



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**RAMOON NÓBREGA BANDEIRA**

**ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE ENCHENTES APLICADO A OBRA DE  
REVITALIZAÇÃO DO PARQUE SOLON DE LUCENA**

**JOÃO PESSOA - PB**

**2016**

**RAMOON NÓBREGA BANDEIRA**

**ESTUDO DE PROPAGAÇÃO DE ENCHENTES APLICADO A OBRA DE  
REVITALIZAÇÃO DO PARQUE SOLON DE LUCENA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado a  
Universidade Federal da Paraíba como requisito parcial para  
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Orientador: Profº Dr. Francisco Jácome Sarmiento

**JOÃO PESSOA - PB**

**2016**

Dedico este trabalho especialmente  
aos meus pais.

## **AGRADECIMENTOS**

A minha mãe, Maria de Fátima, pela leniência em me educar e pelo suporte incondicional prestado ao longo dos anos, em especial durante a graduação.

A meu pai, Francisco Chavier, por ser o exemplo de persistência e determinação a seguir por toda a minha vida.

A meus irmãos pelo apoio e presença.

A meu orientador, Francisco Sarmiento, por me orientar nesta difícil jornada de conclusão de curso e por ser o exemplo de profissional a se espelhar.

A meus amigos e colegas de curso, por se manterem presentes e sempre dispostos a me ajudarem.

“Se alguma coisa é importante o suficiente, você deveria tentar, mesmo que o provável resultado seja o fracasso”

(ElonMusk)

## RESUMO

O Parque Sólon de Lucena, ou simplesmente lagoa é uma área tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico do Estado da Paraíba como paisagem natural, foi eleito pela população da capital do estado, como cartão postal oficial de João Pessoa, é uma região de grande afluxo de veículos e de fundamental importância para o comércio da cidade. No entanto, devido à falta de obras complementares nos últimos 30 anos, ocorreu uma grande redução na capacidade de armazenamento da lagoa, levando a inundações nas áreas circunvizinhas ao lago.

A partir da equação que relaciona cota e volume da lagoa, da Discretização em intervalos de 0,5 minuto dos hidrogramas para as chuvas de 30 minutos de duração e 25 e 50 anos de recorrência e de uma proposta de implementação de uma galeria tubular de vertimento com 2,0m de diâmetro, será realizado um estudo de propagação de enchentes na Lagoa, através do método de Puls direto, o qual consiste em considerar que para cada intervalo de tempo do hidrograma, o volume armazenado no final, será igual ao volume armazenado no início mais o produto do intervalo de tempo com o balanço entre vazões afluentes e efluentes. Ocasionalmente um aumento do nível do lago em 1,23 m e 1,35 m, para os hidrogramas de chuva de 30 minutos de duração e 25 e 50 anos de recorrência, respectivamente.

Palavras-chave: Lagoa Sólon de Lucena, Propagação de Enchentes, Método de Puls Direto.

## ABSTRACT

The Parque Sólón de Lucena, or simply Lagoais, is a registered area by the Historical and Artistic Patrimony Institute of the State of Paraíba (IPHEA) as a natural landscape. It was elected by the population of the capital of the state, as the official postcard of João Pessoa, it's a region of huge vehicle influx and of fundamental importance for the commerce of the city. However, due to the lack of complementary constructions in the last 30 years, a great reduction in the storage capacity of the Lagoa occurred, leading to floods in the surrounding areas of the lake.

Starting from the equation which connects the level and volume of the Lagoa, the discretization in 0.5 minute intervals of the influx hydrograph for the rainfall with 30 minutes of duration and 25 and 50 years of recurrence, and from a proposal to implement a spilling tubular gallery with 2,0 m of diameter, will be accomplished a flood propagation study, through Puls direct method, which consists in consider that for every hydrograph interval time, the stored volume in the end of the interval is equal to the stored volume in the beginning plus the product of the interval time and the balance among influx and outflux flow rates. Causing the rise of the lake level in 1,23 m and 1,35 m, for the rainfall hydrographs of 30 minutes of duration and 25 and 50 years of recurrence, respectively.

Keywords: Lagoa Sólón de Lucena, Flood Propagation, Puls Direct Method.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                   |                          |
|-------------------|--------------------------|
| min               | minuto                   |
| m                 | metro                    |
| m <sup>3</sup> /s | metro cúbico por segundo |
| Tr                | Tempo de retorno         |



## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Valores do coeficiente de rugosidade de Manning em função do material de construção das paredes do conduto. .... | 23 |
| Tabela 2: Cota, Área e Volume da Lagoa do Parque Sólon de Lucena .....                                                     | 30 |
| Tabela 3: Tabela auxiliar a construção da reta dos parâmetros hidrométricos. ....                                          | 31 |
| Tabela 4: Discretização do Hidrograma Afluyente para a chuva de 30 minutos de duração e 25 anos de recorrência.....        | 34 |
| Tabela 5: Método de Puls Direto para a chuva de 30 minutos e 25 anos de recorrência. ....                                  | 36 |
| Tabela 6: Discretização do hidrograma afluyente em intervalos de 0,5 min. ....                                             | 45 |
| Tabela 7: Método de Puls Direto para a chuva de 30 minutos de duração e 25 anos de recorrência. ....                       | 46 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfico 1: Parâmetros hidrométricos da Lagoa Sólón de Lucena .....                                         | 32 |
| Gráfico 2: Hidrograma da chuva de 30 minutos de duração e 25 anos de recorrência .....                     | 33 |
| Gráfico 3: Cotagrama da enchente causada pela chuva de 30 minutos de duração e 25 anos de recorrência..... | 38 |
| Gráfico 4: Cotagrama da enchente causada pela chuva de 30 minutos de duração e 50 anos de recorrência..... | 38 |
| Gráfico 5: Hidrograma da Chuva de 30 minutos de duração e 50 anos de recorrência. ....                     | 44 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Imagem Aérea do Parque Sólon de Lucena .....                                                              | 13 |
| Figura 2: Fonte de Água do Parque Sólon de Lucena .....                                                             | 14 |
| Figura 3: Gravura Frederica Civitas, 1640.....                                                                      | 15 |
| Figura 4: Plano elaborado por Saturnino de Brito para João Pessoa.....                                              | 16 |
| Figura 5: Alagamento do parque Sólon de Lucena. ....                                                                | 17 |
| Figura 6: Alagamento do Parque Sólon de Lucena.....                                                                 | 17 |
| Figura 7: Traçado da Galeria Atualmente Existente.....                                                              | 18 |
| Figura 8: Traçado espacial da 2º Alternativa.....                                                                   | 26 |
| Figura 9: Traçado espacial do Coletor da 3º Alternativa. ....                                                       | 27 |
| Figura 10: Parâmetros para o cálculo da vazão de um tubo em função da altura da Lâmina d'água em seu interior. .... | 35 |
| Figura 11: Equação utilizada no método hidráulico do HEC-RAS.....                                                   | 39 |

## SUMÁRIO

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO .....                                | 13 |
| 1.1 PROBLEMÁTICA .....                             | 16 |
| 2. OBJETIVOS.....                                  | 19 |
| 2.1. GERAIS .....                                  | 19 |
| 2.2. ESPECÍFICOS .....                             | 19 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....                      | 20 |
| 3.1 Propagação de Cheias .....                     | 20 |
| 3.2 Classificação do modelo de Escoamento .....    | 20 |
| 3.2.1 – Método de Puls.....                        | 20 |
| 3.2.2 – Método de Puls Modificado .....            | 23 |
| 3.2.3 – Método de Puls Direto .....                | 24 |
| 4. METODOLOGIA .....                               | 25 |
| 4.1 1° Alternativa.....                            | 25 |
| 4.2 2° Alternativa.....                            | 25 |
| 4.3 3° Alternativa.....                            | 26 |
| 4.4 4° Alternativa.....                            | 27 |
| 4.5 – Alternativa escolhida.....                   | 28 |
| 4.5.1 Equação $Z = f(H)$ .....                     | 28 |
| 4.5.2 – Discretização do Hidrograma Afluente ..... | 33 |
| 4.5.3 – Determinação da equação $Q = f(H)$ .....   | 34 |
| 4.5.4 Método de Puls Direto .....                  | 35 |
| 5. Discussão de resultados .....                   | 37 |
| 6. CONCLUSÃO .....                                 | 40 |
| 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                 | 41 |
| 8. APÊNDICE.....                                   | 43 |
| 8.1 APÊNDICE A.....                                | 43 |
| 8.2 APÊNDICE B.....                                | 45 |

## 1. INTRODUÇÃO

O Parque Sólon de Lucena, também conhecido como Lagoa, é uma área tombada pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Da Paraíba (IPHAEP). Também é o cartão postal oficial da cidade, eleito pela população através de um concurso realizado por uma emissora de televisão local em 2007, concorrendo com outros pontos ilustres da capital Paraibana, demonstrando assim, o apreço que os pessoenses possuem pelo local. (Paulino, 2010).

O parque apresenta cerca de 15 hectares de área, dos quais 12 correspondem a área alagada, além de diversas espécies de plantas de beleza ímpar, como as palmeiras imperiais que cercam a lagoa, e os ipês amarelos que florescem em certas épocas do ano, enaltecendo ainda mais a beleza do ambiente.

A lagoa é um ponto de afluxo de muitas ruas, promove grande circulação de pessoas e veículos atraídos pelo comércio que a cerca. De acordo com a Superintendência de Transportes e Trânsito (ST Trans) e a Polícia Militar, circulam pelo parque 12 mil pessoas e 40 mil veículos diariamente. Levando-se estes dados em consideração, a Lagoa passou a ser bastante utilizada para o comércio formal e informal, embora ainda seja inserida num bairro de moradia para 3.644 pessoas (IBGE, 2010).



Figura 1: Imagem Aérea do Parque Sólon de Lucena

Fonte: <http://www.guidetravelbrazil.com.br/o-que-conhecer-em-joao-pessoa/?lang=es>,



Figura 2: Fonte de Água do Parque Sólon de Lucena

Fonte: <http://jatodaguafontesluminosas.com.br/project/fonte-joao-pessoa/>

A área que abrange a lagoa pertenceu aos jesuítas no século XVII, subsequentemente, este parque foi adquirido pelo português Vitorino Pereira Maia, onde o mesmo construiu sua residência. Foi deste lusitano, um dos primeiros registros da Lagoa, elaborado na época de domínio Holandês sobre o estado(Figura 3).

A partir da segunda metade do século XIX começaram a ocorrer mudanças no acesso a Lagoa, foram criadas e prolongadas a Rua Nova da Alagoa, travessa e beco do Jaguaribe, travessa do Chão-Duro, beco do Cipriano e beco do Macaco. Ainda assim, até 1910 a lagoa era conhecida como um pântano cercado por uma mata fechada que refugiava criminosos.

Em 1913 o governo do estado contratou o escritório Saturnino de Brito de modo a se elaborar um projeto de saneamento para a capital da Paraíba, tendo início assim, um novo modo de pensar sobre a cidade, dando ingresso ao componente técnico na política de urbanização Pessoaense. Elaborado este projeto, Brito abordou de forma integrada algumas obras civis como: Sistemas de abastecimento de água; drenagem de águas pluviais; ocupação do solo; sistemas construtivos; habitações populares; espaços e edifícios públicos; orientação e insolação. (Coutinho e Vidal Apud SEGAWA,1999).

Foi apenas em 1922, no mandato do governador Sólon Barbosa de Lucena e do prefeito Walfredo Guedes Pereira, que foi posto em execução o plano elaborado por Saturnino de Brito o qual versava: alargar as ruas com o intuito de promover

uma fácil distribuição do trânsito; projetar ruas novas, não necessariamente retas, longas e ortogonais entre si, mas dispostas de modo a terem todas uma declividade favorável ao escoamento pluvial e à execução de esgotos. (Almeida, 2004)

Além da clara intenção de Brito em ordenar o fluxo das águas e esgotos se utilizando do traçado da cidade, há uma forte preocupação em criar espaços verdes. Assim, reservou, nas áreas de expansão, “alguns quarteirões para praças, jardins ou parques, aos quais os higienistas [atribuíam] as funções de pulmões da cidade”. Atestando a permanência do pensamento higienista onde ocorria a disseminação de doenças através de miasmas, a inserção de áreas arborizadas na malha urbana atuava em favor do embelezamento urbano, bem como do arejamento da cidade. (Almeida, 2004)

Dentre os parques e praças verdes por ele propostos para a capital paraibana, foi certamente a intervenção na Lagoa a obra de maior vulto. Nela estava reunida a função conferida ao verde na área urbana e o tratamento do esgoto da zona de expansão da cidade, considerando ainda que se tratava da transformação de uma área de grande repulsa por parte da população que a considerava foco gerador de muitas epidemias, o que refletia no desenvolvimento urbano. Nesse plano, a Lagoa é adotada pelo engenheiro como um dos pontos centrais do sistema sanitário proposto.

A Lagoa seria convertida no reservatório regularizador caudal de uma galeria de esgotamento das águas pluviais, na qual, a partir da construção do túnel de 405m de extensão, se daria o esgotamento dessa área da cidade, com a condução desse material até as margens do rio Sanhauá. (Brito, 1913).



Figura 3: Gravura Frederica Civitas, 1640, a qual ilustra o livro *Rerum per Octennium in Brasilia...*, de Barlaeus (Amsterdã, 1647)

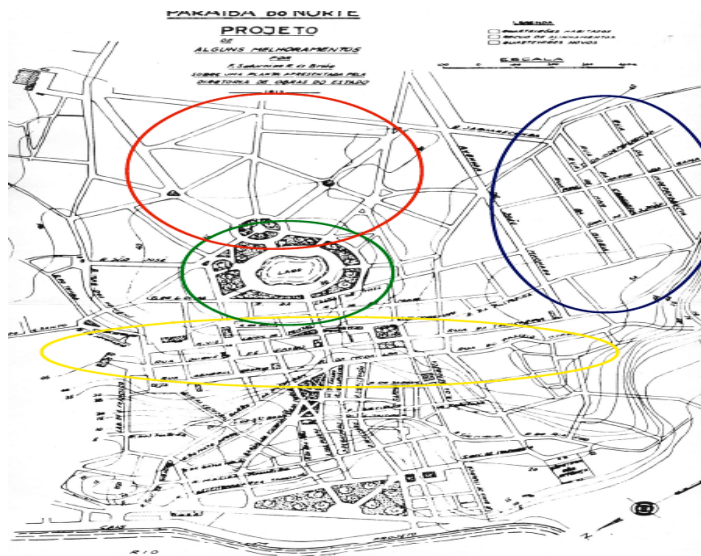


Figura 4: Plano elaborado por Saturnino de Brito para João Pessoa. No mapa, em amarelo está a área de implantação da cidade, em verde a lagoa, em vermelho a área referente ao “traçado sanitário”. Em azul, está a parte ortogonal da malha, executada em princípios do século XX e já estabelecida na época da elaboração do plano.

Fonte: Saneamento da Parahyba do Norte, Obras completas V. 5. Rio de Janeiro. Imprensa Oficial, 1943. Retirado de ALMEIDA 2006.

## 1.1 PROBLEMÁTICA

Segundo o Portal da transparência João Pessoa Por falta de obras complementares e ações corretivas adequadas em um intervalo superior a 30 anos, ocorreu uma grande diminuição da capacidade de escoamento das águas da lagoa. Conseqüentemente, em períodos de precipitação intensa, passaram a acontecer grandes inundações cobrindo as áreas do anel interno, tornando-as intransitáveis, com grandes prejuízos e transtorno a população.

Também passou a receber um volume crescente de águas pluviais das áreas centrais do município de João Pessoa, sem o devido tratamento dos resíduos, além de haverem sinais da presença de esgotos destinados a lagoa. Com o acúmulo de resíduos decorrentes disso, o leito da lagoa foi radicalmente elevado.





Figura 5: Alagamento do parque Sólon de Lucena.  
 Fonte: <http://g1.globo.com/pb/paraiba/fotos/2012/06/ruas-ficam-alagadas-apos-chuva-na-pb.html#F490595>



Figura 6: Alagamento do Parque Sólon de Lucena.  
 Fonte: <http://brejo.com/2012/06/28/82425/#.VzNcEJUrhF>

Assim, se faz necessário analisar o sistema de vertimento de água existente na lagoa atualmente.

De acordo com o projeto original da galeria vertedora da lagoa Sólon de Lucena, a primeira seção se inicia na lagoa, possui 1,15 m de base e 1,05 m de altura, com declividade de  $0,0030 \frac{m}{m}$ , (declividade esta comum as demais seções componentes da galeria citada), possuindo 9,5 m de extensão. Em seguida, a segunda seção tipo tem início, apresentando 1,15 m de base, 1,25 m de altura e cerca de 40 metros de extensão indo até as imediações da rua Diogo Velho, de onde se tem início a terceira seção, com 1,15m x 1,90m e cerca de 180 m de

extensão, depois deste trecho a galeria passa a apresentar seção de 1,40m x 1,90m com teto em arco, apresentando extensão equivalente à seu trecho de montante. Finalmente, nos últimos 812,1 m a galeria passa a apresentar seção celular de 0,70m x 0,70m.



Figura 7: Traçado da Galeria Atualmente Existente.  
Fonte: Google Earth.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. GERAIS**

Avaliar o aumento do nível da lagoa Sólon de Lucena após a adoção de uma obra proposta para se evitar o transbordamento do lago.

### **2.2. ESPECÍFICOS**

Avaliar as alternativas propostas para se evitar o transbordamento da lagoa;

Aplicar um método de propagação de cheias a lagoa Sólon de Lucena;

Analisar a elevação do nível da Lagoa a partir dos cenários propostos;

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Propagação de Cheias**

Em uma cheia ou inundação, a qual se passa durante ou depois de uma precipitação, existe a formação de uma onda, ou hidrograma de cheia, que se desloca de montante para jusante no curso d'água, a este fenômeno se dá o nome de propagação de cheias. Ao longo da propagação, ocorre uma redução do caudal máximo do evento e o aumento do tempo de base do hidrograma.

Conclui-se então que a onda de cheia sofre uma diminuição ou amortecimento de seu valor máximo de vazão, esta redução depende de características do corpo hídrico onde ocorre o escoamento, como declividade de fundo, profundidade máxima e largura máxima. Sendo preponderante a capacidade de armazenamento do reservatório para o amortecimento de cheias. (MARINS, 2004).

#### **3.2 Classificação do modelo de Escoamento**

Tucci (1993) classifica os modelos de escoamento, usados para representar o processo de propagação de enchentes em hidráulicos e hidrológicos. Os modelos hidrológicos utilizam exclusivamente o efeito do armazenamento sobre o escoamento, enquanto que os modelos hidráulicos além de considerar o efeito do armazenamento sobre o escoamento, incluem com as equações de Saint – Venant, as quais requerem uma série de simplificações e dificilmente ocorrem na prática.

Desta forma, iremos estudar algumas metodologias hidrológicas de propagação de enchente.

##### **3.2.1 – Método de Puls**

De acordo com TUCCI,1993 esta metodologia considera que a relação descarga-armazenamento não varia e desconsidera a variação da inclinação que ocorre em decorrência de uma passagem de uma onda de cheia possuindo bons resultados para disseminação em reservatórios.

Considerando-se um intervalo de tempo  $\Delta T$ , a diferença de vazão afluente e efluente a um determinado corpo hídrico é igual a variação do armazenamento.

$$I - O = \frac{\Delta S}{\Delta T} \quad (1)$$

Onde:

I = Vazão afluente;

O = Vazão efluente;

$\Delta S$  = Variação do armazenamento;

$\Delta T$  = Intervalo de tempo.

Se discretizarmos esta equação em termos finitos temos:

$$\frac{(I_1+I_2)}{2} \Delta t - \frac{(O_1+O_2)}{2} \Delta t = S_2 - S_1 \quad (2)$$

$I_1, I_2$  = Vazão Afluente nos intervalos de tempo  $t_1$  e  $t_2$ , respectivamente;

$O_1, O_2$  = Vazão efluente nos intervalos de tempo  $t_1$  e  $t_2$ , respectivamente;

$S_1, S_2$  = Armazenamento nos intervalos de tempo  $t_1$  e  $t_2$ , respectivamente.

Reorganizando-se esta equação para que todos os termos conhecidos se apresentem no lado esquerdo, tem-se:

$$\frac{(I_1+I_2)}{2} \Delta t + S_1 - \frac{O_1 \Delta t}{2} = S_2 + \frac{O_2 \Delta t}{2} \quad (3)$$

Conhecendo a Função  $O = f(S)$  se torna possível a elaboração de uma função secundária relacionando  $O = f_1(Q+2S/\Delta T)$ . O passo de cálculo é descrito a seguir:

- i. Estabelece-se o volume inicial  $S_0$  do reservatório. Este valor depende do valor observado conhecido ou de critérios do caso em análise;
- ii. Para cada intervalo de tempo subsequente, determina-se o termo da direita da equação 3, levando-se em consideração que o hidrograma afluente é conhecido;
- iii. Conhecido este termo, também é conhecido o valor de  $O_2 + \frac{2S_2}{\Delta T}$ , com este valor e utilizando a função  $O = f_1(Q+2S/\Delta T)$ , se determina o valor de  $O_2$ ;
- iv. Através de  $O_2$  se determina o valor de  $S_2$  por  $S_2 = f^{-1}(Q_2)$ ;
- v. Repete-se os passos ii, iii e iv para cada intervalo de tempo.

Para se obter a curva que relaciona o armazenamento e a vazão, admite-se que a linha de água é horizontal. Para se chegar a esta curva deve-se compor as funções: Cota x Volume e; Cota x Vazão.

A curva Cota x Volume é obtida a partir do levantamento topográfico do terreno em questão, sendo ela em forma de gráfico, tabela ou equação do tipo

$$Z = a S^b \quad (4)$$

Onde:

Z = Cota do terreno;

a e b são parâmetros ajustados aos dados;

S = Armazenamento.

A função Cota x Vazão é advinda do tipo de estrutura vertedoura. É fornecida pelo projetista, ou estabelecida em modelo reduzido. Os corpos hídricos possuem, em geral, dois tipos de extravasores: Vertedouro, normalmente de superfície e; Descarga de fundo. Ambas estruturas podendo possuir ou não comportas.

A equação para obtenção da vazão pelo vertedourocircular é dada pela equação de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} A_m R_h^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

Na qual:

Q = Vazão de projeto em metros cúbicos por segundo;

n = coeficiente de rugosidade de Manning, obtida a partir do tipo de material constituinte da estrutura;

$R_h$  = raio hidráulico em metros;

I = declividade da estrutura.

O raio hidráulico é obtido a partir da seguinte relação:

$$R_h = \frac{A_m}{P_m} \quad (6)$$

Em que:

$A_m$  = Área molhada em metros quadrados;

$P_m$  = Perímetro molhado em metros.

| N° | Natureza das paredes                                                                                                                                                                                  | Valor de n |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1  | Canais de chapas, com rebites embutidos, juntas perfeitas e águas limpas. Tubos de cimento e de fundição em perfeitas condições                                                                       | 0,011      |
| 2  | Canais de cimento muito liso, de dimensões limitadas, de madeira, aplainada e lixada, em ambos os casos; trechos retilíneos compridos e curvas de grande raio e água limpa. Tubos de Fundição usados. | 0,012      |
| 3  | Canais com reboco de cimento liso, porém com águas não completamente limpas: construídos com madeira lisa, mas com curvas de raio moderado.                                                           | 0,013*     |
| 4  | Canais com paredes de cimento não completamente liso; de madeira com o n° 2, porém com traçado tortuoso e curvas de pequeno raio e juntas imperfeitas.                                                | 0,014      |
| 5  | Canais com paredes de cimento não completamente lisas, com curvas estreitas e águas com detritos; construídos de madeira não aplainada de chapas rebitadas.                                           | 0,015      |
| 6  | Canais com reboco de cimento não muito alisados e pequenos depósitos no fundo; revestidos por madeira não aplainada; de alvenaria construída com esmero; de terra, sem vegetação.                     | 0,016      |
| 7  | Canais com reboco de cimento incompleto, juntas irregulares, andamento tortuoso e depósitos no fundo; de alvenaria revestindo taludes não bem perfilados.                                             | 0,017      |
| 8  | Canais com reboco de cimento rugoso, depósito no fundo, musgo nas paredes e traçado tortuoso.                                                                                                         | 0,018      |
| 9  | Canais de alvenaria em más condições de manutenção e fundo com barro, ou de alvenaria de pedregulhos; de terra, bem construídos, sem vegetação e com curvas de grande raio.                           | 0,020      |
| 10 | Canais de chapas rebitadas e juntas irregulares: de terra, bem construídos com pequenos depósitos no fundo e vegetação rasteira nos taludes.                                                          | 0,022      |
| 11 | Canais de terra, com vegetação rasteira no fundo e nos taludes.                                                                                                                                       | 0,025      |
| 12 | Canais de terra, com vegetação normal, fundo com cascalhos ou irregular por causa de erosões: revestidos com pedregulhos e vegetação.                                                                 | 0,030      |
| 13 | Alvéolos naturais, cobertos de cascalhos e vegetação.                                                                                                                                                 | 0,035      |
| 14 | Alvéolos naturais, andamento tortuoso.                                                                                                                                                                | 0,040      |

\*Valor usual para coletores de esgoto de qualquer natureza.

Tabela 1: Valores do coeficiente de rugosidade de Manning em função do material de construção das paredes do conduto.

Fonte: Azevedo Neto 8° Edição, página 419.

### 3.2.2 – Método de Puls Modificado

Segundo MING,2007. O método de Puls modificado é um dos métodos mais populares utilizados na proliferação de cheias em reservatórios. A equação deste método consiste na equação da continuidade na forma de diferenças finitas combinada com uma representação da equação do momento. O método requer a construção de duas curvas,  $S$  e  $S_1 - \frac{\partial \Delta t}{2}$ .

Este método é, portanto, iterativo, em que se pode definir a precisão desejada e depende apenas de duas condições da obra hidráulica estudada (galeria de concreto) e das condições do reservatório, sendo elas: a curva de descarga pela galeria e a curva CotaxVolume do reservatório.

A equação que rege este método é a seguinte:

$$I_1 + I_2 + \left( \frac{2S_1}{\Delta t} - O_1 \right) = \frac{2S_2}{\Delta t} + O_2 \quad (7)$$

A solução é encontrada ao se desenvolver uma tabela ou gráfico da relação “O versus  $(\frac{2S}{\Delta T} + O)$ ”, onde:

O – Vazão efluente ao reservatório no intervalo  $\Delta T$ ;

S – Armazenamento médio do reservatório no intervalo  $\Delta T$ ;

$\Delta T$  – Intervalo de tempo.

### 3.2.3 – Método de Puls Direto

Segundo (HERNANDES,2007) ao se aplicar a equação (1) deve-se admitir valores médios para  $\Delta T$ , ou seja, considera-se que as vazões afluentes (I) e efluentes (O) variam linearmente. Como estas últimas não variam linearmente, a acurácia do método fica subordinada à grandeza do intervalo de tempo adotado, quanto menor o intervalo de tempo adotado, melhor será a eficácia desta metodologia.

Em contrapartida, a necessidade do uso de uma função auxiliar está vinculada ao fato de S e O variarem concomitantemente, de modo que se procura um valor representativo de S para se obter o respectivo valor de O.

Levando-se em consideração os softwares computacionais que se tem a disposição para facilitar rotinas de cálculo, é dispensada a utilidade da função auxiliar descrita no método de Puls. É permitido o uso de um intervalo de tempo  $\Delta T$  tão pequeno quanto se deseje. Desse modo, o cálculo fica mais reduzido e mais simples de se entender pois descartam-se o uso de funções auxiliares.

A marcha de cálculo tem início ao se discretizar o hidrograma afluente em intervalos de tempo  $\Delta T$ , em seguida parte-se de valores iniciais de S e O.

Para cada  $\Delta T$ , fazemos:

- a) Com  $S_{(t)}$  é determinado o nível H;
- b) Com H, na equação 5, se determina o valor de O;
- c) Com I e O, é construído o balanço:

$$S_{(t+\Delta T)} = S_{(t)} + (I - O)\Delta T \quad (8)$$

Este processo é repetido até a consolidação do hidrograma afluente.



## **4. METODOLOGIA**

Foram propostas 4 alternativas para se solucionar o transbordamento da lagoa do parque Sólon de Lucena, as quais serão detalhadas a seguir:

### **4.1 1° Alternativa**

Esta alternativa consiste em se redimensionar o trecho final da galeria de vertimento da lagoa, de modo que este trecho passasse a apresentar uma seção condizente ao trecho de aproximação, antes das proximidades com o cruzamento da rua da Areia.

O trecho de aproximação se constitui de uma seção de 1,40m de largura por 1,90m de altura com uma rede de esgotamento em seu interior de 0,70m x 0,55m ocupando parte deste trecho.

Assim, a seção livre equivalente para sangramento que se aproxima do estrangulamento seria estimada em 1,30m x 1,30m, construídos por uma distância de 812,1m.

### **4.2 2° Alternativa**

Esta alternativa versa desviar parte das águas que chegam a lagoa Sólon de Lucena, empregando coletores dispostos ao norte e ao sul do parque, interceptando transversalmente uma significativa parcela do caudal que a ela se direciona.

O coletor norte seria disposto, subterraneamente, ao longo da Av. Dom Pedro I, em sentido oeste-leste, até a interseção desta com a Rua Flávio Marajó Filho, de onde seguiria até o encontro com a Av. Desembargador Boto de Menezes, avançando subterraneamente até desaguar num córrego que corta o Parque Arruda Câmara. Este coletor possui no total 2.033,6 m de comprimento.

O segundo coletor, locado ao sul do parque Sólon de Lucena, seria disposto no sentido Leste-Oeste subterraneamente a Av. João Machado, seguindo até a interseção com a Av. Marechal Almeida Barreto, onde mudaria para o sentido Sudeste-Noroeste e seguiria até se encontrar com a Rua Índio Pirangibe de onde seguiria a orientação da Rua Vinte e Oito de Setembro, chegando até a Rua da República. A partir desta rua, mudaria para o sentido Leste-Oeste até cruzar a Av.

Sanhauá, despejando as águas coletadas no rio de mesmo nome desta avenida. O coletor sul, nesta alternativa, possuiria um comprimento total de 2.589m.

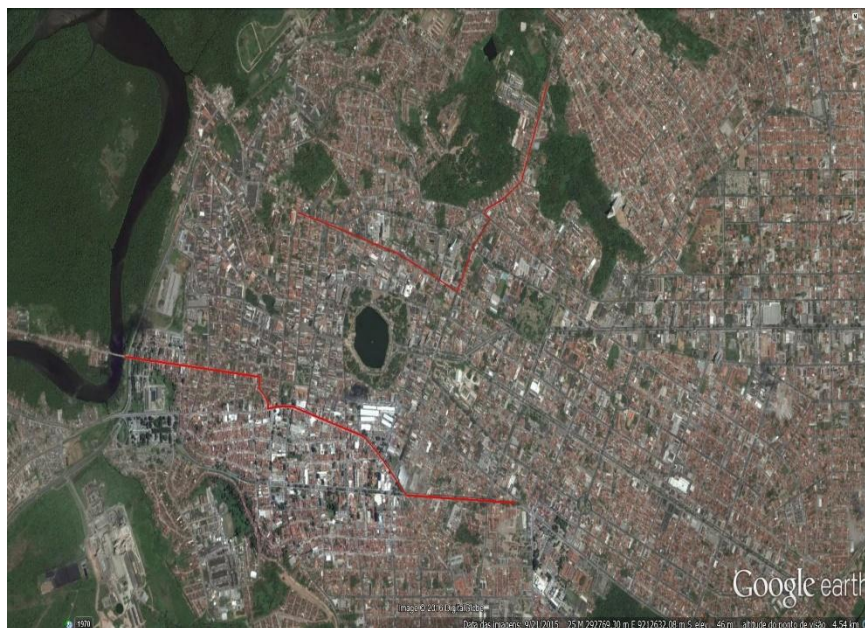


Figura 8: Traçado espacial da 2ª Alternativa.  
Fonte: Google Earth

#### 4.33ª Alternativa

Esta alternativa faz uso de parte do traçado da 2ª alternativa, apresentando como principal diferencial, a condução das vazões defluídas pelo coletor sul em direção ao coletor norte, sendo necessário para isto, a implementação de um novo coletor transversal de ligação entre os coletores norte e sul.

Além disso, o coletor sul apresenta algumas diferenças em relação ao traçado da 2ª alternativa, pois neste novo traçado, não é mais necessário transpor os limites topográficos da bacia hidrográfica da lagoa Sólon de Lucena, apresentando um comprimento total nesta 3ª alternativa de 1.560m.

O coletor sul passaria a ser disposto em dois trechos, sendo um em sentido Leste-Oeste subterraneamente à Av. João Machado e Av. Marechal Almeida Barreto até o cruzamento com a Av. dos Tabajaras. O segundo trecho seria locado em sentido Oeste-Leste, vindo pela Av. Marechal Almeida Barreto, até o cruzamento com a Av. dos Tabajaras.

Na avenida dos Tabajaras, os dois trechos do coletor sul se uniriam, passando a seguir pelo que se denominou de coletor transversal, que seguiria

subterraneamente por esta via, até encontrar o coletor norte, no cruzamento com a Av. Dom Pedro I, de onde passaria a seguir pela Rua Flávio Marajó Filho, de acordo com o traçado já apresentado na 2ª Alternativa para o coletor norte.



Figura 9: Traçado espacial do Coletor da 3ª Alternativa.  
Fonte: Google Earth

#### 4.4 4ª Alternativa

Esta alternativa consiste em melhorar a capacidade de amortecimento de cheias da lagoa Sólon de Lucena.

Para isto, se torna necessário aumentar o volume de espera da referida lagoa, permitindo que cheias advindas de chuvas de maior magnitude possam ser armazenadas na lagoa, evitando seu transbordamento.

Assim, é sugerido se rebaixar a cota de vertimento da lagoa Sólon de Lucena, a qual se encontra atualmente na cota de 28,3m. Para tanto, foi feita simulação hidráulico/hidrológico desta lagoa, chegando a conclusão da necessidade do rebaixamento da cota de vertimento em 1,0 m.

Além disto, seria necessário a construção de um novo trecho em galeria tubular com diâmetro de 2,0 m e declividade de  $0,0030 \frac{m}{m}$ , saindo da lagoa e indo até o encontro com a galeria existente de 0,70mx0,70m.

#### 4.5 – Alternativa escolhida

A alternativa escolhida - a qual a metodologia de propagação de enchentes deste trabalho se baseará - foi aquela referente a redução da cota de vertimento da lagoa em 1,0 m, para a nova cota de 27,3 m.

Para se realizar o amortecimento da Lagoa do Parque Sólon de Lucena as seguintes etapas são necessárias:

- Determinar equação  $Z = f(H)$ ;
- Discretizar o Hidrograma Afluentes ao Reservatório;
- Determinar equação  $Q = f(H)$ .

##### 4.5.1 Equação $Z = f(H)$

A lagoa Sólon de Lucena foi considerada como um corpo hídrico com 250 metros de diâmetro em sua seção máxima e 3 metros de profundidade. Assim, a mesma apresenta seção circular quando vista em planta e seção parabólica quando vista em corte.

FRENSEL, 2010 afirma que a seguinte equação determina o comportamento dos pontos de uma parábola:

$$(x - x_0)^2 = 4p(y - y_0)$$

Onde:

$(x_0, y_0)$  = Coordenadas do vértice da parábola

$p$  = distância entre o foco e a parábola

Assim, a equação que representa a seção transversal da lagoa é a seguinte:

$$x^2 = 5.208,33(y + 3)$$

Para se obter a curva Cota – Volume representativa da Lagoa do Parque Sólon de Lucena em função da Profundidade  $H$  da mesma foi-se realizado o seguinte procedimento:

Determinar o ponto pertencente a parábola com o respectivo Valor de  $H$ :

$$x^2 = 5.208,33((-H) + 3)$$

$$x = \sqrt{5.208,33((-H) + 3)}$$

Assim o ponto P pertencente a parábola para cada valor de H tem coordenadas:

$$P = (\sqrt{5.208,33((-H) + 3)}; H)$$

Desta forma, é possível se obter a área de cada Curva de Nível referente a profundidade H através da equação da área:

$$A = \pi r^2$$

Como o raio de cada curva de nível é equivalente a abscissa de cada ponto, então:

$$A_{(H)} = 5.208,33\pi((-H) + 3)$$

VEIGA, 2007 afirma que para calcular o volume entre curvas de nível adjacentes se é feito o uso das seguintes equações:

$$V_{1-2} = \frac{h}{2}(A_1 + A_2)$$

Onde:

$V_{1-2}$  = Volume entre as curvas de nível 1 e 2;

$A_1$  = Área da curva de nível 1;

$A_2$  = Área da curva de nível 2;

$h$  = Distância entre as curvas de nível.

$$V_{1,n} = \sum_{i=1}^{i=n} V_{(i-1),i}$$

$V_{1,n}$  = Volume entre as curvas de nível 1 e n;

$n$  = Número de curvas de nível.

Assim foi construída a tabela Cota - Área - Volume a seguir

| Cota (m) | Area (m <sup>2</sup> ) | Volume Parcial (m <sup>3</sup> ) | Volume total (m <sup>3</sup> ) |
|----------|------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 25,30    | 0,00                   | 0,00                             | 0,00                           |
| 25,40    | 1.636,25               | 61,36                            | 81,81                          |
| 25,50    | 3.272,49               | 143,17                           | 327,25                         |
| 25,60    | 4.908,74               | 224,98                           | 736,31                         |
| 25,70    | 6.544,98               | 306,80                           | 1.309,00                       |
| 25,80    | 8.181,23               | 388,61                           | 2.045,31                       |
| 25,90    | 9.817,48               | 470,42                           | 2.945,24                       |
| 26,00    | 11.453,72              | 552,23                           | 4.008,80                       |
| 26,10    | 13.089,97              | 634,05                           | 5.235,99                       |
| 26,20    | 14.726,22              | 715,86                           | 6.626,80                       |
| 26,30    | 16.362,46              | 797,67                           | 8.181,23                       |
| 26,40    | 17.998,71              | 879,48                           | 9.899,29                       |
| 26,50    | 19.634,95              | 961,29                           | 11.780,97                      |
| 26,60    | 21.271,20              | 1.043,11                         | 13.826,28                      |
| 26,70    | 22.907,45              | 1.124,92                         | 16.035,21                      |
| 26,80    | 24.543,69              | 1.206,73                         | 18.407,77                      |
| 26,90    | 26.179,94              | 1.288,54                         | 20.943,95                      |
| 27,00    | 27.816,18              | 1.370,36                         | 23.643,76                      |
| 27,10    | 29.452,43              | 1.452,17                         | 26.507,19                      |
| 27,20    | 31.088,68              | 1.533,98                         | 29.534,24                      |
| 27,30    | 32.724,92              | 1.615,79                         | 32.724,92                      |
| 27,40    | 34.361,17              | 1.697,61                         | 36.079,23                      |
| 27,50    | 35.997,42              | 1.779,42                         | 39.597,16                      |
| 27,60    | 37.633,66              | 1.861,23                         | 43.278,71                      |
| 27,70    | 39.269,91              | 1.943,04                         | 47.123,89                      |
| 27,80    | 40.906,15              | 2.024,85                         | 51.132,69                      |
| 27,90    | 42.542,40              | 2.106,67                         | 55.305,12                      |
| 28,00    | 44.178,65              | 2.188,48                         | 59.641,17                      |
| 28,10    | 45.814,89              | 2.270,29                         | 64.140,85                      |
| 28,20    | 47.451,14              | 2.352,10                         | 68.804,15                      |
| 28,30    | 49.087,39              | 2.433,92                         | 73.631,08                      |

Tabela 2: Cota, Área e Volume da Lagoa do Parque Sólon de Lucena.

De acordo com MOLLE e CADIER(1992). Para se obter uma equação Cota x Volume no formato  $V = K(H - H_0)^\alpha$ , deve-se plotar os valores de LN (H) e LN (V) em papel milimetrado, em seguida deve-se ajustar uma reta que melhor se ajuste aos pontos. Obtendo a equação da reta no seguinte formato:

$$Y = Ax + b$$

Os parâmetros hidrométricos K e  $\alpha$  são obtidos a partir das seguintes relações:

$$K = e^b$$

$$\alpha = a$$

Assim, procedemos ao Cálculo:

| Cota (m) | Lâmina de água (m) | Volume total (m <sup>3</sup> ) | LN(H) | LN(V) |
|----------|--------------------|--------------------------------|-------|-------|
| 25,30    | 0,00               | 0,00                           | -     | -     |
| 25,35    | 0,05               | 20,45                          | -3,00 | 3,02  |
| 25,40    | 0,10               | 81,81                          | -2,30 | 4,40  |
| 25,45    | 0,15               | 184,08                         | -1,90 | 5,22  |
| 25,50    | 0,20               | 327,25                         | -1,61 | 5,79  |
| 25,60    | 0,30               | 736,31                         | -1,20 | 6,60  |
| 25,70    | 0,40               | 1.309,00                       | -0,92 | 7,18  |
| 25,80    | 0,50               | 2.045,31                       | -0,69 | 7,62  |
| 25,90    | 0,60               | 2.945,24                       | -0,51 | 7,99  |
| 26,00    | 0,70               | 4.008,80                       | -0,36 | 8,30  |
| 26,10    | 0,80               | 5.235,99                       | -0,22 | 8,56  |
| 26,20    | 0,90               | 6.626,80                       | -0,11 | 8,80  |
| 26,30    | 1,00               | 8.181,23                       | 0,00  | 9,01  |
| 26,40    | 1,10               | 9.899,29                       | 0,10  | 9,20  |
| 26,50    | 1,20               | 11.780,97                      | 0,18  | 9,37  |
| 26,60    | 1,30               | 13.826,28                      | 0,26  | 9,53  |
| 26,70    | 1,40               | 16.035,21                      | 0,34  | 9,68  |
| 26,80    | 1,50               | 18.407,77                      | 0,41  | 9,82  |
| 26,90    | 1,60               | 20.943,95                      | 0,47  | 9,95  |
| 27,00    | 1,70               | 23.643,76                      | 0,53  | 10,07 |
| 27,10    | 1,80               | 26.507,19                      | 0,59  | 10,19 |
| 27,20    | 1,90               | 29.534,24                      | 0,64  | 10,29 |
| 27,30    | 2,00               | 32.724,92                      | 0,69  | 10,40 |
| 27,40    | 2,10               | 36.079,23                      | 0,74  | 10,49 |
| 27,50    | 2,20               | 39.597,16                      | 0,79  | 10,59 |
| 27,60    | 2,30               | 43.278,71                      | 0,83  | 10,68 |
| 27,70    | 2,40               | 47.123,89                      | 0,88  | 10,76 |
| 27,80    | 2,50               | 51.132,69                      | 0,92  | 10,84 |
| 27,90    | 2,60               | 55.305,12                      | 0,96  | 10,92 |
| 28,00    | 2,70               | 59.641,17                      | 0,99  | 11,00 |
| 28,10    | 2,80               | 64.140,85                      | 1,03  | 11,07 |
| 28,20    | 2,90               | 68.804,15                      | 1,06  | 11,14 |
| 28,30    | 3,00               | 73.631,08                      | 1,10  | 11,21 |

Tabela 3: Tabela auxiliar a construção da reta dos parâmetros hidrométricos.

Os pontos marcados em vermelho não foram inseridos no gráfico a seguir por apresentarem uma divergência de comportamento considerável dos demais pontos .

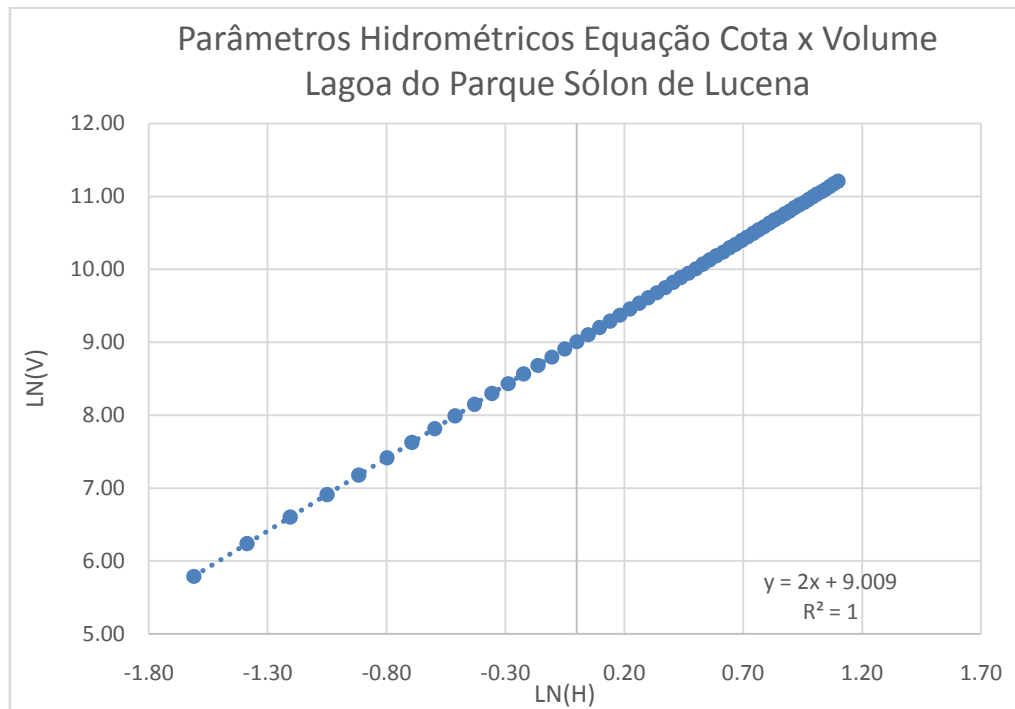


Gráfico 1:Parâmetros hidrométricos da Lagoa Sólon de Lucena

Assim, temos a equação da reta  $Y = ax + b$  é:

$$Y = 2x + 9,0096$$

Desta forma:

$$K = e^{9,0096} = 8.181,25$$

$$\alpha = 2$$

Conseqüentemente, a equação que relaciona cota e volume da lagoa do parque Sólon de Lucena equivale a:

$$V = 8.181,25(H - 25,3)^2$$



#### 4.5.2 – Discretização do Hidrograma Afluente

O método de Puls Direto requer que o hidrograma afluente seja discretizado em intervalos suficientemente pequenos de modo que a variação de vazões afluentes e efluentes no intervalo seja considerado linear.

Assim, a partir do hidrograma fornecido para a chuva de 30 minutos de duração e 25 anos de recorrência, se cria uma tabela com intervalos convenientemente pequenos.

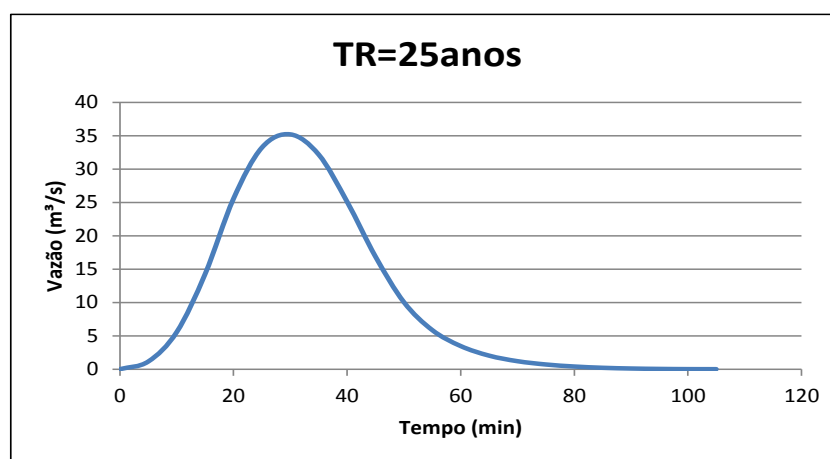


Gráfico 2: Hidrograma da chuva de 30 minutos de duração e 25 anos de recorrência  
Fonte: Acquatool Consultoria, 2013

Foi-se arbitrado um intervalo de 0,5 minuto para o valor de  $\Delta T$ , obtendo assim a seguinte tabela:

| Tempo (min) | QA (m³/s) | Tempo (min) | QA (m³/s) | Tempo (min) | QA (m³/s) | Tempo (min) | QA (m³/s) | Tempo (min) | QA (m³/s) |
|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| 0,00        | 0,00      | 17,50       | 20,42     | 35,00       | 32,08     | 52,50       | 7,60      | 70,00       | 1,16      |
| 0,50        | 0,09      | 18,00       | 21,51     | 35,50       | 31,57     | 53,00       | 7,18      | 70,50       | 1,10      |
| 1,00        | 0,17      | 18,50       | 22,48     | 36,00       | 31,02     | 53,50       | 6,82      | 71,00       | 1,05      |
| 1,50        | 0,25      | 19,00       | 23,56     | 36,50       | 30,43     | 54,00       | 6,52      | 71,50       | 1,00      |
| 2,00        | 0,32      | 19,50       | 24,68     | 37,00       | 29,77     | 54,50       | 6,22      | 72,00       | 0,95      |
| 2,50        | 0,39      | 20,00       | 25,71     | 37,50       | 29,07     | 55,00       | 5,86      | 72,50       | 0,90      |
| 3,00        | 0,47      | 20,50       | 26,63     | 38,00       | 28,30     | 55,50       | 5,49      | 73,00       | 0,86      |
| 3,50        | 0,58      | 21,00       | 27,50     | 38,50       | 27,44     | 56,00       | 5,19      | 73,50       | 0,81      |
| 4,00        | 0,72      | 21,50       | 28,37     | 39,00       | 26,57     | 56,50       | 4,93      | 74,00       | 0,77      |
| 4,50        | 0,90      | 22,00       | 29,32     | 39,50       | 25,80     | 57,00       | 4,68      | 74,50       | 0,72      |
| 5,00        | 1,13      | 22,50       | 30,22     | 40,00       | 24,97     | 57,50       | 4,44      | 75,00       | 0,68      |
| 5,50        | 1,41      | 23,00       | 30,96     | 40,50       | 24,31     | 58,00       | 4,24      | 75,50       | 0,63      |
| 6,00        | 1,73      | 23,50       | 31,61     | 41,00       | 23,42     | 58,50       | 4,04      | 76,00       | 0,59      |
| 6,50        | 2,08      | 24,00       | 32,26     | 41,50       | 22,62     | 59,00       | 3,82      | 76,50       | 0,54      |
| 7,00        | 2,47      | 24,50       | 32,87     | 42,00       | 21,81     | 59,50       | 3,62      | 77,00       | 0,50      |
| 7,50        | 2,92      | 25,00       | 33,30     | 42,50       | 20,95     | 60,00       | 3,46      | 77,50       | 0,45      |

| Tempo (min) | QA (m³/s) | Tempo (min) | QA (m³/s) | Tempo (min) | QA (m³/s) | Tempo (min) | QA (m³/s) | Tempo (min) | QA (m³/s) |
|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| 8,00        | 3,37      | 25,50       | 33,72     | 43,00       | 19,96     | 60,50       | 3,31      | 78,00       | 0,41      |
| 8,50        | 3,86      | 26,00       | 34,07     | 43,50       | 19,24     | 61,00       | 3,13      | 78,50       | 0,37      |
| 9,00        | 4,41      | 26,50       | 34,39     | 44,00       | 18,44     | 61,50       | 2,96      | 79,00       | 0,33      |
| 9,50        | 5,04      | 27,00       | 34,62     | 44,50       | 17,64     | 62,00       | 2,82      | 79,50       | 0,30      |
| 10,00       | 5,73      | 27,50       | 34,82     | 45,00       | 16,75     | 62,50       | 2,68      | 80,00       | 0,27      |
| 10,50       | 6,41      | 28,00       | 35,01     | 45,50       | 15,91     | 63,00       | 2,55      | 80,50       | 0,24      |
| 11,00       | 7,19      | 28,50       | 35,14     | 46,00       | 15,24     | 63,50       | 2,41      | 81,00       | 0,20      |
| 11,50       | 7,93      | 29,00       | 35,19     | 46,50       | 14,55     | 64,00       | 2,27      | 81,50       | 0,17      |
| 12,00       | 8,75      | 29,50       | 35,20     | 47,00       | 13,79     | 64,50       | 2,14      | 82,00       | 0,13      |
| 12,50       | 9,54      | 30,00       | 35,15     | 47,50       | 13,08     | 65,00       | 2,02      | 82,50       | 0,09      |
| 13,00       | 10,36     | 30,50       | 35,04     | 48,00       | 12,38     | 65,50       | 1,92      | 83,00       | 0,06      |
| 13,50       | 11,41     | 31,00       | 34,90     | 48,50       | 11,79     | 66,00       | 1,82      | 83,50       | 0,03      |
| 14,00       | 12,44     | 31,50       | 34,70     | 49,00       | 11,20     | 66,50       | 1,72      | 84,00       | 0,01      |
| 14,50       | 13,49     | 32,00       | 34,45     | 49,50       | 10,62     | 67,00       | 1,62      | 84,50       | 0,00      |
| 15,00       | 14,52     | 32,50       | 34,17     | 50,00       | 10,05     | 67,50       | 1,52      | -           | -         |
| 15,50       | 15,47     | 33,00       | 33,85     | 50,50       | 9,49      | 68,00       | 1,43      | -           | -         |
| 16,00       | 16,49     | 33,50       | 33,47     | 51,00       | 8,96      | 68,50       | 1,35      | -           | -         |
| 16,50       | 17,65     | 34,00       | 33,05     | 51,50       | 8,49      | 69,00       | 1,28      | -           | -         |
| 17,00       | 19,04     | 34,50       | 32,59     | 52,00       | 8,05      | 69,50       | 1,22      | -           | -         |

Tabela 4: Discretização do Hidrograma Afluente para a chuva de 30 minutos de duração e 25 anos de recorrência.

#### 4.5.3 - Determinação da equação $Q = f(H)$

De acordo com SILVESTRE, 1979. As parametrizações para obtenção da vazão de uma galeria tubular em função da altura de água no interior do tubo de acordo com as seguintes equações:

$$\theta = 2\cos^{-1}\left(1 - \frac{2Y}{D}\right)$$

O valor de Y será considerado a partir da cota de vertimento da lagoa, nesta proposta, que equivale a 27,3 m:

Assim:

$$Y = N_l - 27,3$$

Onde:

$N_l$  = Nível d'água na lagoa Sólton de Lucena.

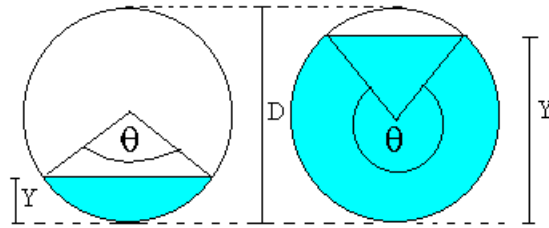


Figura 10: Parâmetros para o cálculo da vazão de um tubo em função da altura da lâmina d'água em seu interior.  
Fonte: SILVESTRE, 1979.

$$A_m = \frac{D^2}{8} (\theta^* - \text{sen } \theta);$$

$$Pm = \frac{\theta^* D}{2};$$

$$R_h = \frac{D}{4} \left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta^*}\right)$$

A tubulação a ser construída apresenta a mesma declividade da existente,  $0,0030 \frac{m}{m}$ , e será construída em concreto, apresentando  $n = 0,013$ .

Assim a vazão em cada intervalo será dada por  $\Delta T$ :

$$Q = \frac{1}{n} A_m R_h^{\frac{2}{3}} \sqrt{I}$$

#### 4.5.4 Método de Puls Direto

Com todos os pré-requisitos necessários para a utilização deste método, se dá início a análise de propagação de cheias na Lagoa Sólton de Lucena, para a alternativa adotada. Onde para cada intervalo temos que a seguinte relação é válida:

$$VR_{(t+\Delta t)} = VR_{(t)} + (QA - QE)\Delta T$$

| Método de Puls Direto para chuva de 30 minutos de duração e 25 anos de recorrência |                        |                       |       |              |                  |                     |       |        |                        |                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|-------|--------------|------------------|---------------------|-------|--------|------------------------|--------------------------------------|
| Tempo (min)                                                                        | QA (m <sup>3</sup> /s) | VRt (m <sup>3</sup> ) | H (m) | $\theta$ (°) | $\theta^*$ (rad) | A (m <sup>2</sup> ) | P (m) | Rh (m) | QE (m <sup>3</sup> /s) | VR(t+ $\Delta T$ ) (m <sup>3</sup> ) |
| 0,00                                                                               | 0,00                   | 32.724,92             | 27,30 | 0,00         | 0,00             | 0,00                | 0,00  | 0,00   | 0,00                   | 32.724,92                            |
| 2,00                                                                               | 0,32                   | 32.740,13             | 27,30 | 3,48         | 0,06             | 0,00                | 0,06  | 0,00   | 0,00                   | 32.749,67                            |
| 4,00                                                                               | 0,72                   | 32.793,05             | 27,30 | 7,39         | 0,13             | 0,00                | 0,13  | 0,00   | 0,00                   | 32.814,62                            |
| 6,00                                                                               | 1,73                   | 32.917,74             | 27,31 | 12,43        | 0,22             | 0,00                | 0,22  | 0,00   | 0,00                   | 32.969,54                            |
| 8,00                                                                               | 3,37                   | 33.193,70             | 27,31 | 19,38        | 0,34             | 0,00                | 0,34  | 0,01   | 0,00                   | 33.294,93                            |
| 10,00                                                                              | 5,73                   | 33.694,49             | 27,33 | 27,86        | 0,49             | 0,01                | 0,49  | 0,02   | 0,00                   | 33.866,26                            |
| 12,00                                                                              | 8,75                   | 34.511,73             | 27,35 | 37,79        | 0,66             | 0,02                | 0,66  | 0,04   | 0,01                   | 34.774,04                            |
| 14,00                                                                              | 12,44                  | 35.711,70             | 27,39 | 48,79        | 0,85             | 0,05                | 0,85  | 0,06   | 0,03                   | 36.084,13                            |
| 16,00                                                                              | 16,49                  | 37.384,16             | 27,44 | 60,83        | 1,06             | 0,09                | 1,06  | 0,09   | 0,07                   | 37.876,85                            |
| 18,00                                                                              | 21,51                  | 39.580,42             | 27,50 | 73,65        | 1,29             | 0,16                | 1,29  | 0,13   | 0,16                   | 40.220,96                            |
| 20,00                                                                              | 25,71                  | 42.322,23             | 27,57 | 86,97        | 1,52             | 0,26                | 1,52  | 0,17   | 0,31                   | 43.084,19                            |
| 22,00                                                                              | 29,32                  | 45.521,82             | 27,66 | 100,24       | 1,75             | 0,38                | 1,75  | 0,22   | 0,54                   | 46.385,07                            |
| 24,00                                                                              | 32,26                  | 49.106,81             | 27,75 | 113,26       | 1,98             | 0,53                | 1,98  | 0,27   | 0,86                   | 50.049,02                            |
| 26,00                                                                              | 34,07                  | 52.951,58             | 27,84 | 125,75       | 2,19             | 0,69                | 2,19  | 0,32   | 1,25                   | 53.936,22                            |
| 28,00                                                                              | 35,01                  | 56.918,81             | 27,94 | 137,51       | 2,40             | 0,86                | 2,40  | 0,36   | 1,70                   | 57.918,05                            |
| 30,00                                                                              | 35,15                  | 60.909,14             | 28,03 | 148,50       | 2,59             | 1,03                | 2,59  | 0,40   | 2,19                   | 61.898,06                            |
| 32,00                                                                              | 34,45                  | 64.817,21             | 28,11 | 158,65       | 2,77             | 1,20                | 2,77  | 0,43   | 2,70                   | 65.769,76                            |
| 34,00                                                                              | 33,05                  | 68.549,70             | 28,19 | 167,90       | 2,93             | 1,36                | 2,93  | 0,46   | 3,19                   | 69.445,57                            |
| 36,00                                                                              | 31,02                  | 72.024,51             | 28,27 | 176,23       | 3,08             | 1,50                | 3,08  | 0,49   | 3,66                   | 72.845,64                            |
| 38,00                                                                              | 28,30                  | 75.175,56             | 28,33 | 183,59       | 3,20             | 1,63                | 3,20  | 0,51   | 4,08                   | 75.902,18                            |
| 40,00                                                                              | 24,97                  | 77.912,85             | 28,39 | 189,87       | 3,31             | 1,74                | 3,31  | 0,53   | 4,44                   | 78.528,68                            |
| 42,00                                                                              | 21,81                  | 80.225,63             | 28,43 | 195,11       | 3,41             | 1,83                | 3,41  | 0,54   | 4,75                   | 80.737,58                            |
| 44,00                                                                              | 18,44                  | 82.103,54             | 28,47 | 199,33       | 3,48             | 1,91                | 3,48  | 0,55   | 4,99                   | 82.507,09                            |
| 46,00                                                                              | 15,24                  | 83.558,24             | 28,50 | 202,59       | 3,54             | 1,96                | 3,54  | 0,55   | 5,17                   | 83.860,16                            |
| 48,00                                                                              | 12,38                  | 84.630,44             | 28,52 | 204,98       | 3,58             | 2,00                | 3,58  | 0,56   | 5,31                   | 84.842,56                            |
| 50,00                                                                              | 10,05                  | 85.368,42             | 28,53 | 206,63       | 3,61             | 2,03                | 3,61  | 0,56   | 5,40                   | 85.507,95                            |
| 52,00                                                                              | 8,05                   | 85.827,23             | 28,54 | 207,65       | 3,62             | 2,04                | 3,62  | 0,56   | 5,46                   | 85.904,85                            |
| 54,00                                                                              | 6,52                   | 86.060,05             | 28,54 | 208,17       | 3,63             | 2,05                | 3,63  | 0,56   | 5,49                   | 86.091,05                            |
| 56,00                                                                              | 5,19                   | 86.123,67             | 28,54 | 208,31       | 3,64             | 2,05                | 3,64  | 0,57   | 5,50                   | 86.114,46                            |
| 58,00                                                                              | 4,24                   | 86.041,47             | 28,54 | 208,12       | 3,63             | 2,05                | 3,63  | 0,56   | 5,49                   | 86.004,14                            |
| 60,00                                                                              | 3,46                   | 85.855,89             | 28,54 | 207,71       | 3,63             | 2,05                | 3,63  | 0,56   | 5,46                   | 85.795,93                            |
| 62,00                                                                              | 2,82                   | 85.587,73             | 28,53 | 207,11       | 3,61             | 2,04                | 3,61  | 0,56   | 5,43                   | 85.509,33                            |
| 64,00                                                                              | 2,27                   | 85.251,60             | 28,53 | 206,37       | 3,60             | 2,02                | 3,60  | 0,56   | 5,39                   | 85.158,05                            |
| 66,00                                                                              | 1,82                   | 84.857,84             | 28,52 | 205,49       | 3,59             | 2,01                | 3,59  | 0,56   | 5,34                   | 84.752,43                            |
| 68,00                                                                              | 1,43                   | 84.420,42             | 28,51 | 204,51       | 3,57             | 1,99                | 3,57  | 0,56   | 5,28                   | 84.304,94                            |
| 70,00                                                                              | 1,16                   | 83.947,70             | 28,50 | 203,46       | 3,55             | 1,97                | 3,55  | 0,56   | 5,22                   | 83.825,71                            |
| 72,00                                                                              | 0,95                   | 83.452,86             | 28,49 | 202,35       | 3,53             | 1,96                | 3,53  | 0,55   | 5,16                   | 83.326,53                            |
| 74,00                                                                              | 0,77                   | 82.942,03             | 28,48 | 201,21       | 3,51             | 1,94                | 3,51  | 0,55   | 5,10                   | 82.812,13                            |
| 76,00                                                                              | 0,59                   | 82.417,47             | 28,47 | 200,03       | 3,49             | 1,92                | 3,49  | 0,55   | 5,03                   | 82.284,28                            |
| 78,00                                                                              | 0,41                   | 81.879,77             | 28,46 | 198,83       | 3,47             | 1,90                | 3,47  | 0,55   | 4,96                   | 81.743,28                            |
| 80,00                                                                              | 0,27                   | 81.329,85             | 28,45 | 197,59       | 3,45             | 1,88                | 3,45  | 0,54   | 4,89                   | 81.191,18                            |
| 82,00                                                                              | 0,13                   | 80.772,68             | 28,44 | 196,34       | 3,43             | 1,85                | 3,43  | 0,54   | 4,82                   | 80.632,04                            |
| 84,00                                                                              | 0,01                   | 80.207,49             | 28,43 | 195,07       | 3,40             | 1,83                | 3,40  | 0,54   | 4,74                   | 80.065,55                            |

Tabela 5: Método de Puls Direto para a chuva de 30 minutos e 25 anos de recorrência.

## **5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS**

A aplicação do método de Puls direto para a Lagoa do Parque Sólon de Lucena resultou em uma elevação de 1,23 m para a chuva de 30 minutos de duração e 25 anos de recorrência e uma elevação de 1,35 m para a chuva de mesma duração.

Resultando nos seguintes cotogramas:

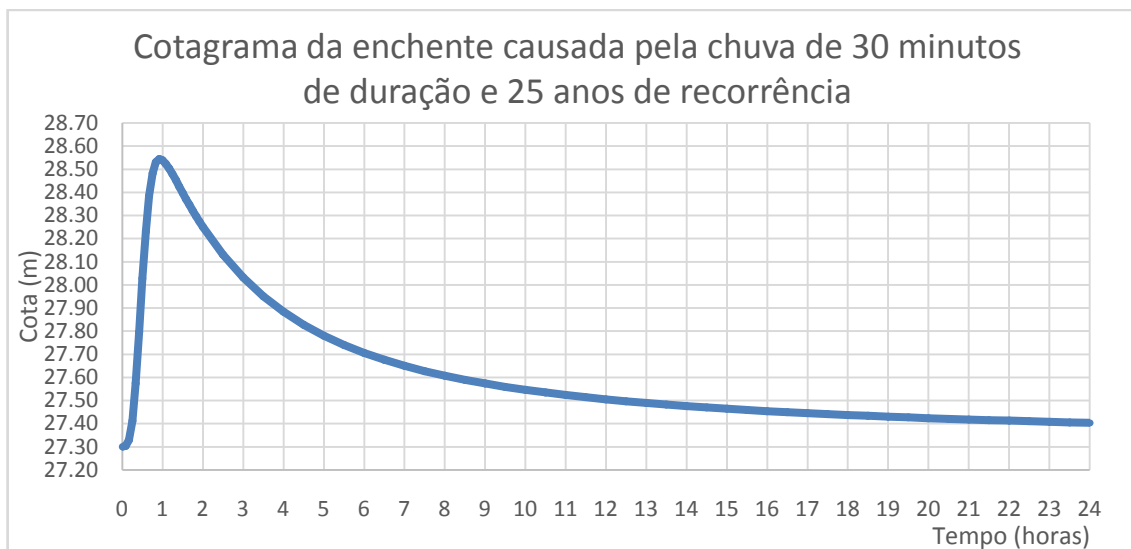


Gráfico 3: Cotagrama da enchente causada pela chuva de 30 minutos de duração e 25 anos de recorrência

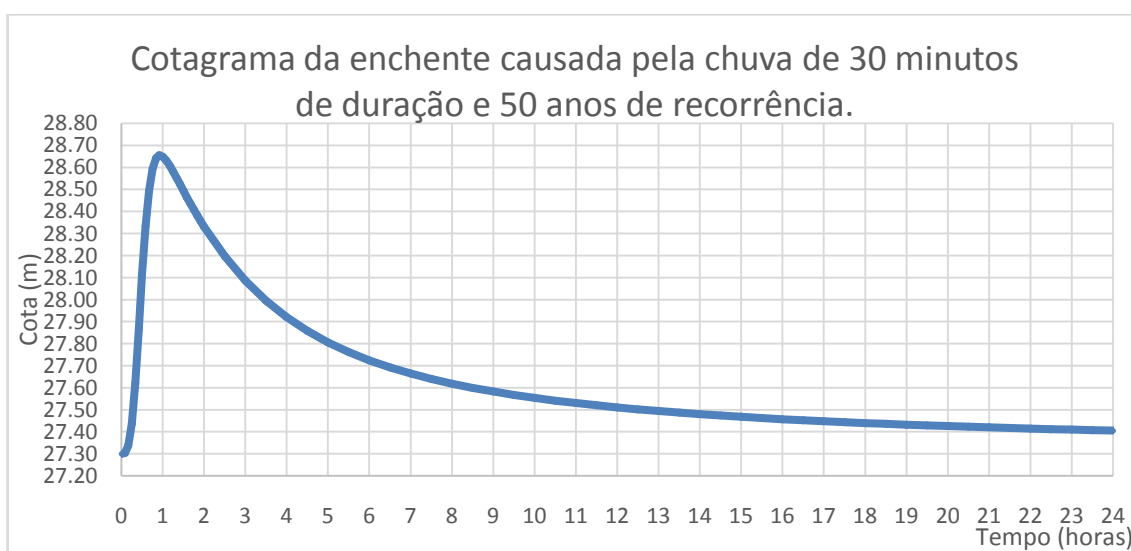


Gráfico 4: Cotagrama da enchente causada pela chuva de 30 minutos de duração e 50 anos de recorrência.

ACQUATOOL CONSULTORIA, 2013 obteve que o nível da lagoa subiu 1,90 m e que após a construção do novo trecho da galeria de vertimento, a lagoa seria capaz de suportar uma chuva de 1 hora de duração e 25 anos de recorrência.

A discrepância dos resultados se deve ao fato de ter sido considerado o estrangulamento da seção de 0,70m x 0,70m, bem como, do volume adicional armazenado ao longo da extensão da galeria de vertimento. Porém, a principal diferença se deve ao modelo adotado.

Neste trabalho, foi-se adotado uma metodologia hidrológica de propagação de cheias, a qual leva em consideração apenas a equação da continuidade em seus cálculos.

Nos Estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental para reabilitação do Parque Sólton de Lucena em João Pessoa – PB, foi-se utilizado o software HEC-RAS, o qual utiliza uma modelagem hidráulica em seus cálculos. Esta metodologia, além de levar em consideração o princípio da conservação da massa (Equação da Continuidade), também leva em consideração o princípio da conservação da quantidade de movimento.

Esta equação afirma que a taxa de acumulação de quantidade de movimento depende dos seguintes fatores:

- Variação do fluxo da quantidade de movimento;
- Força de pressão exercida pelo fluido sobre as paredes da galeria;
- Força da gravidade sobre o fluido no volume de controle;
- Força de Atrito entre a superfície lateral da galeria e o escoamento.

De acordo com a seguinte equação:

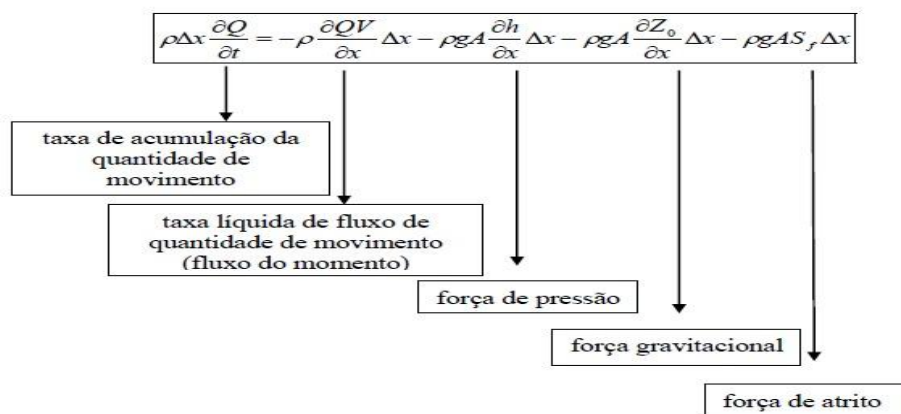


Figura 11: Equação utilizada no método hidráulico do HEC-RAS.  
Fonte: MING, 2007.

Onde:

$\rho$  = Densidade do fluido;

$\Delta x$  = Comprimento do Volume de Controle;

$Q$  = Vazão;

$V$  = Velocidade;

$g$  = Aceleração da gravidade;

$A$  = Área da Seção Transversal;

$Z_0$  = Cota de fundo da galeria;

$S_f$  = Declividade de fundo.

## **6. CONCLUSÃO**

A partir da aplicação do método de Puls para propagação de enchentes aplicado a lagoa Sólón de Lucena, obtemos que através da adoção de uma obra na qual será construída uma galeria tubular de 2,0 m de diâmetro, com redução da cota de vertimento em 1,0 metro, considerando um evento de chuva de 30 minutos de duração, com 25 anos de recorrência o nível da lagoa subirá em 1,24 m, alcançando



a cota de 28,54 m, valor inferior a cota limite de 29,3m, não causando assim, alagamento das áreas circunvizinhas ao parque.

A chuva de 30 minutos de duração e 50 anos de recorrência, gera uma elevação no nível de água da lagoa de 1,35 m, fazendo com que a lagoa alcance a cota de 28,65 m. Portanto, a construção desta obra, mesmo para um evento mais extremo como este, ainda evita o transbordamento da lagoa.

## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**ACQUATOOL CONSULTORIA; Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) para Reabilitação da Lagoa do Parque Sólon de Lucena em João Pessoa – PB; João Pessoa, 2013.**

**ALMEIDA, M. C. F.; A Lagoa no Centro das Atenções: O Parque Sólon de Lucena e a criação de espaços verdes públicos na capital paraibana na primeira metade do século XX. In: VIII Seminário de História da Cidade e do**

Urbanismo, 2004, Niterói -RJ. Anais do VIII Seminário de História da Cidade e do Urbanismo, 2004.

BRITO, F. S. R.; **Saneamento de Parahyba do Norte. Obras Completas.** Volume5. Rio de Janeiro: Imprensa Oficial, 1943.

COUTINHO, M.A; VIDAL, W.C; **Pelas ruas do mercado, o pulsar de velhos costumes e novos anseios: O desafio da requalificação do Mercado Central de João Pessoa.** In: Anais do 7º seminário DOCOMOMO, Porto Alegre, 2007. P. 3.

FRENSEL, K; **Geometria Analítica.** Aula 20. Março 2010. 14f. Notas de Aula. P.6

HERNANDEZ, H.; **Propagação de Enchentes em reservatórios – Método Direto.**RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 12. n.2 Abr/Jun 2007, p. 115-122.

MARINS, A. P; **Simulação Hidrológica do Reservatório do Vacacaí Mirim / Santa Maria – RS Utilizando o Sistema Iphs1 – 2004,**183 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Santa Maria – RS. 2004.

MING, L.; **Sistema Computacional Para Previsão De Inundações: Aplicação à bacia Hidrográfica do Rio São Bento – SC,** 2007, 225 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. 2007.

MOLLE, F.; CADIER, E.; **Manual do Pequeno Açude,** SUDENE. 1992. 528 p.

PAULINO, M. C. P; **História e Urbanização: Liminaridades do Parque Sólón de Lucena, João Pessoa-PB.** In: I Encontro Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (ENANPARQ). Rio de Janeiro, 2010.

**População de Centro – João Pessoa.** 2010. Disponível em:< <http://www.brasilsabido.com.br/populacao/joao-pessoa-pb/centro-17948.html>>.

Acesso em: 25 de abril de 2016.

**Revitalização e modernização do Parque Sólón de Lucena – (Lagoa)**<<http://transparencia.joao Pessoa.pb.gov.br/704/revitalizacao-e-modernizacao-do-parque-solon-de-lucena-lagoa.html>>. Acesso em 30 de abril de 2016

SEGAWA, H.;**Arquiteturas no Brasil, 1900 – 1990.**2 ed. São Paulo: Edusp, 1999.

SILVESTRE, P. **Hidráulica Geral**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979. 316p.;

TUCCI, C.E.M.; **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. Coleção ABHR de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS. 1993.

VEIGA, L. A. K.; **Topografia: Cálculo de Volumes**, Setembro-2007. 53 f. Notas de Aula. P. 35.

WILKEN, P. S.; **Engenharia de Drenagem Superficial**. CETESB – Companhia de tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, SP. 1978, p. 127-128.

## **8. APÊNDICE**

### **8.1 APÊNDICE A**

A partir do hidrograma afluente abaixo é feita a construção de uma tabela da vazão afluente com intervalos de 0,5 minuto.

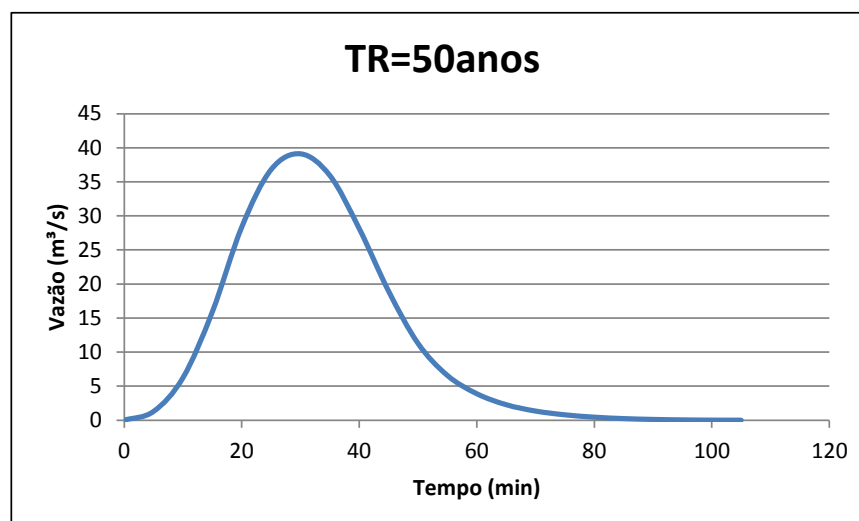


Gráfico 5: Hidrograma da Chuva de 30 minutos de duração e 50 anos de recorrência.

Fonte: Acquatool Consultoria, 2013.

Obtendo-se:

| Tempo (min) | QA (m <sup>3</sup> /s) | Tempo (min) | QA (m <sup>3</sup> /s) | Tempo (min) | QA (m <sup>3</sup> /s) | Tempo (min) | QA (m <sup>3</sup> /s) | Tempo (min) | QA (m <sup>3</sup> /s) |
|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|
| 0,00        | 0,00                   | 18,00       | 23,47                  | 36,00       | 34,72                  | 54,00       | 7,30                   | 72,00       | 1,15                   |
| 0,50        | 0,06                   | 18,50       | 24,86                  | 36,50       | 34,02                  | 54,50       | 6,92                   | 72,50       | 1,09                   |
| 1,00        | 0,12                   | 19,00       | 26,09                  | 37,00       | 33,30                  | 55,00       | 6,56                   | 73,00       | 1,03                   |
| 1,50        | 0,19                   | 19,50       | 27,32                  | 37,50       | 32,54                  | 55,50       | 6,21                   | 73,50       | 0,97                   |
| 2,00        | 0,26                   | 20,00       | 28,46                  | 38,00       | 31,71                  | 56,00       | 5,88                   | 74,00       | 0,91                   |
| 2,50        | 0,35                   | 20,50       | 29,45                  | 38,50       | 30,83                  | 56,50       | 5,57                   | 74,50       | 0,86                   |
| 3,00        | 0,45                   | 21,00       | 30,38                  | 39,00       | 29,99                  | 57,00       | 5,28                   | 75,00       | 0,81                   |
| 3,50        | 0,58                   | 21,50       | 31,34                  | 39,50       | 29,19                  | 57,50       | 5,01                   | 75,50       | 0,77                   |
| 4,00        | 0,73                   | 22,00       | 32,34                  | 40,00       | 28,36                  | 58,00       | 4,77                   | 76,00       | 0,73                   |
| 4,50        | 0,93                   | 22,50       | 33,28                  | 40,50       | 27,47                  | 58,50       | 4,54                   | 76,50       | 0,69                   |
| 5,00        | 1,18                   | 23,00       | 34,08                  | 41,00       | 26,52                  | 59,00       | 4,33                   | 77,00       | 0,65                   |
| 5,50        | 1,50                   | 23,50       | 34,80                  | 41,50       | 25,54                  | 59,50       | 4,13                   | 77,50       | 0,62                   |
| 6,00        | 1,86                   | 24,00       | 35,45                  | 42,00       | 24,58                  | 60,00       | 3,93                   | 78,00       | 0,59                   |
| 6,50        | 2,24                   | 24,50       | 36,05                  | 42,50       | 23,63                  | 60,50       | 3,73                   | 78,50       | 0,56                   |
| 7,00        | 2,65                   | 25,00       | 36,63                  | 43,00       | 22,67                  | 61,00       | 3,54                   | 79,00       | 0,52                   |
| 7,50        | 3,08                   | 25,50       | 37,20                  | 43,50       | 21,73                  | 61,50       | 3,35                   | 79,50       | 0,49                   |
| 8,00        | 3,57                   | 26,00       | 37,73                  | 44,00       | 20,79                  | 62,00       | 3,17                   | 80,00       | 0,46                   |
| Tempo (min) | QA (m <sup>3</sup> /s) | Tempo (min) | QA (m <sup>3</sup> /s) | Tempo (min) | QA (m <sup>3</sup> /s) | Tempo (min) | QA (m <sup>3</sup> /s) | Tempo (min) | QA (m <sup>3</sup> /s) |
| 8,50        | 4,16                   | 26,50       | 38,17                  | 44,50       | 19,88                  | 62,50       | 2,99                   | 80,50       | 0,42                   |
| 9,00        | 4,85                   | 27,00       | 38,51                  | 45,00       | 19,02                  | 63,00       | 2,82                   | 81,00       | 0,39                   |
| 9,50        | 5,61                   | 27,50       | 38,76                  | 45,50       | 18,22                  | 63,50       | 2,67                   | 81,50       | 0,35                   |
| 10,00       | 6,39                   | 28,00       | 38,95                  | 46,00       | 17,42                  | 64,00       | 2,52                   | 82,00       | 0,32                   |
| 10,50       | 7,18                   | 28,50       | 39,08                  | 46,50       | 16,57                  | 64,50       | 2,38                   | 82,50       | 0,29                   |
| 11,00       | 7,98                   | 29,00       | 39,17                  | 47,00       | 15,73                  | 65,00       | 2,25                   | 83,00       | 0,25                   |

|       |       |       |       |       |       |       |      |       |      |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| 11,50 | 8,80  | 29,50 | 39,20 | 47,50 | 14,98 | 65,50 | 2,13 | 83,50 | 0,22 |
| 12,00 | 9,67  | 30,00 | 39,18 | 48,00 | 14,28 | 66,00 | 2,02 | 84,00 | 0,18 |
| 12,50 | 10,58 | 30,50 | 39,11 | 48,50 | 13,51 | 66,50 | 1,91 | 84,50 | 0,15 |
| 13,00 | 11,55 | 31,00 | 38,98 | 49,00 | 12,67 | 67,00 | 1,82 | 85,00 | 0,11 |
| 13,50 | 12,58 | 31,50 | 38,79 | 49,50 | 11,94 | 67,50 | 1,74 | 85,50 | 0,08 |
| 14,00 | 13,68 | 32,00 | 38,54 | 50,00 | 11,33 | 68,00 | 1,66 | 86,00 | 0,05 |
| 14,50 | 14,81 | 32,50 | 38,25 | 50,50 | 10,77 | 68,50 | 1,58 | 86,50 | 0,01 |
| 15,00 | 15,94 | 33,00 | 37,91 | 51,00 | 10,22 | 69,00 | 1,52 | 87,00 | 0,00 |
| 15,50 | 17,10 | 33,50 | 37,53 | 51,50 | 9,68  | 69,50 | 1,45 | 87,50 | 0,00 |
| 16,00 | 18,33 | 34,00 | 37,10 | 52,00 | 9,16  | 70,00 | 1,39 | -     | -    |
| 16,50 | 19,59 | 34,50 | 36,60 | 52,50 | 8,64  | 70,50 | 1,33 | -     | -    |
| 17,00 | 20,81 | 35,00 | 36,03 | 53,00 | 8,16  | 71,00 | 1,27 | -     | -    |
| 17,50 | 22,05 | 35,50 | 35,39 | 53,50 | 7,71  | 71,50 | 1,21 | -     | -    |

Tabela 6: Discretização do hidrograma afluente em intervalos de 0,5 min.

## 8.2 APENDICE B

Com os dados do Apêndice A torna-se possível iniciar a simulação abaixo.

| Método de Puls Direto para chuva de 30 minutos de duração e 50 anos de recorrência |                        |                                   |       |        |          |                     |       |        |                        |                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------------------|-------|--------|----------|---------------------|-------|--------|------------------------|----------------------------------------|
| Tempo (min)                                                                        | QA (m <sup>3</sup> /s) | VR <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> ) | H (m) | θ (°)  | θ* (rad) | A (m <sup>2</sup> ) | P (m) | Rh (m) | QE (m <sup>3</sup> /s) | VR <sub>(t+ΔT)</sub> (m <sup>3</sup> ) |
| 0,00                                                                               | 0,00                   | 32.724,92                         | 27,30 | 0,00   | 0,00     | 0,00                | 0,00  | 0,00   | 0,00                   | 32.724,92                              |
| 2,00                                                                               | 0,26                   | 32.735,83                         | 27,30 | 2,95   | 0,05     | 0,00                | 0,05  | 0,00   | 0,00                   | 32.743,71                              |
| 4,00                                                                               | 0,73                   | 32.785,27                         | 27,30 | 6,95   | 0,12     | 0,00                | 0,12  | 0,00   | 0,00                   | 32.807,30                              |
| 6,00                                                                               | 1,86                   | 32.915,78                         | 27,31 | 12,37  | 0,22     | 0,00                | 0,22  | 0,00   | 0,00                   | 32.971,66                              |
| 8,00                                                                               | 3,57                   | 33.210,83                         | 27,31 | 19,73  | 0,34     | 0,00                | 0,34  | 0,01   | 0,00                   | 33.318,04                              |
| 10,00                                                                              | 6,39                   | 33.756,45                         | 27,33 | 28,73  | 0,50     | 0,01                | 0,50  | 0,02   | 0,00                   | 33.948,04                              |
| 12,00                                                                              | 9,67                   | 34.666,28                         | 27,36 | 39,38  | 0,69     | 0,03                | 0,69  | 0,04   | 0,01                   | 34.956,05                              |
| 14,00                                                                              | 13,68                  | 35.995,46                         | 27,40 | 51,04  | 0,89     | 0,06                | 0,89  | 0,06   | 0,04                   | 36.404,75                              |
| 16,00                                                                              | 18,33                  | 37.835,35                         | 27,45 | 63,68  | 1,11     | 0,11                | 1,11  | 0,10   | 0,09                   | 38.382,55                              |
| 18,00                                                                              | 23,47                  | 40.244,32                         | 27,52 | 77,09  | 1,35     | 0,19                | 1,35  | 0,14   | 0,19                   | 40.942,80                              |
| 20,00                                                                              | 28,46                  | 43.266,62                         | 27,60 | 91,09  | 1,59     | 0,30                | 1,59  | 0,19   | 0,38                   | 44.109,17                              |
| 22,00                                                                              | 32,34                  | 46.799,32                         | 27,69 | 105,07 | 1,83     | 0,43                | 1,83  | 0,24   | 0,65                   | 47.750,20                              |
| 24,00                                                                              | 35,45                  | 50.741,17                         | 27,79 | 118,73 | 2,07     | 0,60                | 2,07  | 0,29   | 1,02                   | 51.774,12                              |
| 26,00                                                                              | 37,73                  | 54.959,47                         | 27,89 | 131,82 | 2,30     | 0,78                | 2,30  | 0,34   | 1,48                   | 56.047,24                              |
| 28,00                                                                              | 38,95                  | 59.355,12                         | 27,99 | 144,30 | 2,52     | 0,97                | 2,52  | 0,38   | 2,00                   | 60.463,85                              |
| 30,00                                                                              | 39,18                  | 63.782,47                         | 28,09 | 156,01 | 2,72     | 1,16                | 2,72  | 0,43   | 2,56                   | 64.881,09                              |
| Tempo (min)                                                                        | QA (m <sup>3</sup> /s) | VR <sub>t</sub> (m <sup>3</sup> ) | H (m) | θ (°)  | θ* (rad) | A (m <sup>2</sup> ) | P (m) | Rh (m) | QE (m <sup>3</sup> /s) | VR <sub>(t+ΔT)</sub> (m <sup>3</sup> ) |
| 32,00                                                                              | 38,54                  | 68.130,96                         | 28,19 | 166,88 | 2,91     | 1,34                | 2,91  | 0,46   | 3,14                   | 69.193,07                              |
| 34,00                                                                              | 37,10                  | 72.296,23                         | 28,27 | 176,87 | 3,09     | 1,52                | 3,09  | 0,49   | 3,69                   | 73.298,38                              |
| 36,00                                                                              | 34,72                  | 76.182,71                         | 28,35 | 185,91 | 3,24     | 1,67                | 3,24  | 0,52   | 4,21                   | 77.097,84                              |
| 38,00                                                                              | 31,71                  | 79.693,24                         | 28,42 | 193,91 | 3,38     | 1,81                | 3,38  | 0,54   | 4,68                   | 80.504,12                              |
| 40,00                                                                              | 28,36                  | 82.765,05                         | 28,48 | 200,81 | 3,50     | 1,93                | 3,50  | 0,55   | 5,07                   | 83.463,69                              |
| 42,00                                                                              | 24,58                  | 85.377,30                         | 28,53 | 206,65 | 3,61     | 2,03                | 3,61  | 0,56   | 5,40                   | 85.952,51                              |
| 44,00                                                                              | 20,79                  | 87.494,70                         | 28,57 | 211,36 | 3,69     | 2,10                | 3,69  | 0,57   | 5,66                   | 87.948,47                              |

|       |       |           |       |        |      |      |      |      |      |           |
|-------|-------|-----------|-------|--------|------|------|------|------|------|-----------|
| 46,00 | 17,42 | 89.142,79 | 28,60 | 215,02 | 3,75 | 2,16 | 3,75 | 0,58 | 5,86 | 89.489,48 |
| 48,00 | 14,28 | 90.372,99 | 28,62 | 217,76 | 3,80 | 2,21 | 3,80 | 0,58 | 6,01 | 90.621,04 |
| 50,00 | 11,33 | 91.219,25 | 28,64 | 219,65 | 3,83 | 2,24 | 3,83 | 0,58 | 6,11 | 91.375,94 |
| 52,00 | 9,16  | 91.743,66 | 28,65 | 220,82 | 3,85 | 2,25 | 3,85 | 0,58 | 6,17 | 91.833,41 |
| 54,00 | 7,30  | 92.012,32 | 28,65 | 221,42 | 3,86 | 2,26 | 3,86 | 0,59 | 6,20 | 92.045,53 |
| 56,00 | 5,88  | 92.078,00 | 28,65 | 221,56 | 3,87 | 2,27 | 3,87 | 0,59 | 6,20 | 92.068,32 |
| 58,00 | 4,77  | 91.986,12 | 28,65 | 221,36 | 3,86 | 2,26 | 3,86 | 0,59 | 6,19 | 91.943,25 |
| 60,00 | 3,93  | 91.776,79 | 28,65 | 220,89 | 3,86 | 2,25 | 3,86 | 0,58 | 6,17 | 91.709,62 |
| 62,00 | 3,17  | 91.474,65 | 28,64 | 220,22 | 3,84 | 2,24 | 3,84 | 0,58 | 6,14 | 91.385,68 |
| 64,00 | 2,52  | 91.089,91 | 28,64 | 219,36 | 3,83 | 2,23 | 3,83 | 0,58 | 6,09 | 90.982,64 |
| 66,00 | 2,02  | 90.639,23 | 28,63 | 218,36 | 3,81 | 2,22 | 3,81 | 0,58 | 6,04 | 90.518,57 |
| 68,00 | 1,66  | 90.141,80 | 28,62 | 217,25 | 3,79 | 2,20 | 3,79 | 0,58 | 5,98 | 90.012,10 |
| 70,00 | 1,39  | 89.613,29 | 28,61 | 216,07 | 3,77 | 2,18 | 3,77 | 0,58 | 5,92 | 89.477,50 |
| 72,00 | 1,15  | 89.062,08 | 28,60 | 214,84 | 3,75 | 2,16 | 3,75 | 0,58 | 5,85 | 88.920,91 |
| 74,00 | 0,91  | 88.489,57 | 28,59 | 213,57 | 3,73 | 2,14 | 3,73 | 0,57 | 5,78 | 88.343,41 |
| 76,00 | 0,73  | 87.899,28 | 28,58 | 212,26 | 3,70 | 2,12 | 3,70 | 0,57 | 5,71 | 87.749,69 |
| 78,00 | 0,59  | 87.297,53 | 28,57 | 210,92 | 3,68 | 2,10 | 3,68 | 0,57 | 5,64 | 87.145,96 |
| 80,00 | 0,46  | 86.688,93 | 28,56 | 209,57 | 3,66 | 2,08 | 3,66 | 0,57 | 5,57 | 86.535,66 |
| 82,00 | 0,32  | 86.073,06 | 28,54 | 208,20 | 3,63 | 2,05 | 3,63 | 0,57 | 5,49 | 85.917,95 |
| 84,00 | 0,18  | 85.449,92 | 28,53 | 206,81 | 3,61 | 2,03 | 3,61 | 0,56 | 5,41 | 85.293,03 |
| 86,00 | 0,05  | 84.819,69 | 28,52 | 205,40 | 3,58 | 2,01 | 3,58 | 0,56 | 5,33 | 84.661,05 |
| 87,00 | 0,00  | 84.503,47 | 28,51 | 204,70 | 3,57 | 2,00 | 3,57 | 0,56 | 5,29 | 84.344,66 |

Tabela 7: Método de Puls Direto para a chuva de 30 minutos de duração e 25 anos de recorrência.