



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE DRENAGEM URBANA
NA CIDADE DE REMÍGIO-PB**

TIAGO LAMEQUE DE SOUSA E SILVA

**CAMPINA GRANDE- PB
NOVEMBRO DE 2019**

TIAGO LAMEQUE DE SOUSA E SILVA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE DRENAGEM
URBANA NA CIDADE DE REMÍGIO-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Aragão

CAMPINA GRANDE- PB

NOVEMBRO DE 2019

TIAGO LAMEQUE DE SOUSA E SILVA

**ANÁLISE DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE DRENAGEM
URBANA EM REMÍGIO-PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da Universidade
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovado em ____ de _____ de 2019.

Prof. Dr. Ricardo de Aragão - UFCG
Orientador

Nota: _____

Profa. Dra. Andrea Carla Lima Rodrigues - UFCG
Examinadora interna

Nota: _____

Engenheiro Mestrando Rubens Hayran Cabral dos Santos - UFCG
Examinador externo

Nota: _____

CAMPINA GRANDE – PB

2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por todo amor e misericórdia que guardou para comigo.

Aos meus pais, Enoch da Silva Filho e Vanusa de Sousa Silva por nunca me deixarem faltar amor nem tampouco um exemplo a seguir e admirar.

A minha esposa, Ruama Ferreira de Sousa pela paciência e compreensão que sempre demonstrou e pelo auxílio nos momentos difíceis dessa caminhada.

A minha tia, Vanisa de Sousa Silva por inspirar a escolha da graduação em engenharia civil com um exemplo de grande mulher e profissional.

Ao meu orientador, Ricardo de Aragão pela disposição, cordialidade, gentileza, e sapiência que demonstrou durante o desenvolvimento desse trabalho.

Por fim, agradeço a todos que conviveram comigo durante esse período e direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

DEDICATÓRIA

A Deus, por toda provisão e sorte de bençãos e a minha família por todo amor que inunda a minha vida.

RESUMO

O rápido processo de urbanização que o Brasil sofreu contribuiu para o mau gerenciamento do mesmo. Esse processo desorganizado trouxe dentre outras mazelas, problemas no saneamento básico e mais ainda no aspecto mais relegado do saneamento que é a drenagem urbana. As cidades cresceram e se tornaram cada vez mais impermeáveis enquanto não se preocupavam com o destino do aumento da vazão escoada. Nesse contexto, esse trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho do sistema de drenagem de uma pequena bacia no centro da cidade de Remígio-PB através de simulações computacionais utilizando o software SWMM. Os resultados obtidos mostram que apesar de recentes mudanças no sistema de drenagem em questão, o mesmo continua ineficiente para precipitações com períodos de retorno iguais ou superiores a 10 anos.

Palavras chave: Drenagem urbana; Modelagem computacional; SWMM.

ABSTRACT

The rapid process of urbanization that Brazil underwent contributed to its mismanagement. This disorganized process brought, among other problems, problems in basic sanitation and even more in the most relegated aspect of sanitation, which is urban drainage. Cities grew and became more and more impermeable as they did not worry about the fate of increasing runoff. In this context, this work aims to evaluate the performance of the drainage system of a small basin in the city center of Remigio-PB through computer simulations using SWMM software. The results show that despite recent changes in the drainage system in question, it remains inefficient for rainfall with return periods of 10 years or more.

Key-words: Urbain drainage; Computational modeling; SWMM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Comparação entre hidrogramas de uma bacia rural e outra urbanizada.	4
Figura 2- Processo de Impacto da Drenagem Urbana.....	5
Figura 3- Tipologia e Exemplos de Técnicas Compensatórias	7
Figura 4- Localização da cidade de Remmígio- PB	11
Figura 5- Precipitação mensal em Remígio-PB no ano de 2018	12
Figura 6- Lagoa Central	13
Figura 7- Levantamento Planialtimétrico e Representação do Sistema de Drenagem	13
Figura 8- Fluxograma dos cenários propostos.	14
Figura 9- Isolinhas coeficiente B.....	15
Figura 10- Isolinhas coeficiente m.....	16
Figura 11- Isolinhas coeficiente K.....	16
Figura 12- Isolinhas coeficiente n.....	17
Figura 13- Representação da área de estudo projetada no SWMM	27
Figura 14- Comportamento de trecho da rede de drenagem entre os nós N4 e E1 (Tr=2)	28
Figura 15- Volume acumulado na unidade de armazenamento (Tr=2)	28
Figura 16- Vazão no orifício após precipitação (Tr= 2 anos).....	28
Figura 17- Comportamento do sistema no trecho entres os nós N4 e E1 (Tr=5)	29
Figura 18- Volume acumulado na unidade de armazenamento (Tr=5)	29
Figura 19- Vazão no orifício (Tr=5)	30
Figura 20- Comportamento do sistema entre os nós N4 e N9 (Tr=10)	30
Figura 21- Volume na unidade de armazenamento (Tr=10).....	31
Figura 22- Vazão no orifício (Tr=10)	31
Figura 23- Comportamento do sistema entre os nós N4 e E1	31
Figura 24- Volume na unidade de armazenamento (Tr=25).....	32
Figura 25- Vazão no orifício (Tr=25)	32
Figura 26- Comportamento do sistema entre os nós N4 e E1	33
Figura 27- Volume na unidade de armazenamento (Tr=50).....	33
Figura 28- Vazão no orifício (Tr=50)	33

Figura 29-Comportamento do sistema entre os nós N4 e E1 no cenário antigo (Tr=2)	34
Figura 30- Volume na unidade de armazenamento no cenário antigo (tr=2)	35
Figura 31- Vazão no orifício no cenário antigo (Tr=2)	35
Figura 32- Comportamento do sistema entre os nós N4 e E1 no cenário antigo (Tr=5)	36
Figura 33- Volume na unidade de armazenamento no cenário antigo (Tr=5)	36
Figura 34-Vazão no orifício no cenário antigo (Tr=5)	36
Figura 35- Comportamento do sistema entre os nós N4 e E1 no cenário antigo (Tr=10).....	37
Figura 36-Volume na unidade de armazenamento no cenário antigo (Tr=10)	37
Figura 37-Vazão no orifício no cenário antigo (Tr=10)	38
Figura 38- Comportamento do sistema entre os nós N4 e E1 no cenário antigo (Tr=25).....	38
Figura 39- Comportamento do sistema entre os nós N13 e E1 no cenário antigo (Tr= 25)	38
Figura 40-Vazão no orifício no cenário antigo (Tr=25)	39
Figura 41-Volume na unidade de armazenamento no cenário antigo (Tr=25)	39
Figura 42-Comportamento do sistema entre os nós N4 e E1 no cenário antigo (Tr=50)	40
Figura 43- Comportamento do sistema entre os nós N13 e E1 no cenário antigo (Tr=50).....	40
Figura 44- Volume na unidade de armazenamento no cenário anterior (Tr= 50).....	40
Figura 45- Vazão no orifício no cenário anterior (Tr=50)	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Precipitação com período de retorno de 2 anos	18
Tabela 2- Precipitação com período de retorno de 5 anos	19
Tabela 3- Precipitação com período de retorno de 10 anos	20
Tabela 4- Precipitação com período de retorno de 25 anos	21
Tabela 5- Precipitação com período de retorno de 50 anos	22
Tabela 6- Precipitação com período de retorno de 100 anos	23
Tabela 7- Parâmetros para caracterização das bacias	24
Tabela 8- Coeficiente de rugosidade de Manning para diferentes superfícies	25
Tabela 9- Parâmetros de caracterização dos condutos	25

LISTA GRÁFICOS

Gráfico 1- Distribuição da precipitação com (Tr=2) durante 60 minutos	18
Gráfico 2- Distribuição da precipitação com (Tr=5) durante 60 minutos	19
Gráfico 3- Distribuição da precipitação com (Tr=10) durante 60 minutos.....	20
Gráfico 4- Distribuição da precipitação com (Tr=25) durante 60 minutos.....	21
Gráfico 5- Distribuição da precipitação com (Tr=50) durante 60 minutos	22
Gráfico 6- Distribuição da precipitação com (Tr=100) durante 60 minutos.....	23

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO GERAL	2
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
4.1. <i>Urbanização e drenagem urbana</i>	3
4.2. <i>Sistemas de drenagem urbana</i>	5
4.3. <i>Importância do bom funcionamento dos sistemas de drenagem urbana</i>	7
4.4. <i>Métodos de avaliação do desempenho de sistemas de drenagem urbana</i>	8
4.4.1. SWMM	9
5. DESCRIÇÃO DA ÁREA	11
6. METODOLOGIA	14
6.1. <i>Obtenção das chuvas de projeto</i>	15
6.1.1. Chuva de projeto com período de retorno de 2 anos	18
6.1.2. Chuva com período de retorno de 5 anos	19
6.1.3. Chuva com período de retorno de 10 anos	20
6.1.4. Precipitação com período de retorno de 25 anos	21
6.1.5. Precipitação com período de retorno de 50 anos	22
6.1.6. <i>Precipitação com período de retorno de 100 anos</i>	23
6.2. <i>Representação das características da área de estudo</i>	23
6.2.1. Bacias	24
6.2.2. Condutos	25
6.2.3. Nós	26
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
7.1. <i>Cenário1 – Situação atual</i>	27
7.2. <i>Cenário 2- Situação anterior a ampliação da lagoa</i>	34
7.3. <i>Alternativas para a problemática</i>	41

8. CONCLUSÕES	43
Referências Bibliográficas	44

1. INTRODUÇÃO

Desde o início do século XX a distribuição geográfica da população no Brasil sofreu uma rápida transformação, passando de um país rural para um país urbano (IBGE, 2006). Essa urbanização, via de regra, iniciou-se ao redor de corpos hídricos, o que, por conseguinte, trouxe consigo uma grande impermeabilização de tais áreas. Como consequência, houve um aumento na vazão e na velocidade do escoamento, a antecipação do pico de cheia, diminuição da recarga dos mananciais subterrâneos, presença de resíduos sólidos e sedimentos nos corpos hídricos, entre outros impactos.

Em 1950, a população urbana correspondia à parcela de 36% da população total. Ao passo que, em 2000, a população urbana era superior a 81%. Além das migrações de natureza rural, o crescimento demográfico urbano ocorreu devido ao expressivo desenvolvimento das próprias áreas urbanas e à incorporação de novas áreas, que passaram a ser consideradas como urbanas nos censos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2006).

Como consequência da ocupação desordenada de pessoas no meio urbano, demandas por infraestrutura básica começaram a surgir, tais como: abastecimento de água potável, coleta de esgoto, pavimentação das principais ruas, construção de hospitais, escolas e moradias que tomaram a maior parte da atenção da sociedade urbana brasileira. Dessa maneira, o poder público negligenciou a implantação dos sistemas de drenagem urbana em detrimento dos serviços acima citados, uma vez que os sistemas não funcionam ininterruptamente e são notados apenas quando falham.

A negligência no planejamento dos sistemas de drenagem traz consigo a exposição da população a riscos sanitários, a danos materiais e sobretudo ao risco de morte. A tardia implantação desse sistema se mostra extremamente onerosa e por muitas vezes torna inviável a execução de uma solução de grande eficácia. Portanto, é possível inferir que a integração do sistema de drenagem ao planejamento urbanístico, possibilitando a antecipação de problemas e de suas respectivas soluções, é um fator primordial para o sucesso desse sistema.

Atualmente, no Brasil, as soluções de drenagem de águas pluviais têm como principal viés o higienista, que busca, por essência, a transferência da cheia para jusante. No entanto, esta abordagem é considerada tecnicamente obsoleta e gradativamente dá lugar a uma outra abordagem que recebe o nome de drenagem urbana sustentável, que têm como princípio, a

combinação do controle na fonte ou de controle do escoamento superficial com as técnicas clássicas de drenagem.

Segundo Martins e Brandão (2017), a drenagem urbana sustentável tem por objetivo o controle tanto da quantidade quanto da qualidade das águas pluviais utilizando conceitos como controle da produção de escoamento superficial, aumento do tempo de trânsito do escoamento, maior integração dos rios à paisagem urbana, remoção de poluentes da água, entre outros.

Ante o exposto, é possível notar que no Brasil, e principalmente nas pequenas cidades, as soluções de drenagem urbana ainda trazem em sua concepção o pensamento higienista, uma vez que, traz resultados mais tangíveis a opinião pública. Esse é o caso encontrado na cidade de Remígio, localizada no Agreste Paraibano, que possui sistemas de drenagem situados na sua região central.

O local citado compreende a bacia de contribuição dos sistemas de drenagem da Praça Lagoa Park, localizada na área central da cidade de Remígio-PB. A região apresenta um grande valor histórico, pois acredita-se que nessa região os primeiros habitantes do município se instalaram. Além disso, hoje representa uma importante área de lazer das famílias do município e abriga as principais atividades comerciais da cidade.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar o desempenho de um sistema de drenagem de águas pluviais urbanas em atividade na cidade de Remígio-PB e propor alternativas de otimização.

3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Caracterizar a hidrologia e o uso e ocupação do solo da área de drenagem objeto de estudo;
- 2) Avaliar o desempenho hidráulico do sistema de drenagem de águas pluviais da área de estudo na cidade de Remígio- PB, identificando possíveis fontes de falhas;
- 3) Propor de alternativas de aprimoramento do sistema.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. Urbanização e drenagem urbana

O processo de urbanização teve início na Europa, no século XVIII, concomitantemente a revolução industrial. Trouxe consigo uma mudança no status da importância das cidades, que passaram a se estabelecer como comandantes da economia, cultura e política no mundo.

De acordo com Lucci, Branco e Mendonça (2010, p.501) “A cidade é a mais espetacular forma de transformação do espaço geográfico realizada pelos seres humanos. É o principal centro produtivo, de criação artística e difusão cultural, tecnológico e irradiador de modernidade”.

A urbanização trouxe para a sociedade a contradição de que o desenvolvimento econômico e o adensamento populacional, não trazem consigo uma melhoria instantânea na qualidade de vida da população. Como o processo na maioria dos casos se deu sem planejamento, um elevado número de problemas veio à tona, tais como: falta de acesso à moradia e serviços essenciais, problemas de mobilidade urbana e falta de saneamento básico.

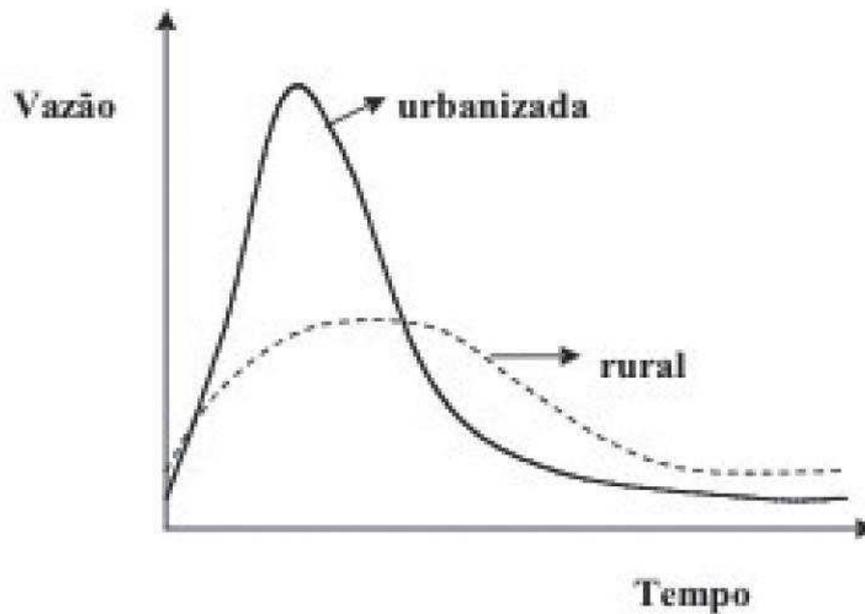
Partindo dessa problemática, o urbanismo, que é um conjunto de atividades que visa o desenvolvimento racional das cidades, se desenvolveu. Em contraponto ao estado avançado que o urbanismo apresenta nos países desenvolvidos, nos países subdesenvolvidos ainda é incipiente.

Tucci (2005) afirma que o crescimento urbano nos países em desenvolvimento tem sido realizado de forma insustentável, com deterioração da qualidade de vida e do meio ambiente. Segundo relatório da ONU (2012), a América Latina e Caribe é a região mais urbanizada do mundo, visto que quase 80% de sua população vive em cidades, uma proporção superior à do grupo de países mais desenvolvidos. Além disso, a previsão é de que em 2050 a população urbana da América Latina e Caribe representará 89% do total. Esse mesmo estudo aponta que em 2020, 90% da população brasileira viverá em cidades.

O processo de crescimento urbano no Brasil, traz consigo todas as dificuldades esperadas em um processo que não possui planejamento, uma vez que ele ocorre espontaneamente na medida em que o desenvolvimento econômico afeta uma determinada região.

De acordo com Tucci (2005), as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude devido à urbanização. À medida que a cidade se urbaniza, ocorrem os seguintes impactos: aumento das vazões máximas (FIGURA 1), das suas frequências, aumento da produção de sedimentos e deterioração da qualidade das águas.

Figura 1- Comparação entre hidrogramas de uma bacia rural e outra urbanizada.

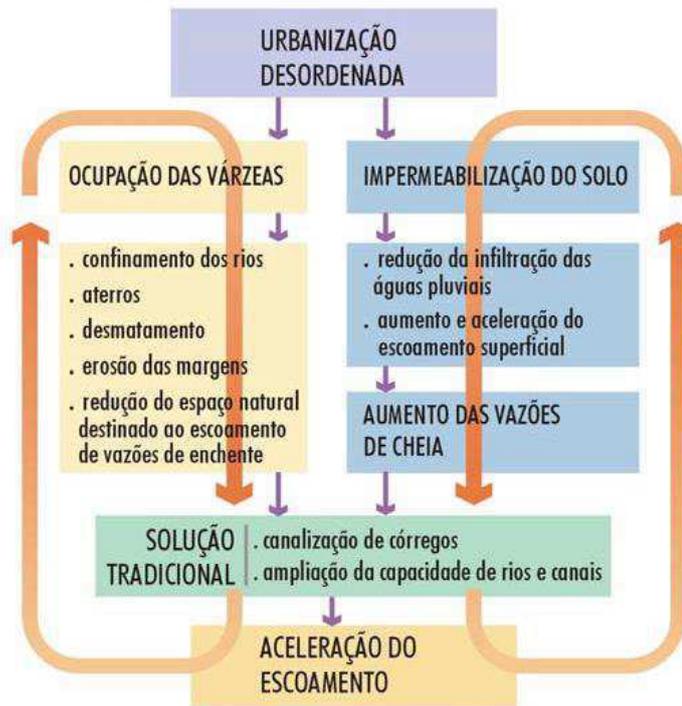


Fonte: Adaptado de TUCCI (2005)

As soluções mais utilizadas para os dilemas da drenagem urbana brasileira são baseadas no pensamento higienista, que na microdrenagem procura a rápida transferência do escoamento para um outro local à jusante e na macrodrenagem se dá através da canalização de trechos críticos.

A FIGURA 2 apresenta o fluxograma que ilustra o processo de inundação, correlacionando o processo com o modelo de gestão adotado na maioria dos municípios brasileiros.

Figura 2- Processo de Impacto da Drenagem Urbana



Fonte: (SUDERSHA 2002)

4.2. Medidas de controle das inundações

Tipicamente os sistemas de drenagem urbana são classificados em dois tipos, de acordo com suas dimensões, que devem ser projetados e analisados adotando-se critérios diferentes, são eles: microdrenagem ou drenagem inicial e macrodrenagem ou drenagem principal.

Os sistemas de microdrenagem, compreendem os pavimentos das ruas, guias, sarjetas, bocas-de-lobo, galerias de pequeno porte e canais de pequenas dimensões. Esses sistemas, tem sua concepção diretamente ligada a disposição urbanística da área de estudo. Como são sistemas que lidam com vazões menores se comparadas com as vazões dos sistemas de macrodrenagem, os tempos de retorno utilizados nos projetos variam entre 2 e 10 anos, afetando diretamente a segurança desses sistemas.

Os sistemas de macrodrenagem, por sua vez, compreendem galerias de grande porte, grandes canais e rios canalizados. A concepção desses sistemas é diretamente ligada ao viés higienista que busca a rápida transferência da cheia para jusante. Por lidarem com grandes vazões, os tempos de retorno utilizados variam entre 20 e 100 anos.

Em consequência das limitações que as técnicas tradicionais de drenagem urbana impõem foram desenvolvidas novas abordagens, as chamadas técnicas compensatórias, que visam contrabalançar os efeitos das modificações antrópicas no ciclo hidrológico.

Segundo NÓBREGA (2012), essa nova abordagem na gestão de águas pluviais é fundamentada na redução dos picos de enchente, retardamento dos volumes escoados e de serviços aos cidadãos pela melhoria da paisagem urbana e recuperação de habitat natural dentro das cidades.

As técnicas compensatórias podem ser divididas em dois grandes grupos, as estruturais e as não-estruturais. As estruturais envolvem pequenas e grandes obras que visam o controle do escoamento na fonte ou o amortecimento das cheias, já as medidas não estruturais são as que não envolvem obras e sim atividades de cunho conscientizador e regulamentador.

Para áreas com o processo de urbanização assente, a implantação de técnicas compensatórias enfrenta limitações acerca da carência de espaços físicos e dos altos custos de implantação, confinando assim sua utilização apenas como medidas complementares ou paliativas.

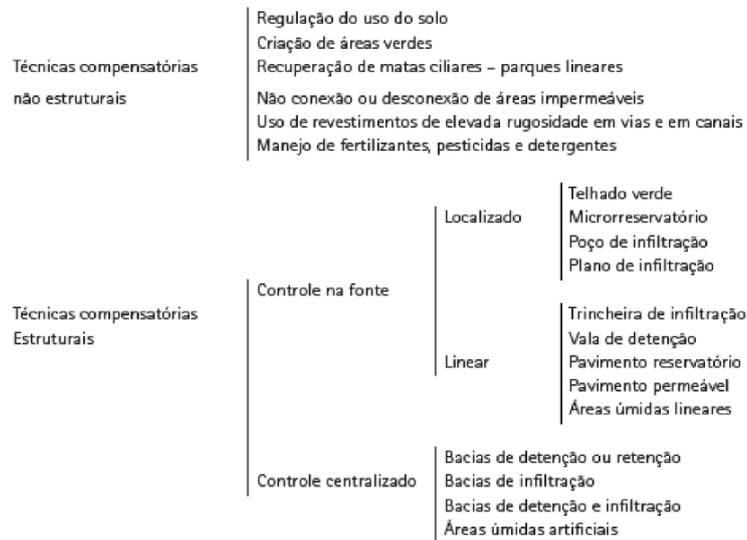
Para áreas em desenvolvimento um oportuno planejamento permite a utilização das técnicas compensatórias das mais diversas formas, tanto combinando mais de uma técnica quanto como aplicando apenas uma, repetidas vezes na bacia.

Acerca das técnicas compensatórias, são exemplos:

- Regulação do uso do solo, que evita a impermeabilização demasiada da área e norteia as possibilidades de uso do solo que são cabíveis sem afetar criticamente o escoamento;
- Telhados verdes têm a função de reter o escoamento e reduzir as vazões de pico uma vez que armazenam as precipitações que incidem nos telhados;
- Trincheiras de infiltração são dispositivos que permitem o armazenamento temporário e a respectiva infiltração de água no solo;
- Bacias de retenção ou retenção têm função semelhante aos telhados verdes, no entanto aplicados em uma escala maior;

Além desses a FIGURA 3 traz outros exemplos e um resumo das classificações das técnicas compensatórias.

Figura 3- Tipologia e Exemplos de Técnicas Compensatórias



Fonte: (NASCIMENTO; BAPTISTA 2009, apud GURGEL, 2016)

4.3. Importância do bom funcionamento dos sistemas de drenagem urbana

Inicialmente, é necessário esclarecer que o desempenho de um sistema é definido pela capacidade de atendimento aos objetivos para qual o sistema foi criado. (KOLSKY & BUTLER 2002, apud BOLDRIN, 2014, p. 5)

Partindo da definição de desempenho, é imprescindível estabelecer que os objetivos dos sistemas de drenagem urbana são a prevenção de inundações, o gerenciamento operacional e a preservação ambiental.

A prevenção de inundações está relacionada a segurança e saúde da população, além da redução de danos materiais. O aspecto ambiental, diz respeito a redução da poluição das águas superficiais, de canais, lagoas e rios. No tocante ao gerenciamento operacional, o projeto deve ser concebido visando baixos custos e a menor necessidade possível de manutenção, uma vez que, são sistemas tão negligenciados quanto essenciais para a população.

De acordo com Urban Drainage and Flood Control District (2016) , em face do acima exposto, o bom funcionamento dos sistemas de drenagem urbana traz consigo as seguintes vantagens:

- Proporciona segurança no tráfego de veículos durante precipitações com período de retorno menores;

- Mantém a segurança da população e possibilita a gestão das inundações durante precipitações com período de retorno maiores;
- Diminui os custos de manutenção do sistema.

4.4. Métodos de avaliação do desempenho de sistemas de drenagem urbana

Segundo Bennis et al. (2003) citados por Bodrin (2014, p. 9), a avaliação do desempenho hidráulico de um sistema de drenagem de águas pluviais urbanas pode ser realizada utilizando os seguintes critérios:

- Capacidade hidráulica das seções;
- Frequência e duração das sobrecargas;
- Volume transbordado;
- Duração das inundações;
- Área afetada pelas inundações;
- Custo dos danos causados à propriedade privada.

A avaliação do desempenho de sistemas de drenagem urbana pode ser abordada através de diferentes aspectos. Ela pode ser feita utilizando pesquisa com habitantes, observação direta de enchentes e simulações através de modelos hidrológicos do desempenho dos sistemas.

Quando se opta pela pesquisa com os habitantes da área, os mesmos são submetidos a entrevistas e discussões, que propiciam o entendimento do problema através do olhar da população afetada. No entanto, esse tipo de avaliação é subjetiva e não produz parâmetros numéricos confiáveis, todavia é interessante que seja feita de forma complementar a uma outra avaliação mais técnica.

A observação direta de enchentes permite a observação do problema no contexto em que se está inserido e é essencial para a avaliação, uma vez que propicia um melhor entendimento do problema e a observação dos pontos críticos do sistema. Todavia, é uma metodologia limitada, em razão da sazonalidade das precipitações e da restrição de área observável.

A metodologia que utiliza critérios mais técnicos e confiáveis na avaliação do desempenho de um sistema de drenagem urbana é a modelagem hidrológica. A modelagem é uma ferramenta fundamental no estudo da gestão das águas urbanas e através dela é possível simular a eficácia das soluções adotadas em diferentes circunstâncias.

O modelo hidrológico é uma ferramenta desenvolvida pela ciência para melhor entender e representar o comportamento da bacia hidrográfica e pode ser definido como “uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes em alguma parte da superfície ou do subsolo” (MAIDMENT, 1993 apud MARTINS, 2017, p. 39).

Segundo Cabral (2009), modelos computacionais são muito úteis em diversas situações da gestão das águas pluviais urbanas. Estes modelos podem ser utilizados na fase de planejamento e de detalhamento de projeto, no caso de manutenção corretiva em que seja necessário realizar obras complementares e em outros casos em que se deseja simular cenários sobre o comportamento de um sistema de drenagem submetido a determinadas condições de precipitação pluviométrica.

Na época atual existem muitas ferramentas de modelagem hidrológica que permitem diversas utilizações, dentre elas: análise de escoamentos (velocidades, vazões, volumes e níveis), estudos acerca da qualidade das águas e do carreamento de sedimentos e a simulação do funcionamento de sistemas com bombas, vertedores, orifícios, bacias de detenção e medidas não estruturais.

Existem vários softwares para modelagem hidrológica, com relação aos desenvolvidos no Brasil, vale destacar o CABC, o IPH e o MODCEL. O primeiro foi desenvolvido pela USP e é um simulador hidrológico de bacias complexas através de modelos de desagregação de precipitações, infiltração, escoamento superficial e geração de hidrogramas sintéticos. O segundo foi desenvolvido UFRGS e possibilita a obtenção do hidrograma de projeto com base na seleção de modelos para a simulação real de cada fase da transformação chuva-vazão. O terceiro foi desenvolvido pela UFRJ que usa um conceito de células de armazenamento de água.

Em caráter mundial há de se destacar os seguintes softwares: SOBEK (Delft Hydraulics, Holanda), o InfoWorks (Wallingford Institute, Inglaterra), o MOUSE-DHI (Dinamarca), o modelo SWMM (USEPA, Estados Unidos) e o HEC (U.S. Army Corps of Engineers, Estados Unidos).

4.4.1. SWMM

O SWMM (Storm Water Management Model), é um software utilizado como ferramenta para a modelagem hidrológica, lançado em 1971 pela USEPA (United States Environmental Protection Agency), já sofreu diversas atualizações, a versão mais atual que possui tradução para o português é a SWMM 5.0.

Segundo Cabral (2009), o modelo SWMM é composto por diversos módulos, possibilitando vários estudos de hidrologia urbana e de qualidade de água. Atualmente, o SWMM é o pacote computacional mais utilizado para simulação da drenagem urbana, principalmente por ser de domínio público e ter seu código de programa aberto, permitindo modificações.

Conforme descrito por Aprígio (2012), as informações mínimas de entrada no modelo são: precipitação, área, largura do escoamento superficial, declividade, porcentagem de área impermeável, coeficiente de rugosidade de Manning, profundidade de armazenamento em depressões, além de dados para o modelo de infiltração escolhido.

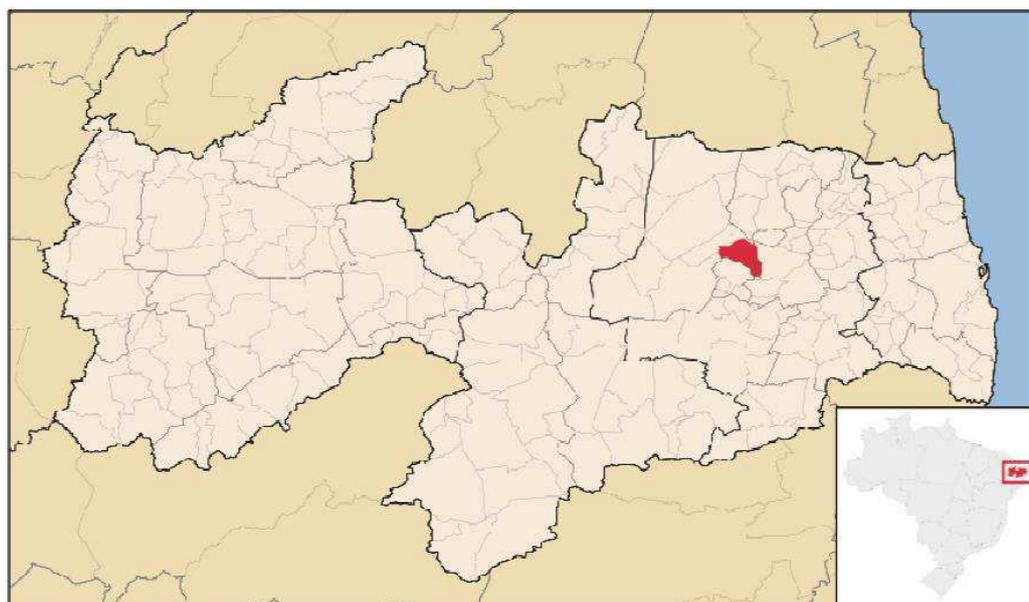
De acordo com Cabral (2009), alguns dos objetivos da utilização do SWMM são:

- Dimensionamento do sistema de drenagem urbana para controle de alagamentos;
- Avaliação de uso de sistemas de retenção de cheias e proteção da qualidade das águas;
- Mapeamento de áreas inundáveis;
- Análise do efeito de medidas compensatórias;
- Efeito qualitativo no sistema devido ao carreamento de poluentes;
- Entradas de esgoto e de outras fontes pontuais externas ao sistema de águas pluviais;
- Redução da concentração de poluentes no tratamento das águas em reservatórios e por meio de processos naturais em galerias e canais;
- Sensibilidade quanto aos componentes do ciclo hidrológico de bacias, como infiltração, evaporação e escoamento superficial.

5. DESCRIÇÃO DA ÁREA

O município de Remígio possui clima semiárido, está localizado na Microrregião do Curimataú Ocidental e na Mesorregião Agreste Paraibano do Estado da Paraíba (FIGURA 4) e segundo o IBGE, a população estimada para o ano de 2018 é de 19340 habitantes. Sua área é de 178 km² representando 0,3155% do estado, 0,0115% da região e 0,0021% de todo o território brasileiro. A sede do município tem uma altitude aproximada de 593 metros distando 109,7 km da capital.

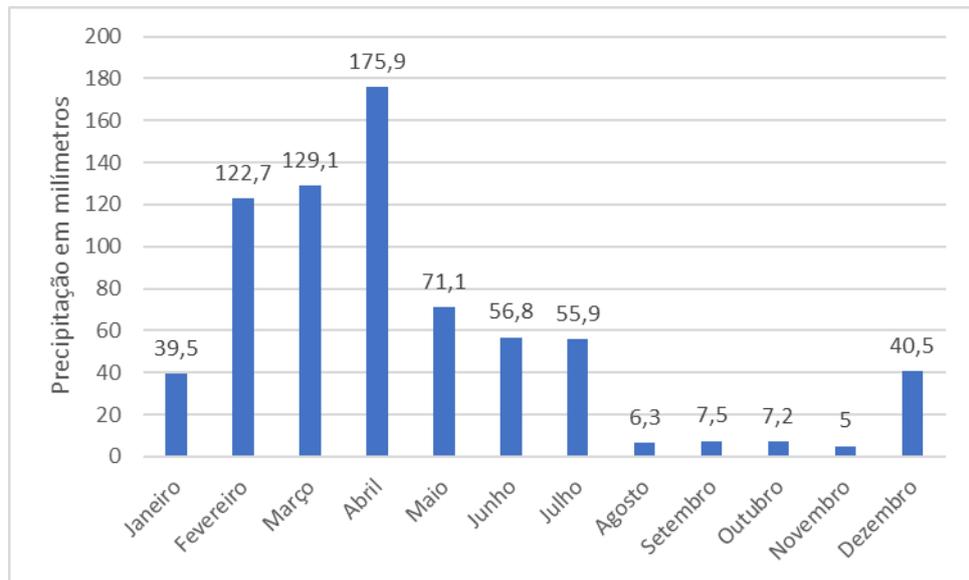
Figura 4- Localização da cidade de Remígio- PB



Fonte: WIKIPEDIA (2019)

O período de chuvas mais frequentes se estende desde o mês de dezembro até meados do mês de julho, sendo sucedido por um período de estiagem entre os meses de agosto e dezembro (FIGURA 5).

Figura 5- Precipitação mensal em Remígio-PB no ano de 2018



Fonte: AESA (2019)

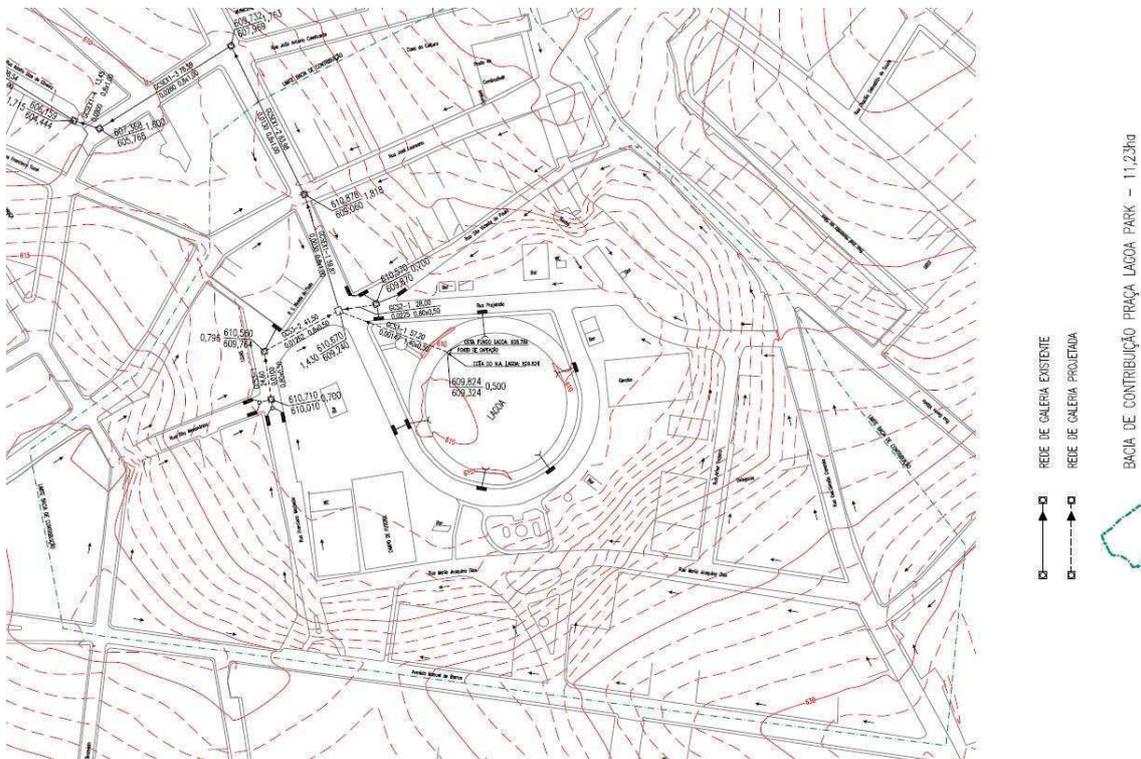
A área de estudo é conhecida como Lagoa Park, está situada na região central da cidade, tem aproximadamente 11,23 ha, grau de impermeabilização de aproximadamente 87% e possui uma lagoa de 71,5 m de diâmetro, com profundidade variável entre 1 e 3 metros e volume máximo de aproximadamente 3500 m³. As águas desta lagoa são descarregadas em uma rede de galerias de 561,28 m de comprimento (FIGURAS 6 e 7). Este formato da lagoa é fruto de mudanças ocorrida nos anos 90, com a retificação da lagoa e urbanização da área em torno dela, que a deixaram com 71,5 m de diâmetro e 1 metro de profundidade, em 2019 foi feita uma dragagem da lagoa deixando sua profundidade variando entre 1 e 3 metros.

Figura 6- Lagoa Central



Fonte: Acervo do Autor

Figura 7- Levantamento Planialtimétrico e Representação do Sistema de Drenagem



Fonte: Adaptado de ARCO PROJETO E CONSTRUÇÕES (2015)

6. METODOLOGIA

Objetivando a análise do desempenho do sistema de drenagem, propõe-se a utilização da modelagem hidrológica computacional para a simulação de diferentes cenários e a contraposição dessas simulações entre si. Sendo assim, pretendeu-se estudar o desempenho do sistema.

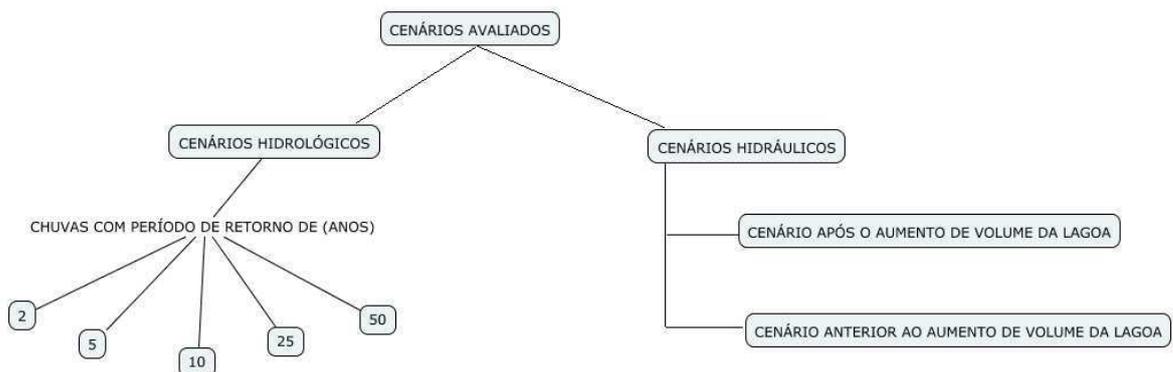
Para a realização das análises se fez necessário um modelo computacional de simulação hidrológica e hidráulica. Tendo em vista os argumentos elencados anteriormente, fez-se a escolha da utilização do SWMM.

Os dados de entrada básicos para a modelagem são:

- Uso e ocupação do solo;
- Parâmetros hidráulicos da rede de drenagem;
- Histórico da precipitação na região;
- Levantamento planialtimétrico da bacia;

Serão analisados diferentes eventos de chuvas intensas, levando em consideração períodos de retorno de 2, 5, 10, 15 e 50 anos com duração de 60 minutos. Além disso, também será avaliado os efeitos da reforma que aumentou a capacidade volumétrica da lagoa. Na FIGURA 8, encontram-se detalhados os cenários propostos.

Figura 8- Fluxograma dos cenários propostos.



Fonte: Acervo do Autor

6.1. Obtenção das chuvas de projeto

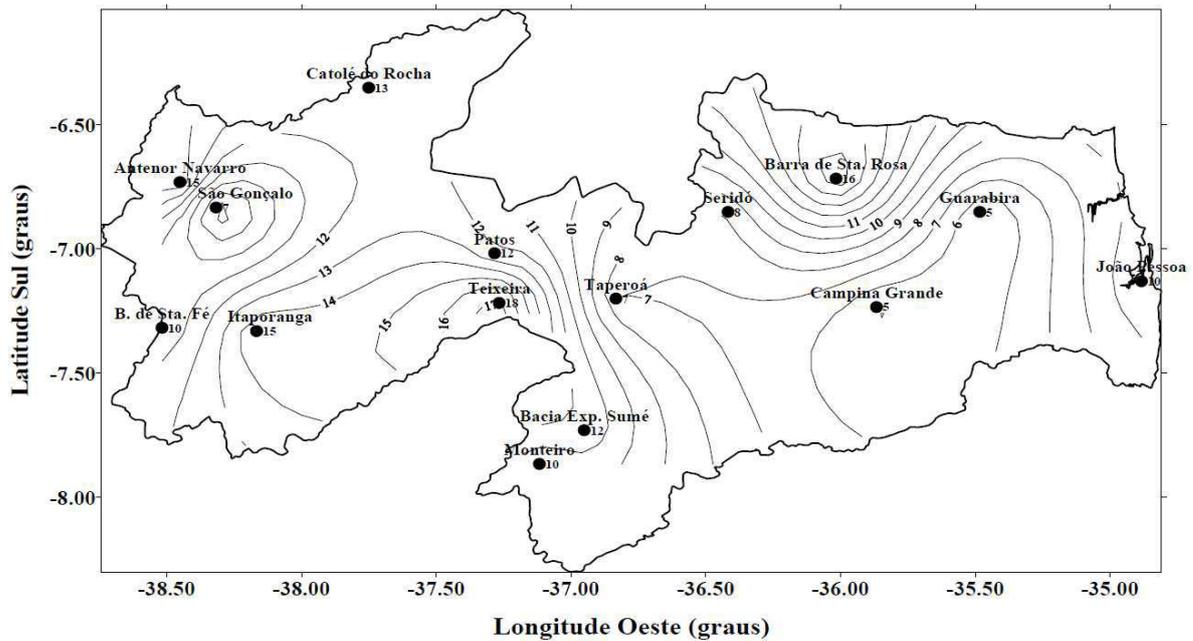
Devido a falta de dados pluviométricos detalhados da cidade de Remígio, optou-se pela obtenção da chuva de projeto através da equação IDF. Aragão et al (2000), definiram os coeficientes da equação para 16 pontos específicos e estratégicos da Paraíba.

$$i = \frac{k \cdot T^m}{(t + B)^n} \quad (1)$$

A equação (1) representa uma relação geral IDF, onde i representa a intensidade máxima em mm/h, T é o período de retorno em anos, t é a duração da chuva em minutos e o restante das incógnitas são constantes que variam de acordo com a localização.

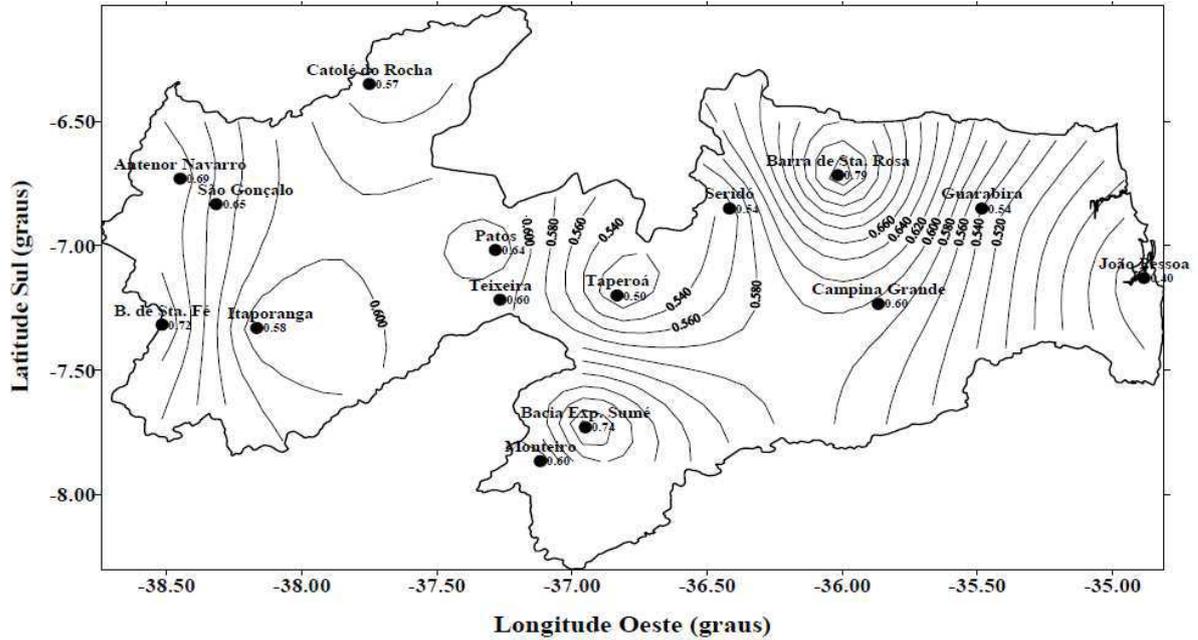
As constantes B , n , m e K podem ser obtidas através do contraponto entre a posição geográfica de interesse e as imagens a seguir.

Figura 9- Isolinhas coeficiente B



Fonte: Aragão et al (2000)

Figura 12- Isolinhas coeficiente n



Fonte: Aragão et al (2000)

Utilizando-se as FIGURAS 9, 10, 11 e 12 para obtenção respectivamente dos coeficientes B, m, K e n, definiu-se que a equação (2) representa a relação IDF para Remígio.

$$i = \frac{500 \cdot T^{0,25}}{(t + 5)^{0,64}} \quad (2)$$

As intensidades obtidas para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos através da equação (2), foram distribuídas através do método dos blocos alternados visando simular um cenário crítico da precipitação.

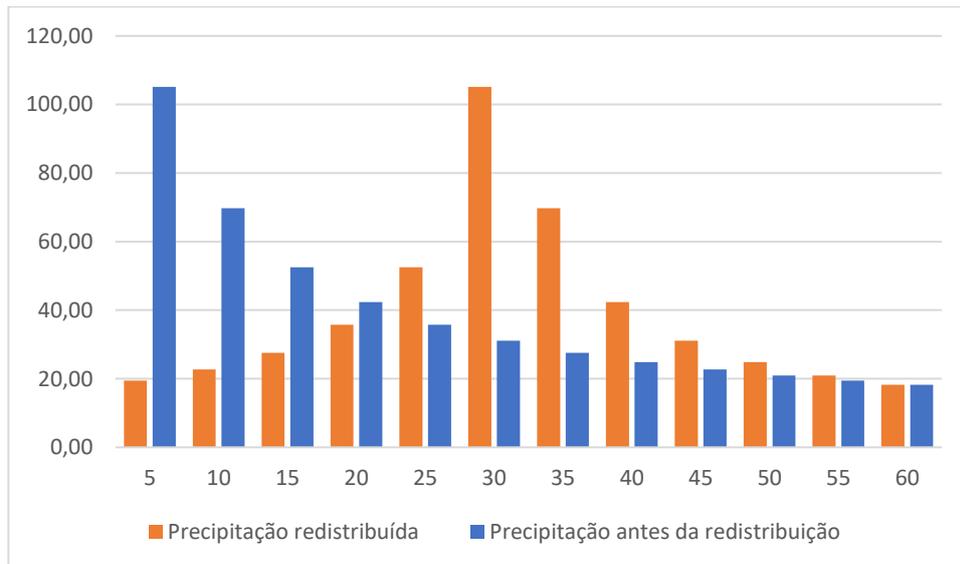
6.1.1. Chuva de projeto com período de retorno de 2 anos

Tabela 1- Precipitação com período de retorno de 2 anos

t(min)	Tr(anos)	P(mm)	Dp(mm)	Dp/t(mm/h)	t(min)	i (mm/h)
5	105,08	8,76	8,76	105,12	5	19,50
10	87,41	14,57	5,81	69,74	10	22,73
15	75,78	18,94	4,38	52,51	15	27,58
20	67,43	22,48	3,53	42,39	20	35,76
25	61,10	25,46	2,98	35,76	25	52,51
30	56,09	28,05	2,59	31,07	30	105,12
35	52,02	30,35	2,30	27,58	35	69,74
40	48,63	32,42	2,07	24,88	40	42,39
45	45,75	34,31	1,89	22,73	45	31,07
50	43,27	36,06	1,75	20,97	50	24,88
55	41,11	37,69	1,63	19,50	55	20,97
60	39,21	39,21	1,52	18,26	60	18,26

Fonte: Acervo do Autor

Gráfico 1- Distribuição da precipitação com (Tr=2) durante 60 minutos



Fonte: Acervo do Autor

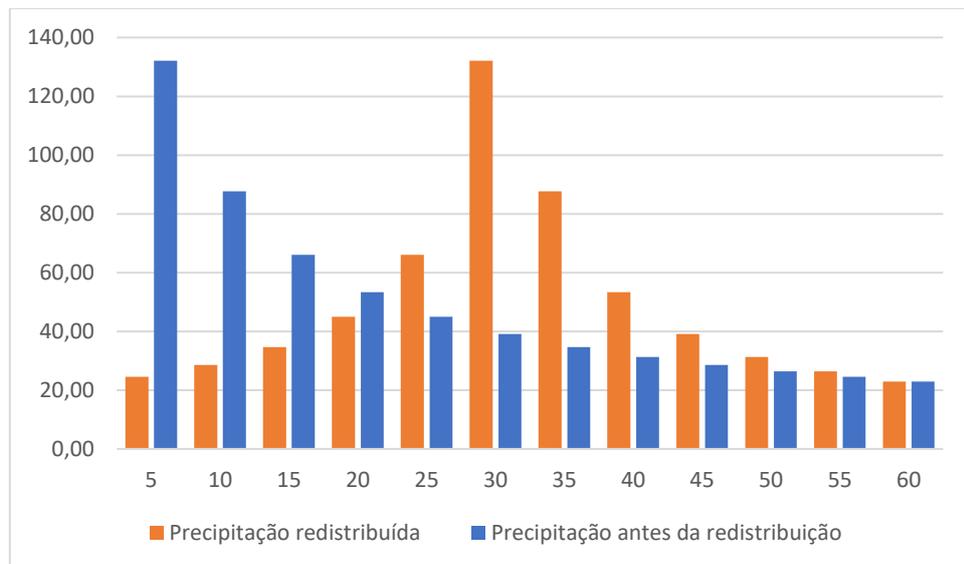
6.1.2. Chuva com período de retorno de 5 anos

Tabela 2-Precipitação com período de retorno de 5 anos

t(min)	Tr(anos)	P(mm)	Dp(mm)	Dp/t(mm/h)	t(min)	i (mm/h)
5	132,13	11,01	11,01	132,12	5	24,52
10	109,91	18,32	7,31	87,69	10	28,58
15	95,29	23,82	5,50	66,03	15	34,68
20	84,79	28,26	4,44	53,31	20	44,96
25	76,83	32,01	3,75	44,96	25	66,03
30	70,53	35,27	3,26	39,07	30	132,12
35	65,41	38,16	2,89	34,68	35	87,69
40	61,15	40,76	2,61	31,29	40	53,31
45	57,53	43,15	2,38	28,58	45	39,07
50	54,41	45,34	2,20	26,37	50	31,29
55	51,69	47,39	2,04	24,52	55	26,37
60	49,30	49,30	1,91	22,96	60	22,96

Fonte: Acervo do Autor

Gráfico 2- Distribuição da precipitação com (Tr=5) durante 60 minutos



Fonte: Acervo do Autor

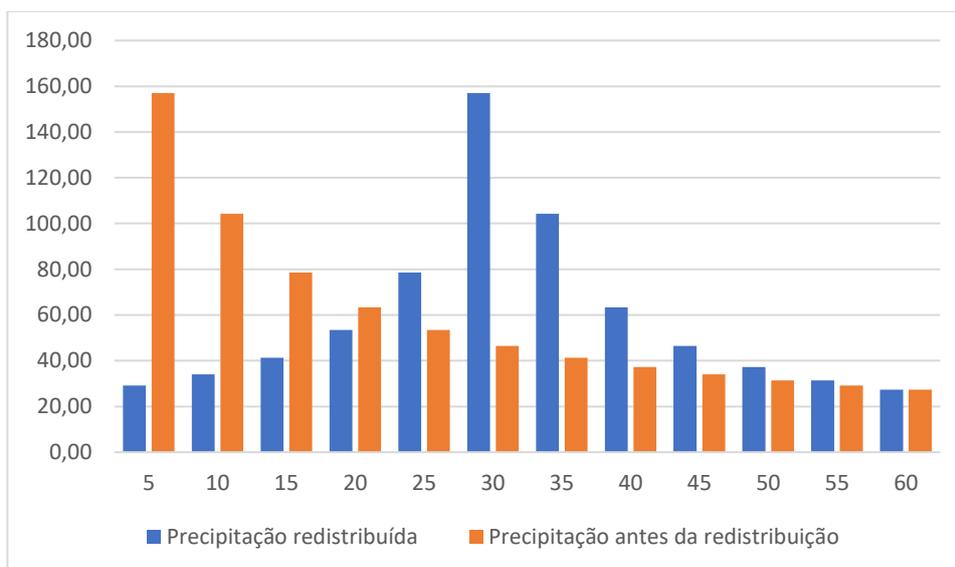
6.1.3. Chuva com período de retorno de 10 anos

Tabela 3-Precipitação com período de retorno de 10 anos

t(min)	Tr(anos)	P(mm)	Dp(mm)	Dp/t(mm/h)	t(min)	i (mm/h)
5	157,13	13,09	13,09	157,08	5	29,16
10	130,71	21,79	8,69	104,29	10	33,99
15	113,32	28,33	6,54	78,52	15	41,25
20	100,84	33,61	5,28	63,40	20	53,47
25	91,36	38,07	4,46	53,47	25	78,52
30	83,88	41,94	3,87	46,46	30	157,08
35	77,79	45,38	3,44	41,25	35	104,29
40	72,72	48,48	3,10	37,21	40	63,40
45	68,41	51,31	2,83	33,99	45	46,46
50	64,71	53,92	2,61	31,36	50	37,21
55	61,48	56,35	2,43	29,16	55	31,36
60	58,63	58,63	2,28	27,30	60	27,30

Fonte: Acervo do Autor

Gráfico 3- Distribuição da precipitação com (Tr=10) durante 60 minutos



Fonte: Acervo do Autor

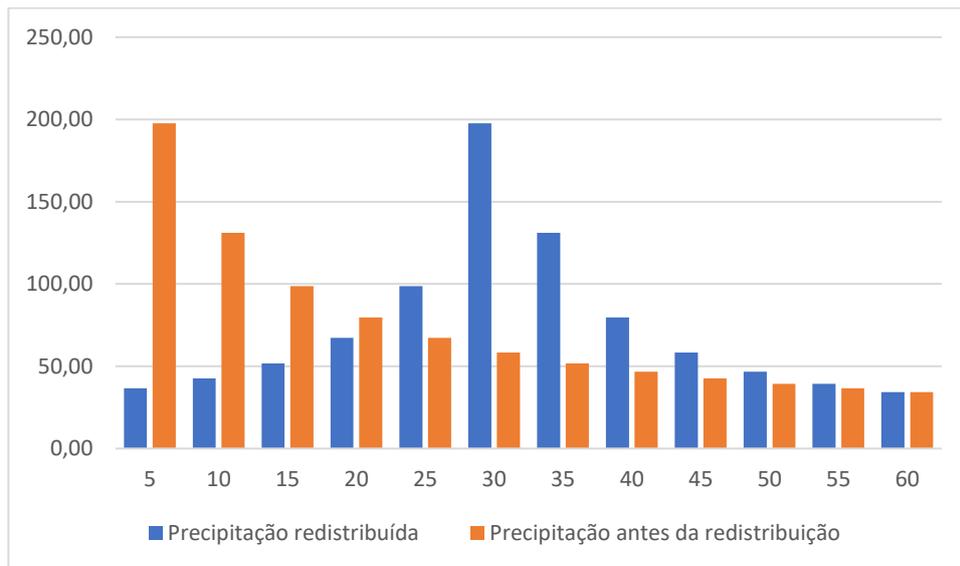
6.1.4. Precipitação com período de retorno de 25 anos

Tabela 4-Precipitação com período de retorno de 25 anos

t(min)	Tr(anos)	P(mm)	Dp(mm)	Dp/t(mm/h)	t(min)	i (mm/h)
5	197,59	16,47	16,47	197,64	5	36,67
10	164,36	27,39	10,93	131,13	10	42,74
15	142,49	35,62	8,23	98,74	15	51,86
20	126,79	42,26	6,64	79,72	20	67,23
25	114,88	47,87	5,60	67,23	25	98,74
30	105,47	52,74	4,87	58,42	30	197,64
35	97,81	57,06	4,32	51,86	35	131,13
40	91,44	60,96	3,90	46,79	40	79,72
45	86,02	64,52	3,56	42,74	45	58,42
50	81,37	67,80	3,29	39,43	50	46,79
55	77,30	70,86	3,06	36,67	55	39,43
60	73,72	73,72	2,86	34,33	60	34,33

Fonte: Acervo do Autor

Gráfico 4- Distribuição da precipitação com (Tr=25) durante 60 minutos



Fonte: Acervo do Autor

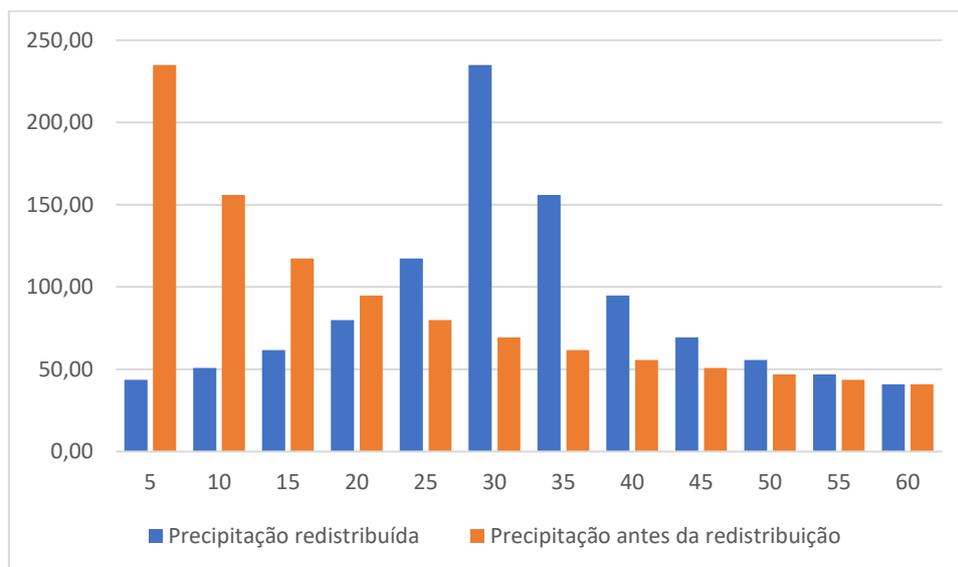
6.1.5. Precipitação com período de retorno de 50 anos

Tabela 5-Precipitação com período de retorno de 50 anos

t(min)	Tr(anos)	P(mm)	Dp(mm)	Dp/t(mm/h)	t(min)	i (mm/h)
5	234,97	19,58	19,58	234,96	5	43,61
10	195,46	32,58	13,00	155,94	10	50,83
15	169,45	42,36	9,79	117,42	15	61,68
20	150,78	50,26	7,90	94,80	20	79,96
25	136,62	56,92	6,66	79,96	25	117,42
30	125,43	62,71	5,79	69,48	30	234,96
35	116,32	67,85	5,14	61,68	35	155,94
40	108,74	72,49	4,64	55,64	40	94,80
45	102,30	76,73	4,24	50,83	45	69,48
50	96,76	80,63	3,91	46,89	50	55,64
55	91,93	84,27	3,63	43,61	55	46,89
60	87,67	87,67	3,40	40,83	60	40,83

Fonte: Acervo do Autor

Gráfico 5-Distribuição da precipitação com (Tr=50) durante 60 minutos



Fonte: Acervo do Autor

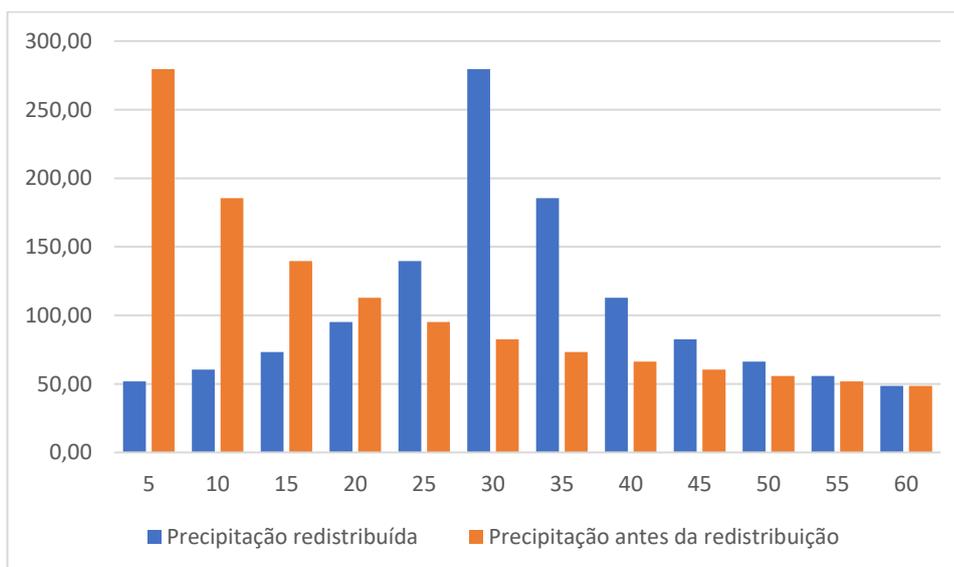
6.1.6. Precipitação com período de retorno de 100 anos

Tabela 6-Precipitação com período de retorno de 100 anos

t(min)	Tr(anos)	P(mm)	Dp(mm)	Dp/t(mm/h)	t(min)	i (mm/h)
5	279,43	23,29	23,29	279,48	5	51,86
10	232,44	38,74	15,45	185,45	10	60,44
15	201,51	50,38	11,64	139,64	15	73,35
20	179,31	59,77	9,39	112,73	20	95,08
25	162,47	67,69	7,92	95,08	25	139,64
30	149,16	74,58	6,89	82,62	30	279,48
35	138,33	80,69	6,11	73,35	35	185,45
40	129,31	86,21	5,51	66,17	40	112,73
45	121,66	91,24	5,04	60,44	45	82,62
50	115,07	95,89	4,65	55,76	50	66,17
55	109,32	100,21	4,32	51,86	55	55,76
60	104,26	104,26	4,05	48,55	60	48,55

Fonte: Acervo do Autor

Gráfico 6- Distribuição da precipitação com (Tr=100) durante 60 minutos



Fonte: Acervo do Autor

6.2. Representação das características da área de estudo

Foi usado como base da modelagem da área o Projeto Técnico de Drenagem da Cidade de Remígio de autoria da empresa ARCO PROJETOS E CONSTRUÇÕES LTDA, na escala 1:1.000, de agosto de 2015, cedido, em meio eletrônico, pela Prefeitura Municipal de Remígio. As imagens aéreas da área foram obtidas através do software Google Earth Pro, versão 7.3, para a cidade de Remígio/PB, com data, para as imagens, de 17 de novembro de 2018.

A modelagem no SWMM é pautada em três elementos principais: bacias, nós e condutos. As características de cada um desses elementos foram definidas através de visitas in loco e da análise do material disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Remígio.

6.2.1. Bacias

As bacias neste trabalho foram definidas através do particionamento das quadras existentes e pela consideração de que as ruas também são bacias e devem ser divididas de acordo com as suas respectivas declividades.

As bacias podem ser caracterizadas através dos parâmetros listados na Tabela 7.

Tabela 7- Parâmetros para caracterização das bacias

Parâmetro	Unidade
Área	ha
Largura	M
Declividade	%
Áreas impermeáveis	%
Coefficiente de rugosidade de Manning	-
Capacidade de armazenamento em depressões	mm
Áreas impermeáveis não conectadas	%

Fonte: Adaptado de COLLODEL (2009).

As áreas, perímetros, declividades e larguras das bacias foram obtidas através do Projeto Técnico de Drenagem da Cidade de Remígio. A porcentagem de áreas impermeáveis foi estimada através do Google Earth Pro e os coeficientes de rugosidade de Manning foram adotados partindo-se de referências na literatura, como as expostas na Tabela 8.

Tabela 8- Coeficiente de rugosidade de Manning para diferentes superfícies

Superfície	N
Asfalto liso	0,011
Concreto liso	0,012
Revestimento de concreto comum	0,013
Madeira	0,014
Tijolo com argamassa de cimento	0,014
Ferro fundido	0,015
Tube de metal corrugado	0,024
Superfície cimentada	0,024
Solos não-cultiváveis	0,050
Solos cultiváveis	0,06-0,17
Solos com vegetação natural	0,04-0,8

Fonte: Adaptado de NÓBREGA (2012).

6.2.2. Condutos

Os elementos responsáveis pela condução das vazões escoadas de um ponto a outro do sistema são chamados de condutos e geralmente constituídos como tubulações ou canais. A Tabela 9 apresenta os parâmetros para a caracterização dos condutos.

Tabela 9- Parâmetros de caracterização dos condutos

Parâmetros	Unidades
Comprimento	M
Declividade	m/m
Coeficiente de rugosidade	-
Seção transversal	-
Vazão de base	m ³ /s
Offset de saída	m

Fonte: Adaptado de NÓBREGA (2012).

Os parâmetros de comprimento, declividade e seção transversal utilizados no presente trabalho foram obtidos através do Projeto Técnico de Drenagem da Cidade de Remígio. O coeficiente de rugosidade de Manning foi obtido através de consultas literárias como exemplificada na Tabela 8.

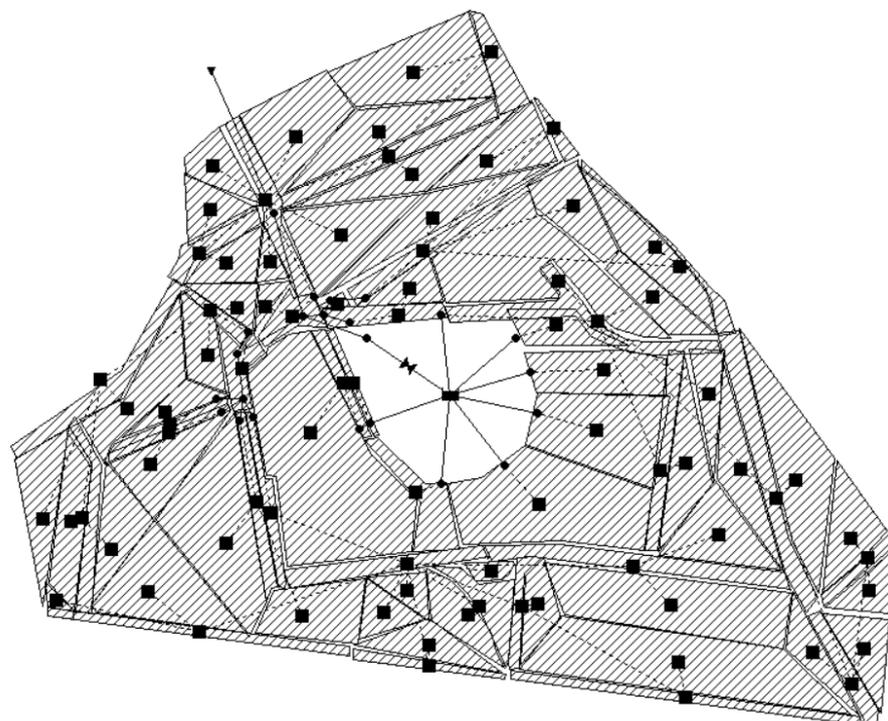
6.2.3. Nós

Os nós são elementos do sistema de drenagem que conectam diferentes trechos entre si. Os principais parâmetros para a caracterização dos nós são a cota do radier da estrutura física representada pelo nó e a profundidade do radier em relação ao terreno, ambos expressos em metros. A sub-bacia em estudo teve na sua modelagem a inserção de 23 nós dentre os quais 15 bocas de lobo, 7 poços de visita e um orifício de saída da lagoa.

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de modelagem levou em consideração os dois cenários propostos que na sua descrição tem em comum o fato de estarem representados por 84 bacias, 27 nós e uma unidade de armazenamento, como mostrado na FIGURA 13. Entre si eles se diferenciam pelas características das bacias e da unidade de armazenamento.

Figura 13- Representação da área de estudo projetada no SWMM

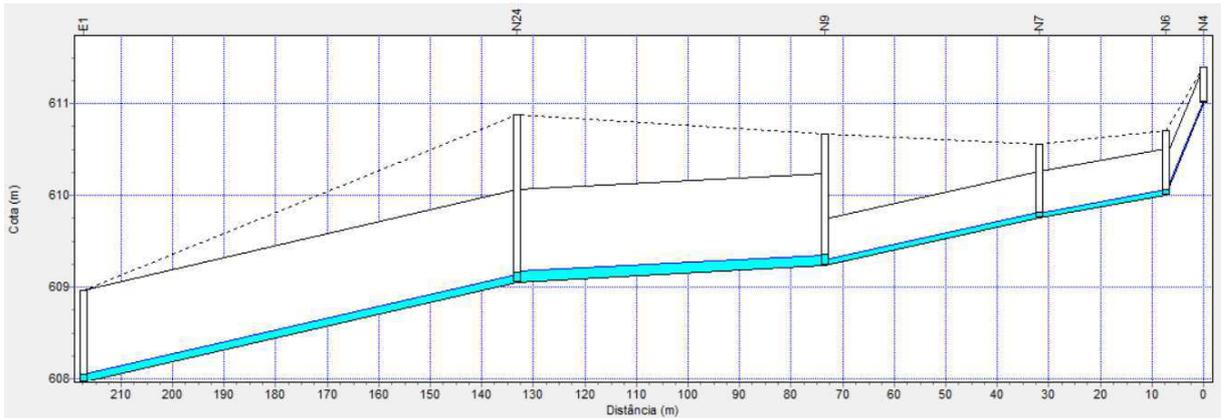


Fonte: Acervo do Autor

7.1. Cenário1 – Situação atual

Para o uma chuva de período de retorno de 2 anos e duração de chuva de 60 minutos o sistema apresentou um comportamento satisfatório, sem nenhuma sobrecarga nos nós nem tampouco nos condutos como mostra a FIGURA 13.

Figura 14- Comportamento de trecho da rede de drenagem entre os nós N4 e E1 (Tr=2)



A unidade de armazenamento atingiu um volume de 2500 m³ o que não provocou vazão alguma no orifício a jusante como mostram as FIGURAS 15 e 16.

Figura 15- Volume acumulado na unidade de armazenamento (Tr=2)

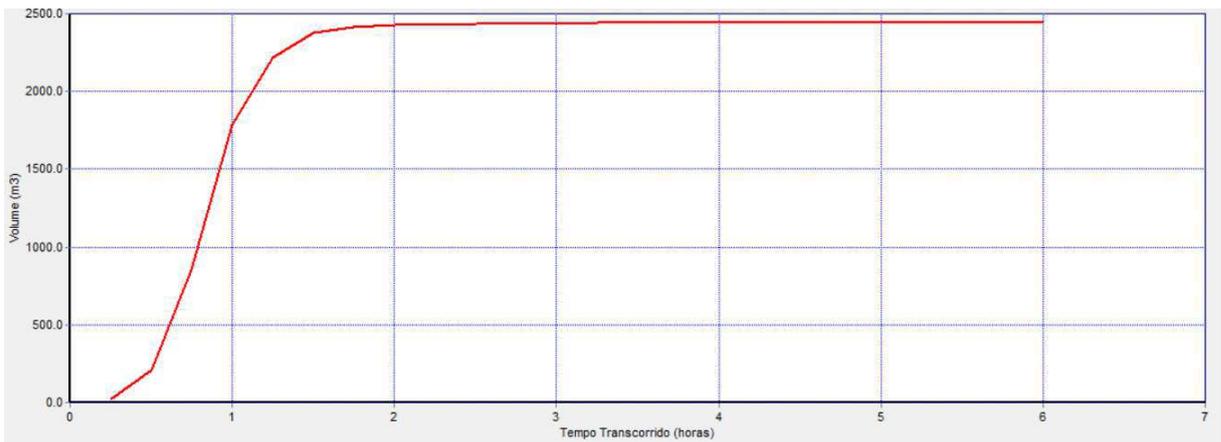
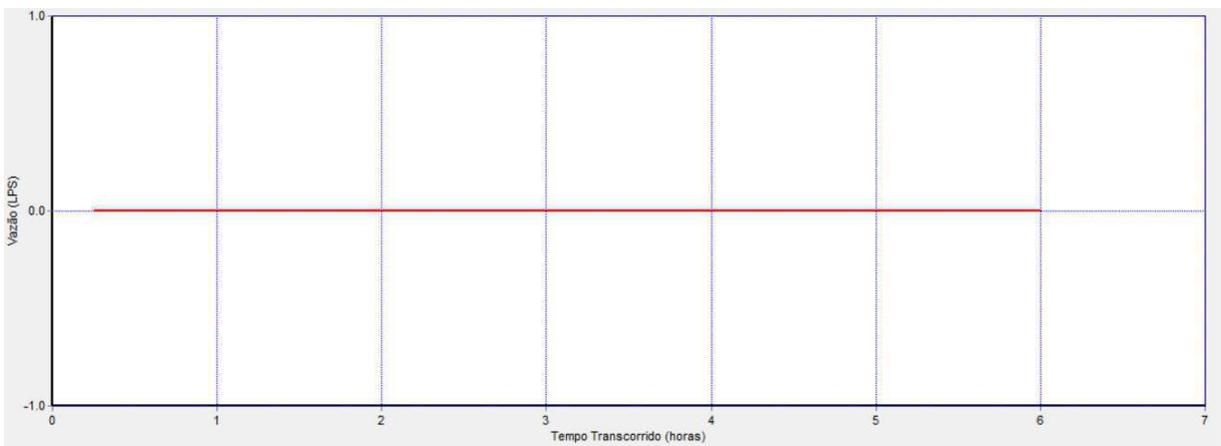
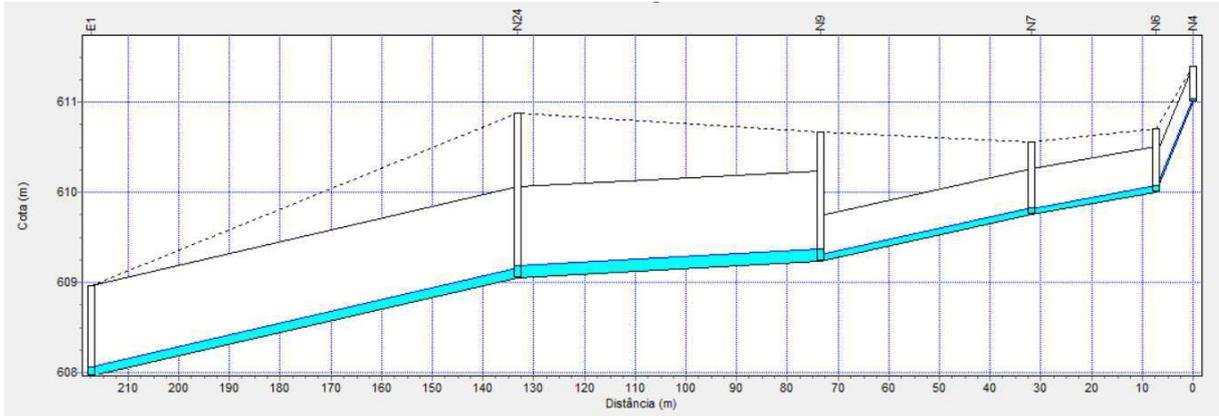


Figura 16- Vazão no orifício após precipitação (Tr= 2 anos)



Considerando uma chuva de período de retorno de 5 anos e duração de chuva de 60 minutos o sistema apresentou sobrecarga nos nós N7 e N9 e no trecho T8 que os interliga d como mostra a FIGURA 17.

Figura 17- Comportamento do sistema no trecho entre os nós N4 e E1 (Tr=5)



A unidade de armazenamento atingiu um volume de 3073m³ o que não provocou vazão alguma no orifício a jusante como mostram as FIGURAS 18 e 19.

Figura 18- Volume acumulado na unidade de armazenamento (Tr=5)

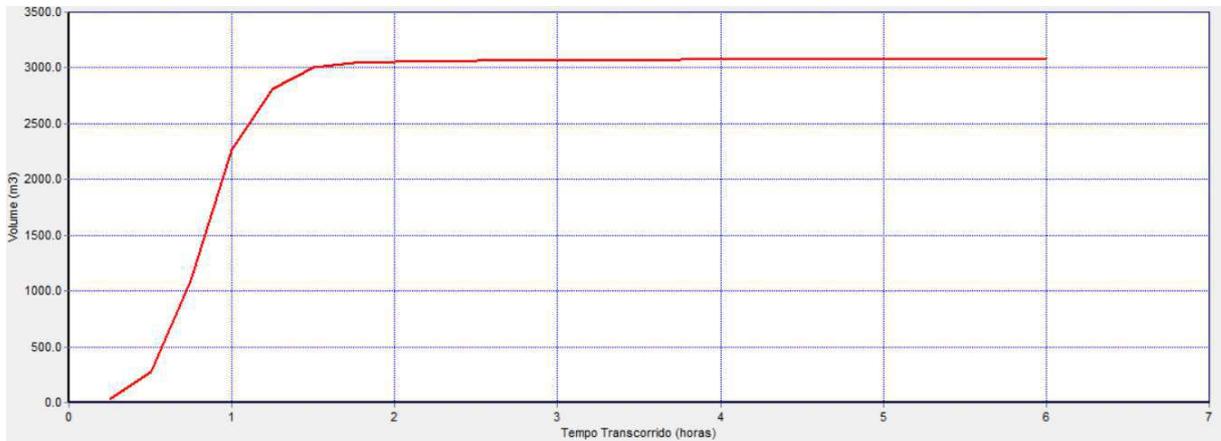
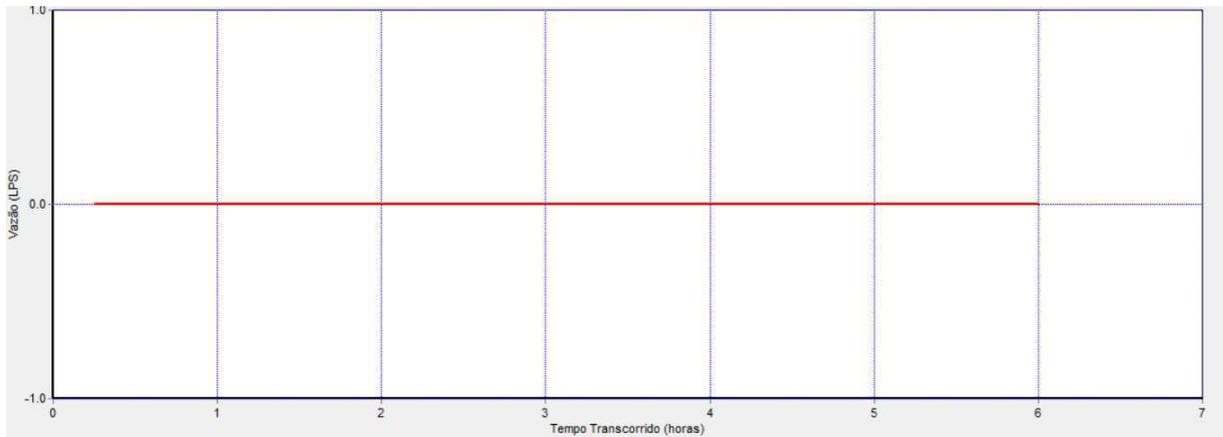
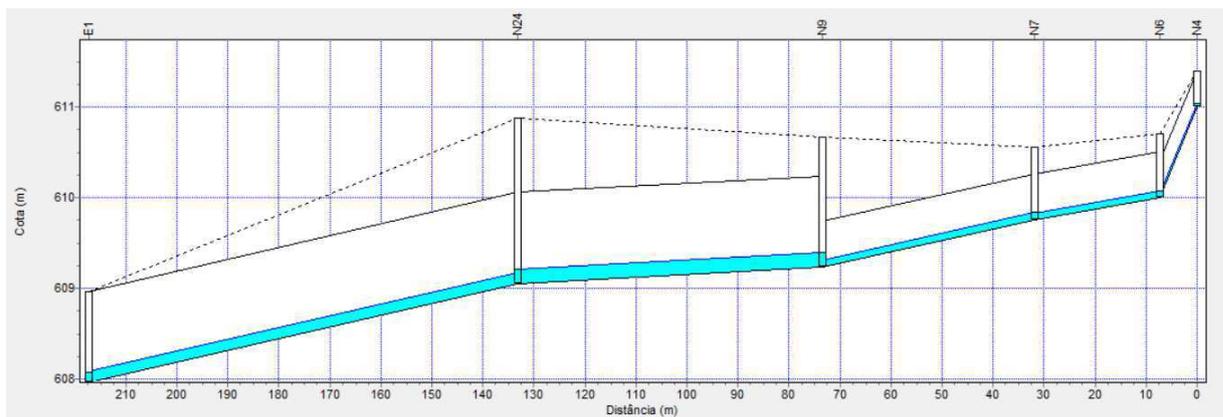


Figura 19- Vazão no orifício (Tr=5)



Considerando uma chuva de período de retorno de 10 anos e duração de chuva de 60 minutos o sistema apresentou sobrecarga nos nós N6, N7, N9 e N24 e nos condutos T6, T8 E T32 que os interligam como mostra a Figura 20.

Figura 20- Comportamento do sistema entre os nós N4 e N9 (Tr=10)



A unidade de armazenamento atingiu um volume de 3491m³ o que provocou uma vazão de 140 L/s no orifício a jusante como mostram as FIGURAS 21 e 22.

Figura 21- Volume na unidade de armazenamento (Tr=10)

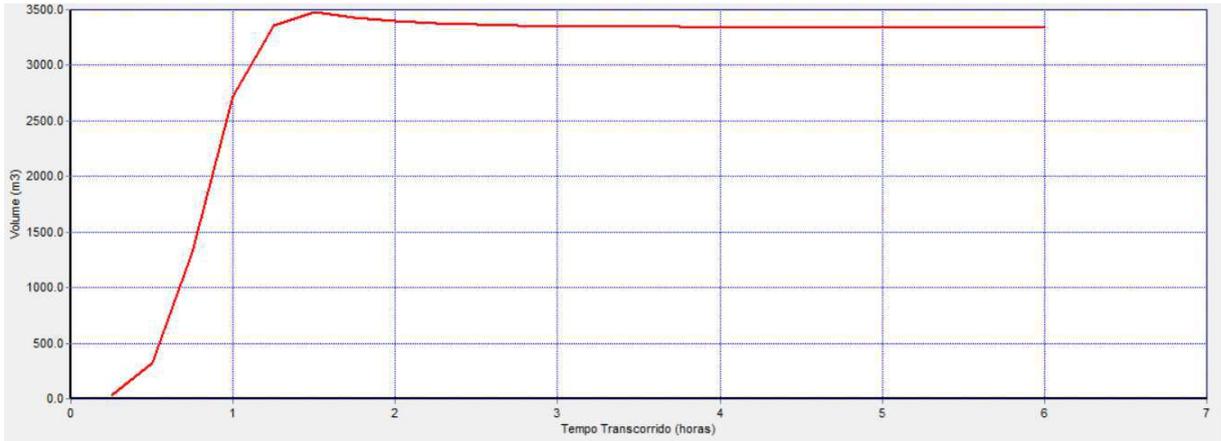
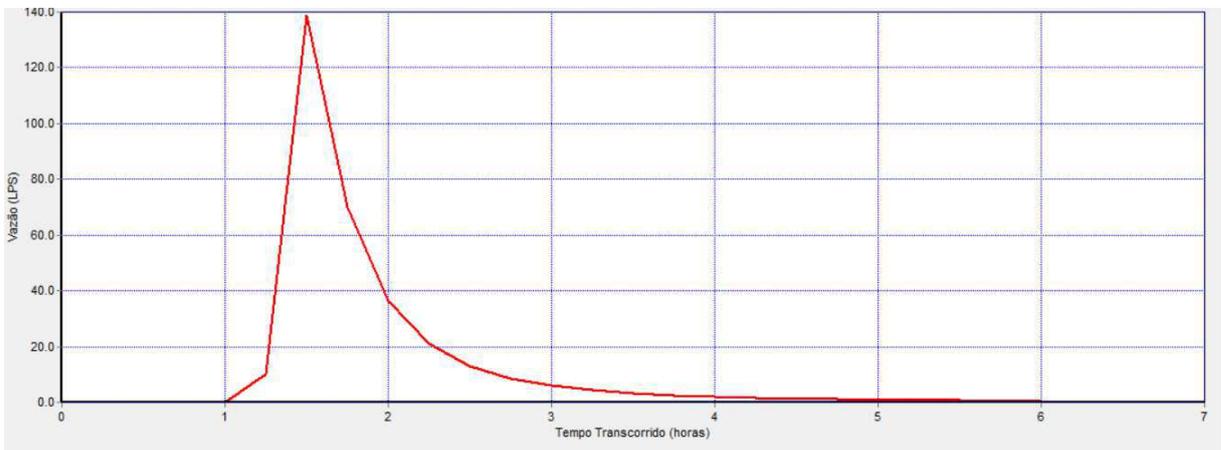
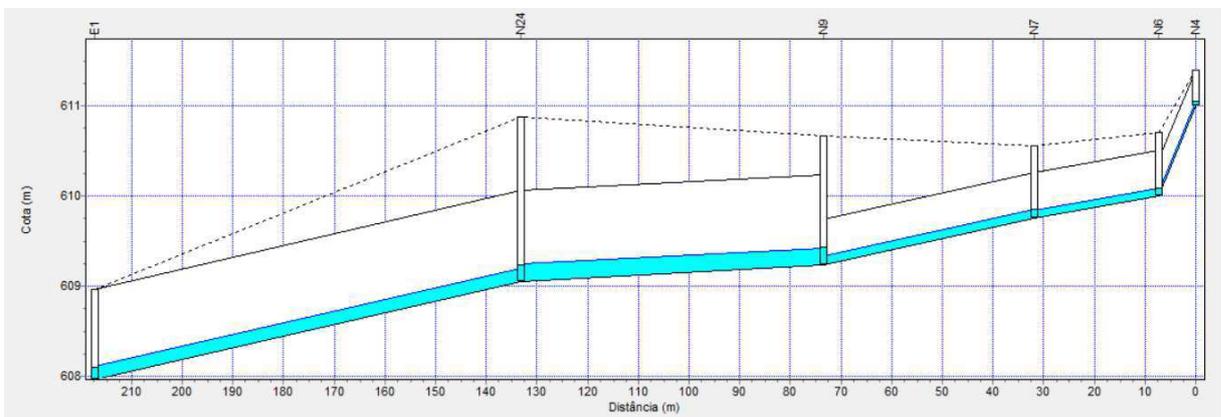


Figura 22- Vazão no orifício (Tr=10)



Considerando uma chuva de período de retorno de 25 anos e duração de chuva de 60 minutos o sistema apresentou sobrecarga nos nós N6, N7, N9, N13, N23 e N24 e nos trechos T6, T8, T12, T19 e T32 como mostra a FIGURA 23.

Figura 23- Comportamento do sistema entre os nós N4 e E1



A unidade de armazenamento atingiu seu volume máximo de 3540 m³ e transbordou um volume de 411,3 m³, a vazão do orifício a jusante foi de 340,75 L/s como mostram as FIGURAS 24 e 25.

Figura 24- Volume na unidade de armazenamento (Tr=25)

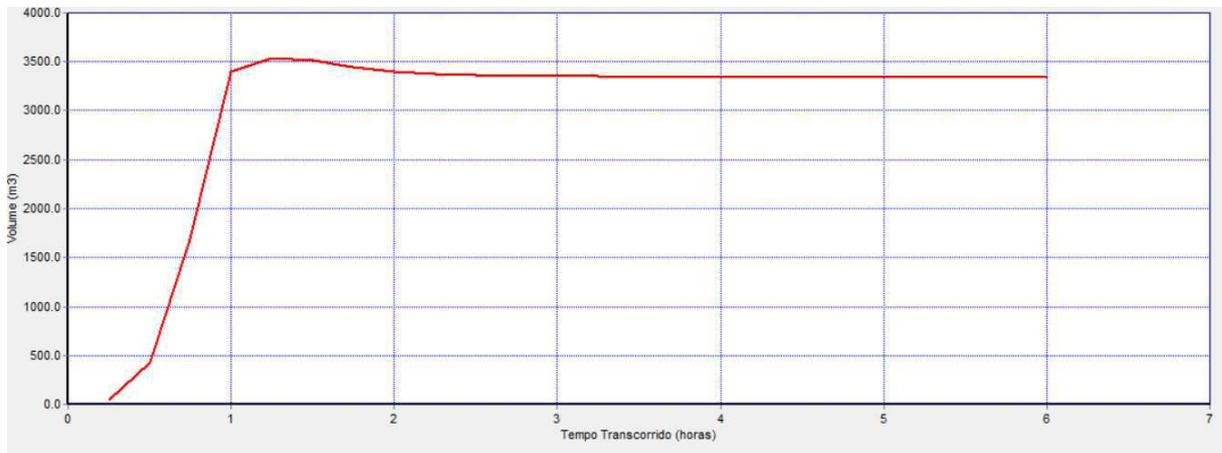
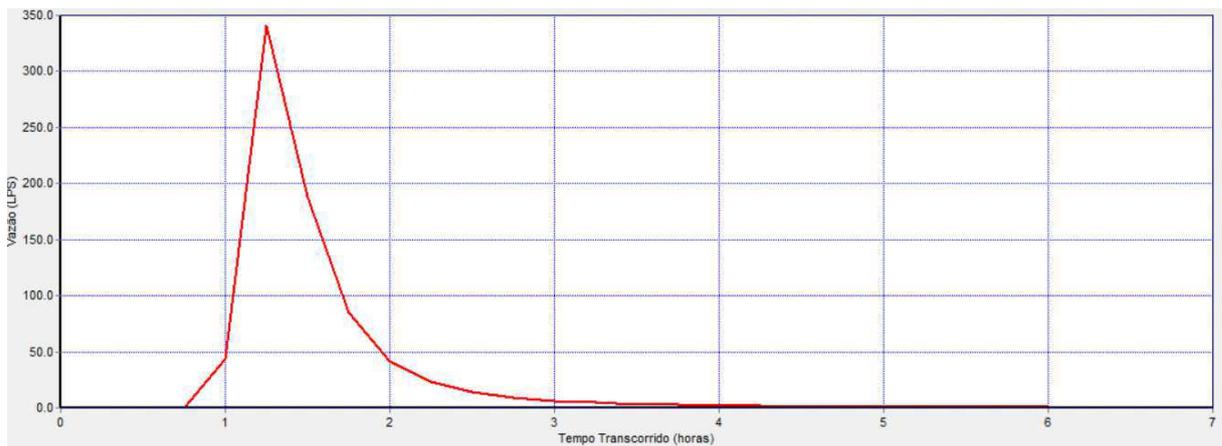
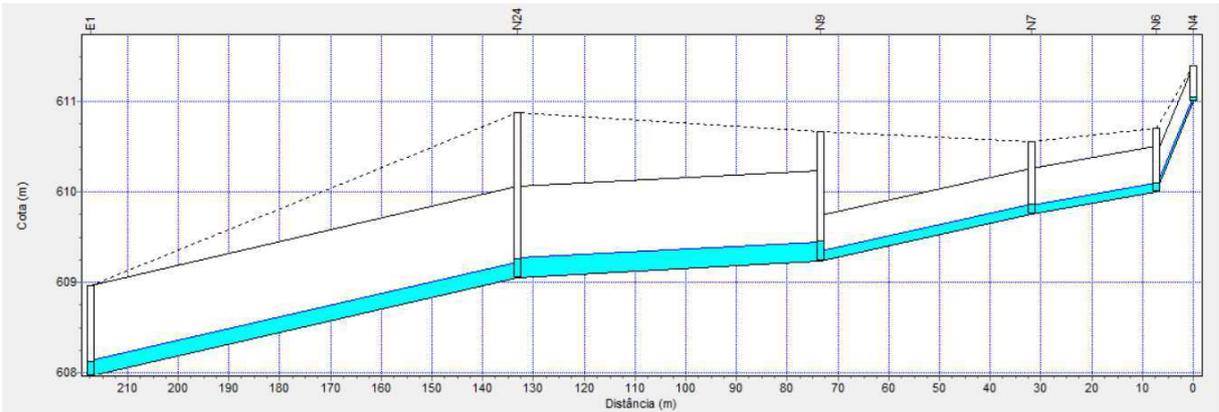


Figura 25- Vazão no orifício (Tr=25)



Considerando uma chuva de período de retorno de 50 anos e duração de chuva de 60 minutos o sistema apresentou sobrecargas nos mesmos nós e trechos que a simulação anterior como mostram as FIGURA 26.

Figura 26- Comportamento do sistema entre os nós N4 e E1



A unidade de armazenamento atingiu seu volume máximo de 3540 m³ e transbordou um volume de 956,98m³, a vazão do orifício a jusante foi de 340,75 L/s como mostram as FIGURAS 27 e 28.

Figura 27- Volume na unidade de armazenamento (Tr=50)

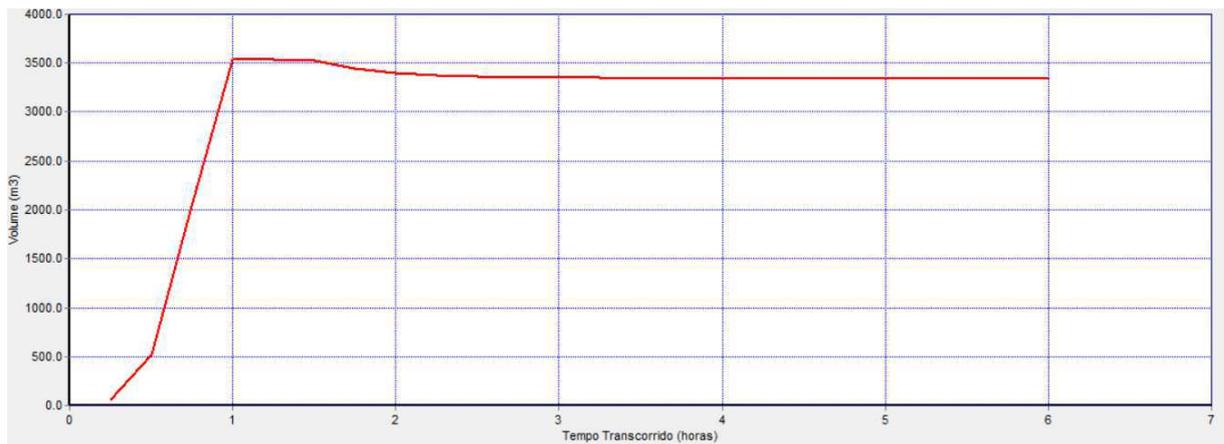
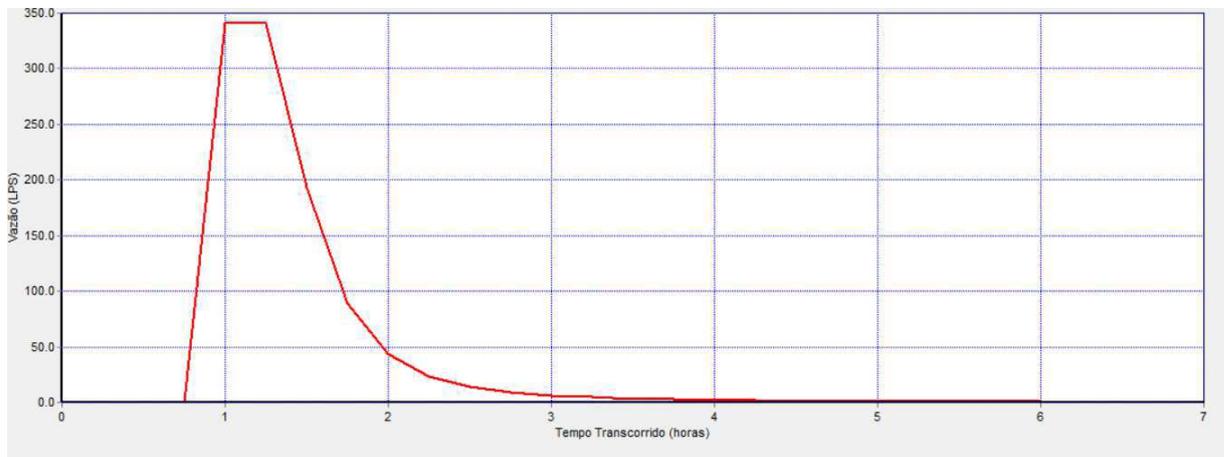


Figura 28- Vazão no orifício (Tr=50)



As simulações para diferentes intensidades de precipitação mostraram um comportamento coerente e insatisfatório do sistema. Os nós e condutos que apresentam sobrecarga possuem o mesmo início e evoluem para jusante de acordo com o aumento da intensidade.

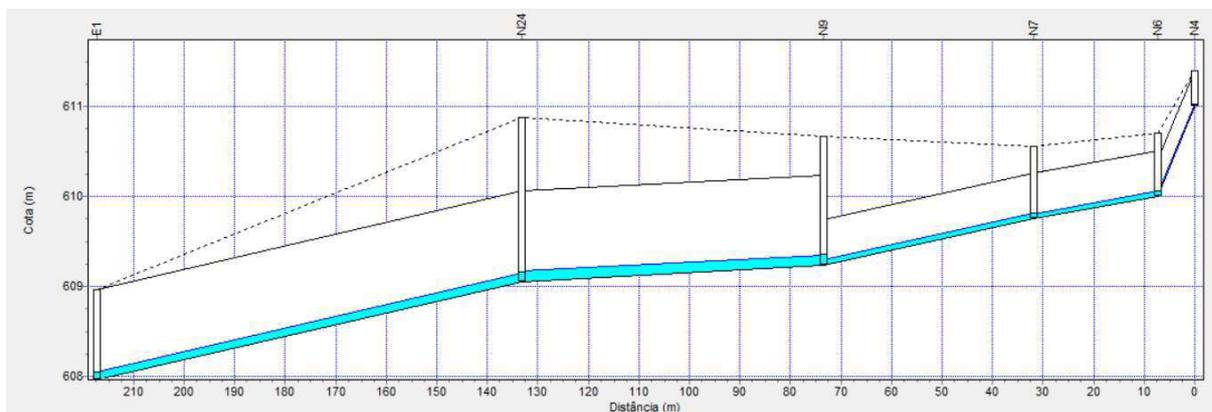
É possível observar que para chuvas com período de retorno de até 5 anos a unidade de armazenamento não atinge a cota do orifício e tampouco transborda, há de se considerar que a simulação supõe o reservatório sempre seco e que por esse motivo uma sucessão de pequenas chuvas antes que o mesmo perca totalmente seu volume pode causar o transbordo.

Os resultados obtidos através das simulações com chuvas de período de retorno de 25 e 50 anos, mostram que o sistema se comporta quase todo sobrecarregado e com a unidade de armazenamento transbordando em menos de 60 minutos.

7..2. Cenário 2- Situação anterior a ampliação da lagoa

Para o uma chuva de período de retorno de 2 anos e duração de chuva de 60 minutos o sistema não apresentou sobrecarga nos nós nem tampouco nos condutos como mostra a Figura 29.

Figura 29-Comportamento do sistema entre os nós N4 e E1 no cenário antigo (Tr=2)



A unidade de armazenamento atingiu um volume de 1990 m³ o que provoca no orifício a jusante vazão de 382.35l/s como mostram as FIGURAS 30 e 31.

Figura 30- Volume na unidade de armazenamento no cenário antigo ($t_r=2$)

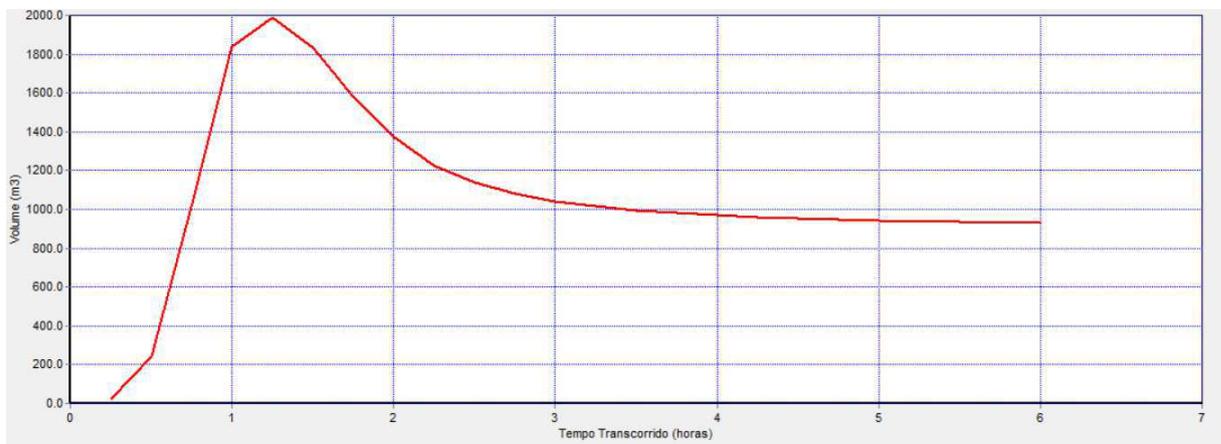
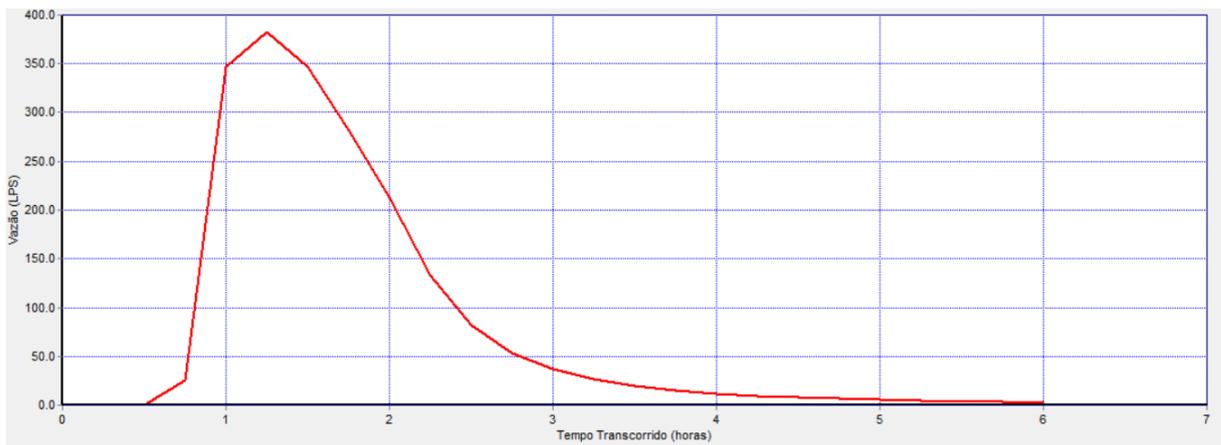
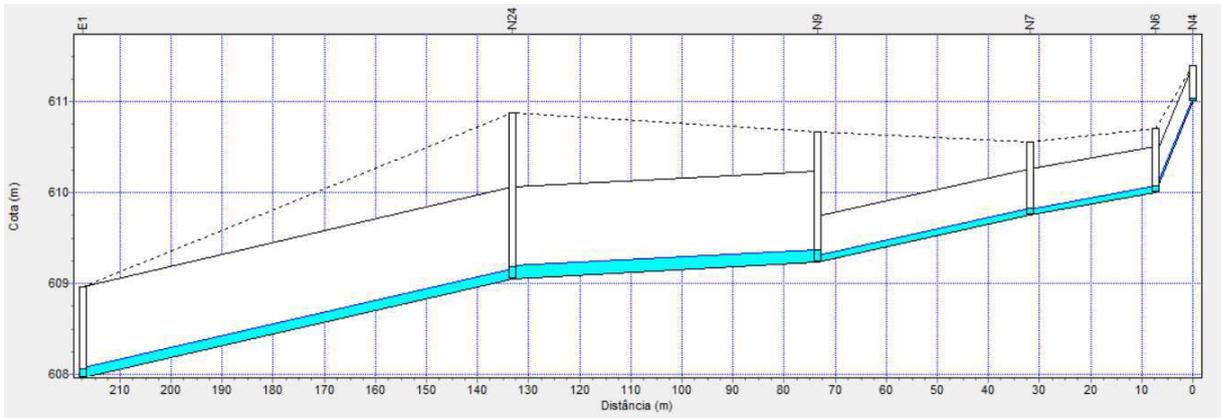


Figura 31- Vazão no orifício no cenário antigo ($T_r=2$)



Para o uma chuva de período de retorno de 5 anos e duração de chuva de 60 minutos o sistema apresentou sobrecarga nos nós N7 e N9, e nos condutos T8 e T32 como mostra a Figura 32.

Figura 32- Comportamento do sistema entre os nós N4 e E1 no cenário antigo (Tr=5)



A unidade de armazenamento atingiu um volume de 2007 m³ e transbordou um volume de 537 m³ e provocou vazão a jusante de 386,37 l/s como mostram as FIGURAS 33 e 34.

Figura 33- Volume na unidade de armazenamento no cenário antigo (Tr=5)

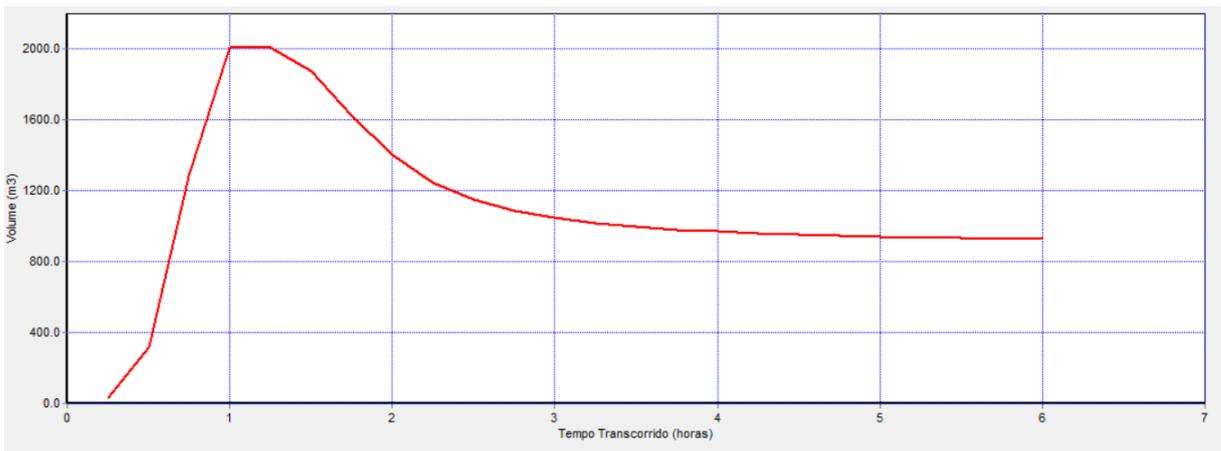
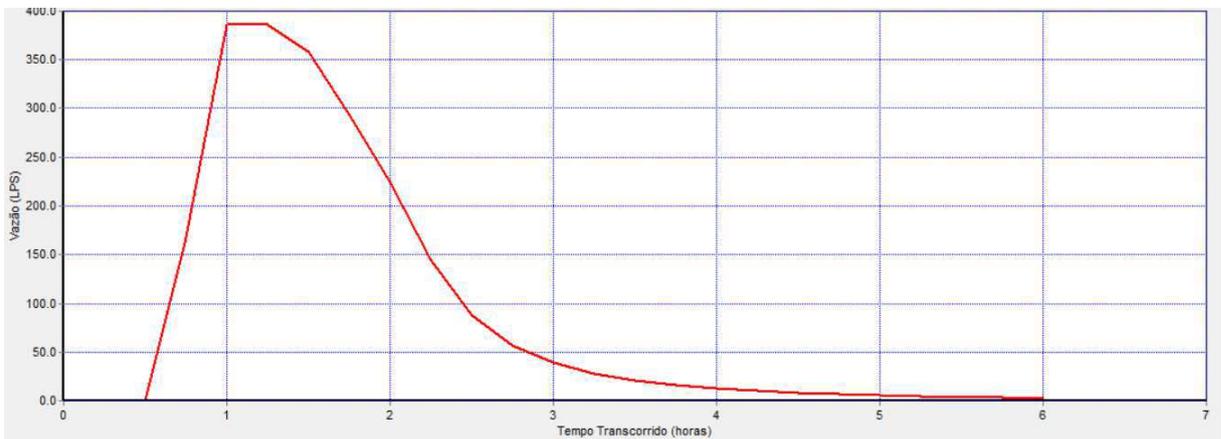
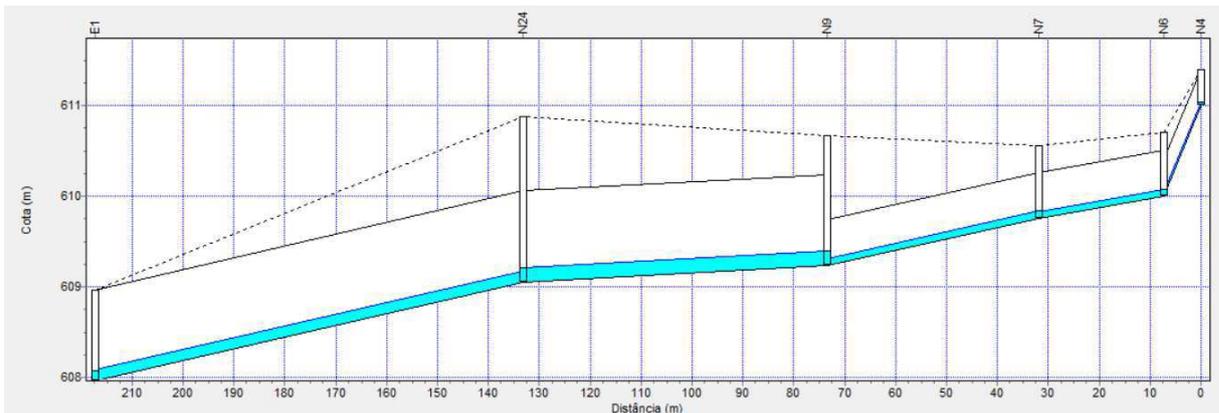


Figura 34- Vazão no orifício no cenário antigo (Tr=5)



Para o uma chuva de período de retorno de 10 anos e duração de chuva de 60 minutos o sistema apresentou sobrecarga nos nós N6, N7, N9 e N24 e nos trechos T6, T8 e T32, como mostra a FIGURA 35.

Figura 35- Comportamento do sistema entre os nós N4 e E1 no cenário antigo (Tr=10)



A unidade de armazenamento atingiu um volume de 2007 m³ e transbordou um volume de 1106 m³ e provocou vazão a jusante de 386,37 l/s como mostram as FIGURAS 36 e 37.

Figura 36-Volume na unidade de armazenamento no cenário antigo (Tr=10)

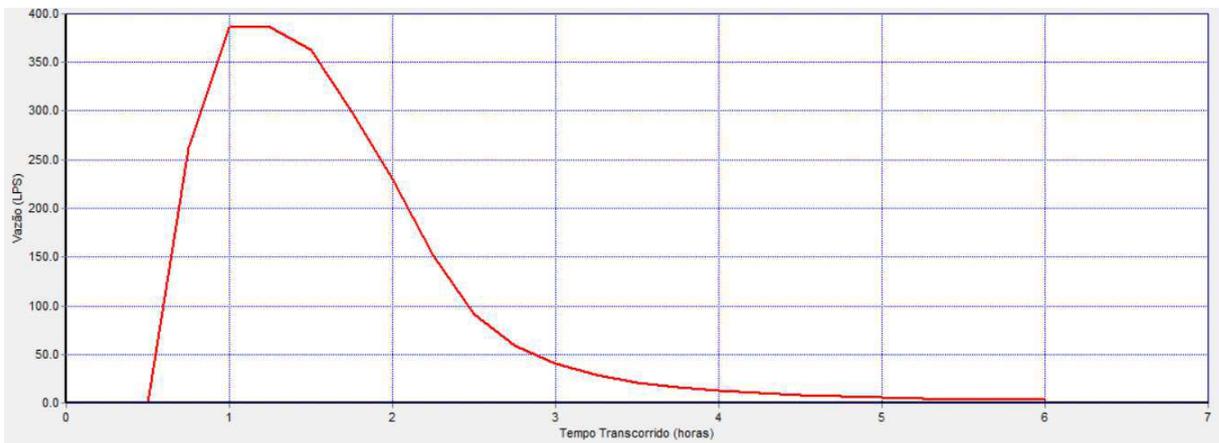
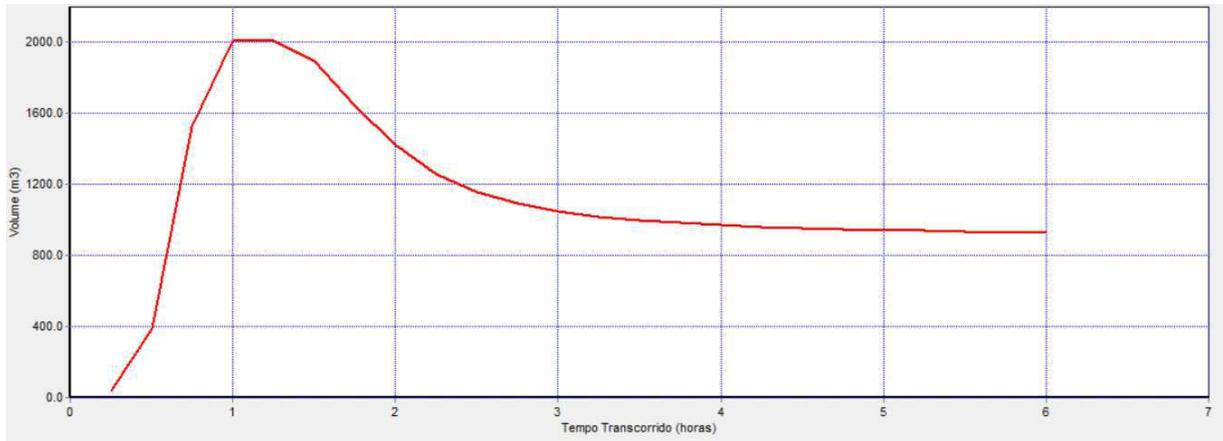


Figura 37-Vazão no orifício no cenário antigo (Tr=10)



Para o uma chuva de período de retorno de 25 anos e duração de chuva de 60 minutos o sistema apresentou sobrecarga nos nós N6, N7, N9, N13, N23 e N24 e nos condutos T6, T8, T12, T19 e T32 como mostram as Figuras 38 e 39.

Figura 38- Comportamento do sistema entre os nós N4 e E1 no cenário antigo (Tr=25)

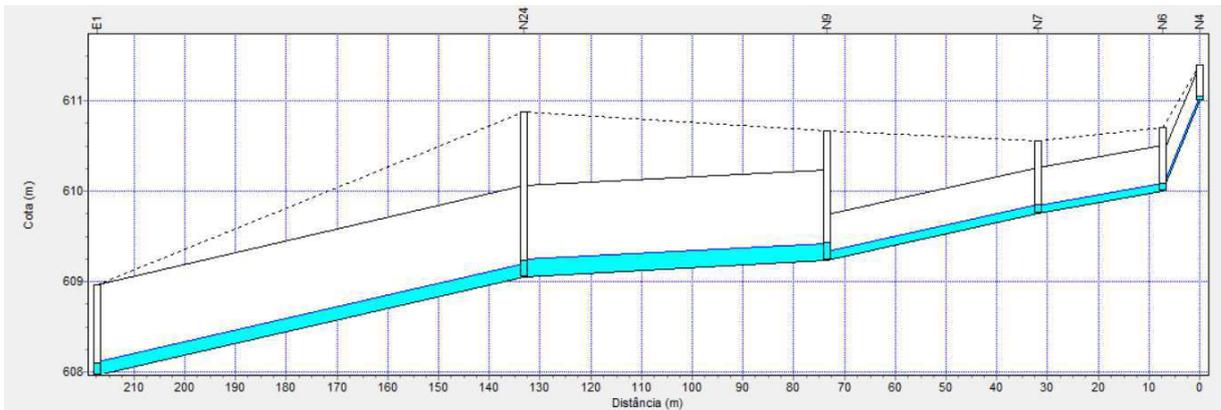
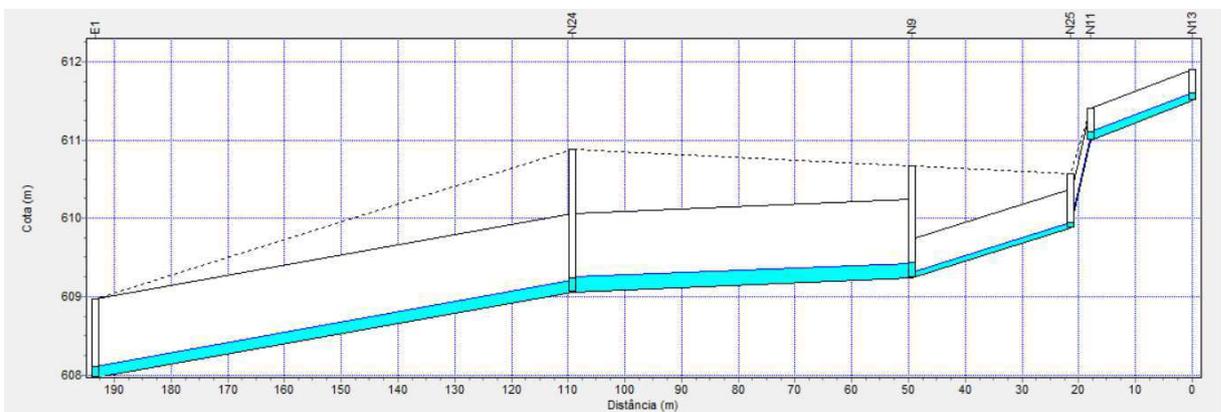


Figura 39- Comportamento do sistema entre os nós N13 e E1 no cenário antigo (Tr= 25)



A unidade de armazenamento atingiu um volume de 2007 m³ e transbordou um volume de 2016 m³ e provocou vazão a jusante de 386,37 como mostram as FIGURAS 40 e 41.

Figura 40-Vazão no orifício no cenário antigo (Tr=25)

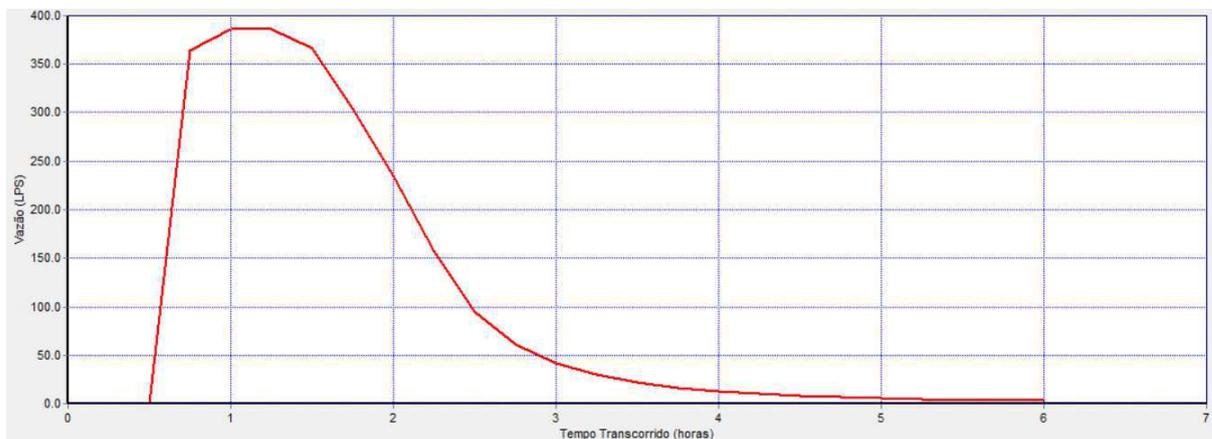
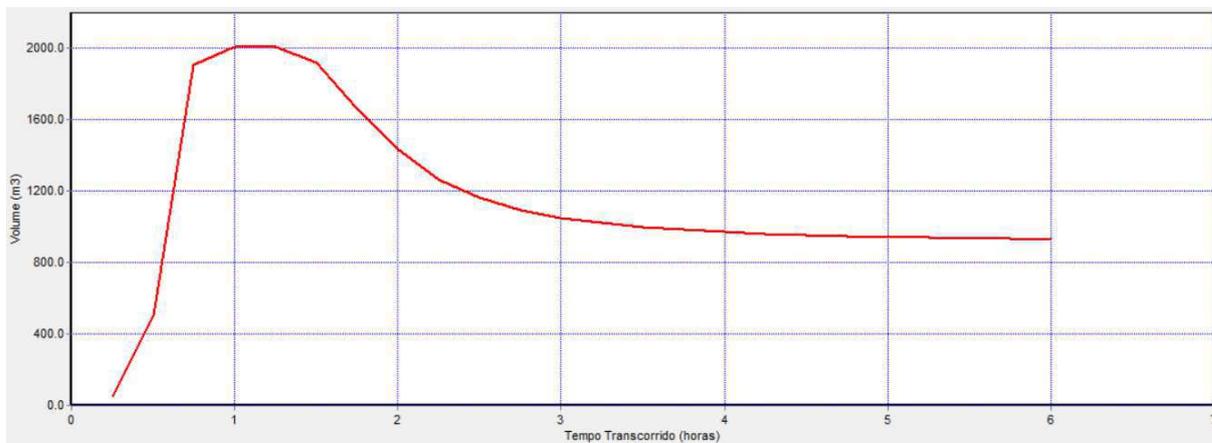


Figura 41-Volume na unidade de armazenamento no cenário antigo (Tr=25)



Para uma chuva de período de retorno de 50 anos e duração de chuva de 60 minutos o sistema apresentou sobrecarga nos nós N5, N6, N7, N9, N11, N13, N23 e N24 e no trechos T4, T6, T8, T12, T19 e T32, como mostram as Figuras 42 e 43.

Figura 42-Comportamento do sistema entre os nós N4 e E1 no cenário antigo (Tr=50)

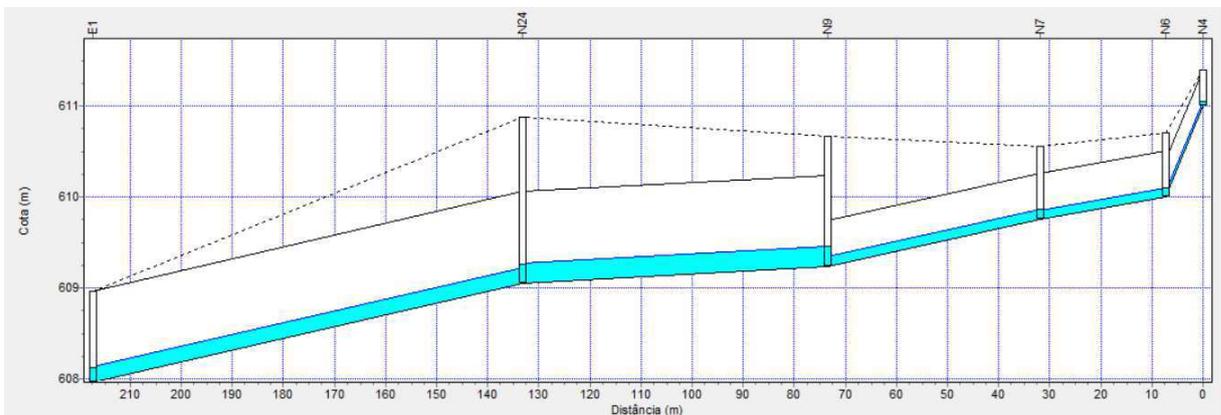
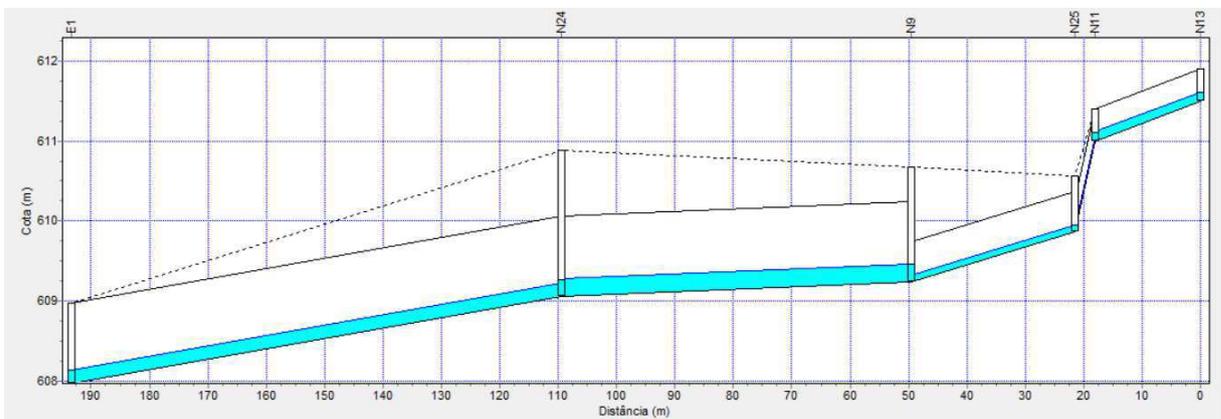


Figura 43- Comportamento do sistema entre os nós N13 e E1 no cenário antigo (Tr=50)



A unidade de armazenamento atingiu um volume de 2007 m³ e transbordou um volume de 2724 m³ o que provocou vazão a jusante de 386,37 l/s como mostram as FIGURAS 44 e 45.

Figura 44- Volume na unidade de armazenamento no cenário anterior (Tr= 50)

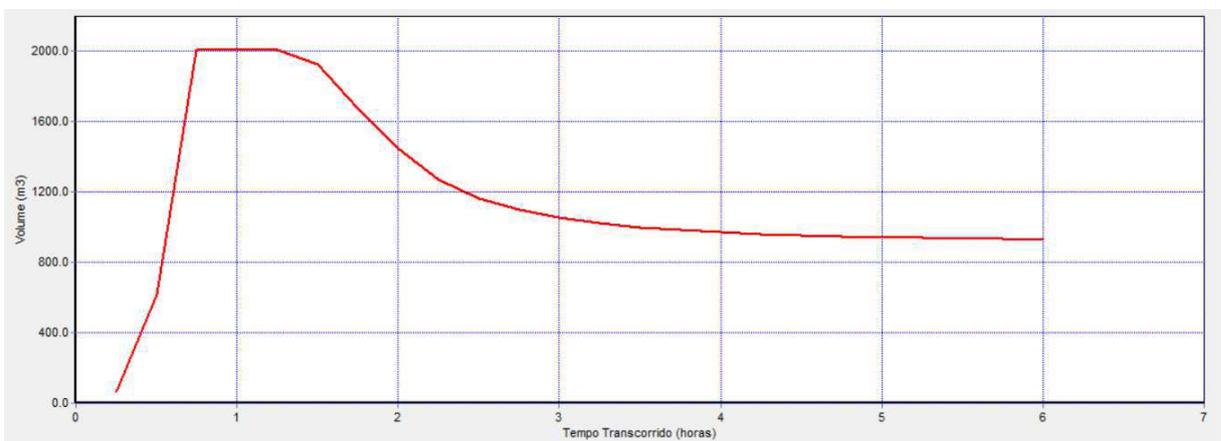
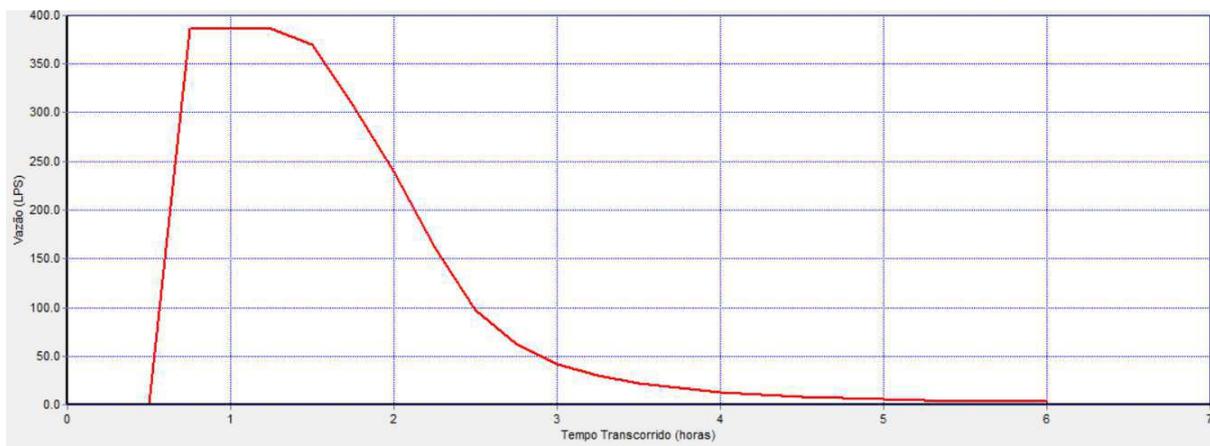


Figura 45- Vazão no orifício no cenário anterior ($Tr=50$)



Considerando que a capacidade volumétrica na unidade de armazenamento sofreu diminuição em comparação ao Cenário 1, é possível observar que existe vazão no orifício desde a primeira simulação que considera a precipitação com período de retorno de 2 anos, no Cenário 1 só existe vazão no orifício a partir da precipitação com $Tr= 25$.

Tendo em vista o ante exposto, observa-se que o sistema apresenta mais pontos de sobrecarga para todas as diferentes simulações em relação ao Cenário 1 e a unidade de armazenamento transborda desde a simulação com precipitação com $Tr= 10$ anos.

7.3. Alternativas para a problemática

Levando em consideração que a área em questão é densamente urbanizada e localiza-se no centro da cidade, o problema das inundações que a assola deve ser combatido por diversas frentes.

A primeira alternativa diz respeito a um novo aumento na capacidade de armazenamento da lagoa, os resultados demonstraram que a diferença na capacidade de armazenamento entre os cenários trouxe uma sensível melhora no desempenho do sistema.

Em um segundo momento pode-se levantar a possibilidade de inserção de um vertedouro, no entanto, a vazão resultante dessa alteração teria de ser transportada através de uma outra galeria uma vez que a existente já trabalha em alguns momentos sobrecarregada, o que implicaria em uma baixa viabilidade dessa solução.

Como alternativa menos categórica e mais sustentável, temos as técnicas compensatórias. Martins (2017) sugere e avalia como técnicas de controle na fonte: poços de

infiltração, cisternas residenciais e telhados verdes. Segundo o mesmo, as cisternas não possuem eficiência no controle de escoamento, a implantação de telhados verdes em 25% dos telhados da bacia causa reduções entre 12,77% e 16,37% da vazão de pico e que os poços de infiltração possuem bom desempenho para pequenas e mau desempenho para grandes precipitações.

Como exemplo da implantação de um aumento na profundidade do reservatório em 2 metros, para uma precipitação de 50 anos de período de retorno a unidade de armazenamento não apresenta inundação alguma.

8. CONCLUSÕES

O Cenário 2 que diz respeito a situação anterior as reformas na unidade de armazenamento, mostra que o sistema apresentava mau desempenho principalmente com a ocorrência de inundações ao redor da unidade de armazenamento desde precipitações com período de retorno de apenas 5 anos.

O Cenário que representa a situação atual do sistema de drenagem, apresenta melhora no comportamento do sistema em relação ao Cenário 2, uma vez que, a ocorrência de inundações só se inicia com precipitações com período de retorno igual a 10 anos.

O sistema drenagem do Lagoa Park, que apesar de ser um sistema de microdrenagem que sugere a projeção de pequenos períodos de retorno, é uma área crítica para cidade e sua projeção deve ser feita considerando períodos de retorno maiores.

Pode-se concluir que a evolução do Cenário 2 para o Cenário 1, trouxe benefícios para o sistema de drenagem uma vez que o seu principal problema (inundações), veio à tona no Cenário 2 com uma precipitação de tempo de retorno de 5 anos e no Cenário 1 com tempo de retorno de 10 anos.

No entanto, é claro e evidente o mau desempenho do sistema para precipitações com maiores períodos de retorno o que sugere que novas intervenções precisem serem feitas e considerando o perfil urbano da bacia, as soluções mais viáveis são o aumento na capacidade de armazenamento da lagoa e a inserção de técnicas compensatórias com telhados verdes,

Referências Bibliográficas

- AESA. Meteorologia- Chuvas-Gráfico. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa/website/meteorologiachuvasgrafico/?id_municipio=156&date_chart=2018-12-31&period=year> Acesso em 20 de junho de 2019.
- ARAGÃO, R.; FIGUEIREDO, E.E.; SRINIVASAN, V.S.; GÓIS, R.S.S. **Chuvas Intensas no Estado da Paraíba**. In: Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, volume 2, p 74-85, 1998.
- BENNIS, S.; BENGASSEM, J.; LAMARRE, P. **Hydraulic Performance Index of Sewer Network**, *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 129, n.7, 2003.
- BOLDRIN, A. J. **Avaliação do desempenho hidráulico de um sistema de drenagem de águas pluviais urbanas**. Campinas,2014.
- CABRAL, J.J.S.P.; MASCARENHAS, F. B.; CASTRO, M. A. H.; MIGUEZ, M. G.; PEPLAU, G. R.; BEZERRA A. A. (2009). **Modelos Computacionais para Drenagem Urbana**. In: FINEP, PROSAB. (ORG.). Manejo de Águas Pluviais Urbanas/ Antonio Marozzi Righetto (coordenador). 1ª ed. Rio de Janeiro : ABES, 2009, v.04, cap. 3.
- COLLODEL, Milena Gardai. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão**. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. doi:10.11606/D.18.2009.tde-14102009-182636. Acesso em: 2019-11-19.
- GURGEL, G. M. **Crescimento urbano e seus impactos no sistema de drenagem de uma bacia em Natal/RN**. Natal, 2016.
- IBGE, Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, Centro de Documentação e Disseminação de Informações. **Estatísticas do Século XX**, Rio de Janeiro, 2006, disponível em: <<http://seculoxx.ibge.gov.br/images/seculoxx/seculoxx.pdf>> . Acesso em 13 de abril de 2019.
- LUCCI, E. A.; BRANCO, A. L.; MENDONÇA, C. **Território e sociedade no mundo globalizado: geografia geral e do Brasil**. 1. Ed. São Paulo: Saraiva, 2010.
- MAIDMENT, D. R. GIS and hydrology modeling. In: GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O.; STEYAERT, L. T. **Environmental Modeling with GIS**. New York: Oxford University Press, p.147-167, 1993.

MARTINS, L. G. B. **Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas.** São Carlos, 2017.

NÓBREGA, P. V. de M. Análise do sistema de drenagem de Campina Grande/PB para a proteção de áreas de risco de inundação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

ONU. Estado De Las Ciudades De America Latina Y El Caribe. **Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos,** ONU-Habitat, 2012.

SUDERSHA, 2002. **Medidas não-estruturais. Plano Diretor de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba.** CH2MHILL Engenharia do Brasil Ltda

TUCCI, C. E. M. **Manual de Gestão das Inundações Urbanas.** UNESCO, Porto Alegre, 2005.

URBAN DRAINAGE AND FLOOD CONTROL DISTRICT. **Urban Storm Drainage Criteria Manual,** Denver, Colorado, v.1, 2016, cap7.

WIKIPEDIA. **Remígio.** Disponível em <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Rem%C3%ADgio>>
Acesso em 20 de junho de 2019.