0,090	22,00	1,00	0,40	0,058	0,027	0,564	0,047	3,395
	c	0,090	7,00	1,00	0,40	0,081	0,039	0,630	0,062	2,304
DL-3713-15	a	0,070	12,00	1,00	0,40	0,060	0,027	0,569	0,048	2,550
	b	0,070	4,50	1,00	0,40	0,080	0,038	0,626	0,061	1,829
DL-3713-16	a	0,040	6,00	1,00	0,40	0,053	0,024	0,549	0,043	1,680
	b	0,040	43,50	1,00	0,40	0,029	0,012	0,482	0,026	3,205
	c	0,040	5,00	1,00	0,40	0,056	0,025	0,557	0,045	1,581
DL-3713-17	a	0,090	3,50	1,00	0,40	0,099	0,050	0,681	0,073	1,813
	b	0,090	20,00	1,00	0,40	0,060	0,027	0,568	0,048	3,288
	c	0,090	19,00	1,00	0,40	0,060	0,028	0,571	0,049	3,232
	d	0,090	11,00	1,00	0,40	0,071	0,033	0,601	0,056	2,688
DL-3713-18	a	0,290	5,50	1,00	0,40	0,170	0,097	0,881	0,110	2,992
	b	0,290	11,00	1,00	0,40	0,140	0,076	0,796	0,095	3,836
	c	0,290	23,00	1,00	0,40	0,113	0,058	0,721	0,081	4,980
	d	0,290	0,25	1,00	0,40	0,385	0,302	1,489	0,203	0,959
	e	0,290	16,50	1,00	0,40	0,125	0,065	0,753	0,087	4,429
	f	0,290	4,50	1,00	0,40	0,180	0,104	0,908	0,115	2,783
DL-3713-19	a	0,290	2,50	1,00	0,40	0,211	0,129	0,997	0,129	2,247
	b	0,290	7,00	1,00	0,40	0,159	0,089	0,850	0,105	3,263
	c	0,290	12,50	1,00	0,40	0,135	0,072	0,782	0,092	4,014
	d	0,290	0,25	1,00	0,40	0,385	0,302	1,489	0,203	0,959
DL-3713-20	a	0,030	1,00	1,00	0,40	0,075	0,036	0,612	0,058	0,834
	b	0,030	10,00	1,00	0,40	0,038	0,017	0,508	0,033	1,806
DL-3713-21	a	0,040	8,00	1,00	0,40	0,048	0,022	0,536	0,040	1,842
	b	0,040	15,50	1,00	0,40	0,040	0,017	0,512	0,034	2,292
DL-3713-22	a	0,040	39,00	1,00	0,40	0,030	0,013	0,485	0,027	3,086
	b	0,040	18,00	1,00	0,40	0,038	0,017	0,507	0,033	2,412
DL-3713-23	a	0,030	2,50	1,00	0,40	0,058	0,027	0,564	0,047	1,146
	b	0,030	16,50	1,00	0,40	0,033	0,014	0,492	0,029	2,109
DL-3713-24	a	0,070	8,00	1,00	0,40	0,067	0,031	0,590	0,053	2,225
	b	0,070	11,50	1,00	0,40	0,060	0,028	0,571	0,049	2,514
	c	0,070	2,50	1,00	0,40	0,095	0,047	0,668	0,070	1,494
DL-3713-25	a	0,080	12,50	1,00	0,40	0,064	0,030	0,581	0,051	2,701
	b	0,080	11,50	1,00	0,40	0,065	0,030	0,585	0,052	2,627
DL-3713-26	a	0,120	26,50	1,00	0,40	0,065	0,030	0,584	0,052	3,972
	b	0,120	11,50	1,00	0,40	0,083	0,040	0,635	0,063	2,990
	c	0,120	14,50	1,00	0,40	0,078	0,037	0,620	0,060	3,237
	d	0,120	0,50	1,00	0,40	0,202	0,122	0,973	0,125	0,984

Dreno	Sub-Trecho	Q (m³/s)	Decl. (%)	Hc (m)	Ac	Vc	T (m)	Fr	Regime
DL-3713-01	a	0,180	9,50	0,226	0,141	1,275	0,851	2,483	Supc
	b	0,180	7,00	0,226	0,141	1,275	0,851	2,230	Supc
DL-3713-02	a	0,180	3,50	0,226	0,141	1,275	0,851	1,744	Supc
	b	0,180	12,00	0,226	0,141	1,275	0,851	2,695	Supc
	c	0,180	6,50	0,226	0,141	1,275	0,851	2,173	Supc
DL-3713-03	a	0,220	6,00	0,252	0,165	1,336	0,905	2,137	Supc
	b	0,220	0,50	0,252	0,165	1,336	0,905	0,865	Subc
	c	0,220	12,00	0,252	0,165	1,336	0,905	2,731	Supc
	d	0,220	17,00	0,252	0,165	1,336	0,905	3,086	Supc
	e	0,220	3,50	0,252	0,165	1,336	0,905	1,761	Supc
DL-3713-04	a	0,130	1,50	0,187	0,110	1,181	0,775	1,268	Supc
	b	0,130	4,00	0,187	0,110	1,181	0,775	1,797	Supc
	c	0,130	25,00	0,187	0,110	1,181	0,775	3,385	Supc
	d	0,130	5,50	0,187	0,110	1,181	0,775	2,009	Supc
DL-3713-05	a	0,080	10,00	0,141	0,076	1,048	0,682	2,391	Supc
	b	0,080	12,50	0,141	0,076	1,048	0,682	2,578	Supc
	c	0,080	22,00	0,141	0,076	1,048	0,682	3,115	Supc
	d	0,080	33,00	0,141	0,076	1,048	0,682	3,564	Supc
	e	0,080	30,00	0,141	0,076	1,048	0,682	3,453	Supc
	f	0,080	9,50	0,141	0,076	1,048	0,682	2,350	Supc
DL-3713-06	a	0,170	0,50	0,218	0,135	1,258	0,837	0,859	Subc
	b	0,170	5,50	0,218	0,135	1,258	0,837	2,041	Supc
	c	0,170	2,00	0,218	0,135	1,258	0,837	1,422	Supc
	d	0,170	8,50	0,218	0,135	1,258	0,837	2,380	Supc
DL-3713-07	a	1,120	17,00	0,528	0,596	1,879	1,656	3,376	Supc
	b	1,120	1,50	0,528	0,596	1,878	1,657	1,396	Supc
	c	1,120	7,50	0,528	0,595	1,881	1,656	2,513	Supc
	d	4,410	0,50	0,797	1,830	2,409	3,094	1,007	Supc
	e	4,410	3,00	0,797	1,831	2,409	3,094	1,920	Supc
	f	4,410	0,25	0,797	1,831	2,409	3,094	0,781	Subc
DL-3713-08	a	0,060	6,00	0,119	0,062	0,974	0,638	1,972	Supc
	b	0,060	32,50	0,119	0,062	0,974	0,638	3,457	Supc
	c	0,060	26,50	0,119	0,062	0,974	0,638	3,234	Supc
	d	0,060	16,50	0,119	0,062	0,974	0,638	2,766	Supc
	e	0,060	40,00	0,119	0,062	0,974	0,638	3,699	Supc
	f	0,060	16,50	0,119	0,062	0,974	0,638	2,766	Supc
DL-3713-09	a	0,140	5,00	0,196	0,116	1,202	0,791	1,952	Supc
	b	0,140	0,25	0,196	0,116	1,202	0,791	0,662	Subc
DL-3713-10	a	0,150	14,00	0,203	0,123	1,222	0,807	2,807	Supc
	b	0,150	1,50	0,203	0,123	1,222	0,807	1,275	Supc
	c	0,150	7,50	0,203	0,123	1,222	0,807	2,260	Supc
	d	0,150	0,50	0,203	0,123	1,222	0,807	0,855	Subc
	e	0,150	12,50	0,203	0,123	1,222	0,807	2,699	Supc
DL-3713-11	a	0,210	10,00	0,246	0,159	1,322	0,892	2,554	Supc
	b	0,210	12,00	0,246	0,159	1,322	0,892	2,723	Supc
DL-3713-12	a	0,230	12,50	0,26	0,17	1,35	0,92	2,78	Supc
	b	0,230	3,00	0,26	0,17	1,35	0,92	1,67	Supc
	c	0,230	20,00	0,26	0,17	1,35	0,92	3,28	Supc
	d	0,230	7,50	0,26	0,17	1,35	0,92	2,32	Supc
	e	0,230	1,50	0,26	0,17	1,35	0,92	1,30	Supc

Dreno	Sub-Trecho	Q (m³/s)	Decl. (%)	m	B (m)	Hc (m)	Ac	Vc	T (m)	Fr	Regime
DL-3713-13	a	0,100	12,50	1,00	0,40	0,16	0,09	1,11	0,72	2,62	Supc
	b	0,100	1,50	1,00	0,40	0,16	0,09	1,11	0,72	1,25	Supc
	c	0,100	17,00	1,00	0,40	0,16	0,09	1,11	0,72	2,91	Supc
	d	0,100	23,50	1,00	0,40	0,16	0,09	1,11	0,72	3,24	Supc
DL-3713-14	a	0,090	14,00	1,00	0,40	0,15	0,08	1,08	0,70	2,70	Supc
	b	0,090	22,00	1,00	0,40	0,15	0,08	1,08	0,70	3,15	Supc
	c	0,090	7,00	1,00	0,40	0,15	0,08	1,08	0,70	2,13	Supc
DL-3713-15	a	0,070	12,00	1,00	0,40	0,13	0,07	1,01	0,66	2,52	Supc
	b	0,070	4,50	1,00	0,40	0,13	0,07	1,01	0,66	1,81	Supc
DL-3713-16	a	0,040	6,00	1,00	0,40	0,09	0,05	0,88	0,59	1,92	Supc
	b	0,040	43,50	1,00	0,40	0,09	0,05	0,88	0,59	3,66	Supc
	c	0,040	5,00	1,00	0,40	0,09	0,05	0,88	0,59	1,81	Supc
DL-3713-17	a	0,090	3,50	1,00	0,40	0,151	0,083	1,079	0,703	1,680	Supc
	b	0,090	20,00	1,00	0,40	0,151	0,083	1,079	0,703	3,047	Supc
	c	0,090	19,00	1,00	0,40	0,151	0,083	1,079	0,703	2,995	Supc
	d	0,090	11,00	1,00	0,40	0,151	0,083	1,079	0,703	2,491	Supc
DL-3713-18	a	0,290	5,50	1,00	0,40	0,294	0,204	1,423	0,988	2,103	Supc
	b	0,290	11,00	1,00	0,40	0,294	0,204	1,423	0,988	2,696	Supc
	c	0,290	23,00	1,00	0,40	0,294	0,204	1,423	0,988	3,500	Supc
	d	0,290	0,25	1,00	0,40	0,294	0,204	1,423	0,988	0,674	Subc
	e	0,290	16,50	1,00	0,40	0,294	0,204	1,423	0,988	3,113	Supc
	f	0,290	4,50	1,00	0,40	0,294	0,204	1,423	0,988	1,956	Supc
DL-3713-19	a	0,290	2,50	1,00	0,40	0,294	0,204	1,423	0,988	1,579	Supc
	b	0,290	7,00	1,00	0,40	0,294	0,204	1,423	0,988	2,293	Supc
	c	0,290	12,50	1,00	0,40	0,294	0,204	1,423	0,988	2,821	Supc
	d	0,290	0,25	1,00	0,40	0,294	0,204	1,423	0,988	0,674	Subc
DL-3713-20	a	0,030	1,00	1,00	0,40	0,077	0,037	0,809	0,554	1,031	Supc
	b	0,030	10,00	1,00	0,40	0,078	0,037	0,811	0,556	2,227	Supc
DL-3713-21	a	0,040	8,00	1,00	0,40	0,092	0,045	0,875	0,584	2,105	Supc
	b	0,040	15,50	1,00	0,40	0,092	0,045	0,879	0,584	2,607	Supc
DL-3713-22	a	0,040	39,00	1,00	0,40	0,092	0,045	0,876	0,584	3,521	Supc
	b	0,040	18,00	1,00	0,40	0,093	0,046	0,876	0,586	2,755	Supc
DL-3713-23	a	0,030	2,50	1,00	0,40	0,078	0,037	0,816	0,556	1,404	Supc
	b	0,030	16,50	1,00	0,40	0,077	0,037	0,807	0,554	2,613	Supc
DL-3713-24	a	0,070	8,00	1,00	0,40	0,130	0,069	1,013	0,661	2,197	Supc
	b	0,070	11,50	1,00	0,40	0,130	0,069	1,013	0,661	2,482	Supc
	c	0,070	2,50	1,00	0,40	0,130	0,069	1,013	0,661	1,475	Supc
DL-3713-25	a	0,080	12,50	1,00	0,40	0,141	0,076	1,048	0,682	2,578	Supc
	b	0,080	11,50	1,00	0,40	0,141	0,076	1,048	0,682	2,507	Supc
DL-3713-26	a	0,120	26,50	1,00	0,40	0,179	0,104	1,158	0,758	3,430	Supc
	b	0,120	11,50	1,00	0,40	0,179	0,104	1,158	0,758	2,581	Supc
	c	0,120	14,50	1,00	0,40	0,179	0,104	1,158	0,758	2,795	Supc
	d	0,120	0,50	1,00	0,40	0,179	0,104	1,158	0,758	0,850	Subc