



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

PALOMA COLMANA MARTINS DE FIGUEIREDO

**EXPANSÃO URBANA VERSUS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: UM
ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE ARARUNA - PB**

**ARARUNA - PB
2017**

PALOMA COLMANA MARTINS DE FIGUEIREDO

**EXPANSÃO URBANA VERSUS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: UM
ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE ARARUNA - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Hidráulica.

Orientador: Prof^a. Me. Maria José de Sousa Cordão.

**ARARUNA - PB
2017**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

F475e Figueiredo, Paloma Colmana Martins de.
Expansão urbana versus redes de distribuição de água [manuscrito] : um estudo de caso na cidade de Araruna - PB / Paloma Colmana Martins de Figueiredo. - 2017.
36 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2017.

"Orientação : Profa. Ma. Maria José de Sousa Cordão ,
Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."

1. Abastecimento de água. 2. Distribuição de água. 3.
Engenharia sanitária.

21. ed. CDD 628.1

PALOMA COLMANA MARTINS DE FIGUEIREDO

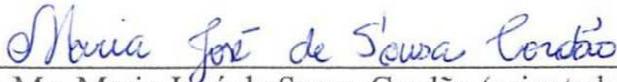
EXPANSÃO URBANA VERSUS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: UM ESTUDO
DE CASO NA CIDADE DE ARARUNA - PB

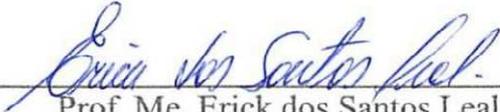
Artigo apresentado ao Programa de Graduação
em Engenharia Civil da Universidade Estadual
da Paraíba, como requisito parcial à obtenção
do título de bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Hidráulica.

Aprovada em: 06/12/2017.

BANCA EXAMINADORA


Prof.^a. Me. Maria José de Sousa Cordão (orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Me. Erick dos Santos Leal
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Me. Igor Souza Ogata
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A minha mãe e meu pai, pela dedicação,
companheirismo e incentivo, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois sem Ele não teria chegado até aqui.

A minha mãe e meu pai, que sempre acreditaram em mim e me ajudaram, de todas as maneiras possíveis, para a realização desse sonho.

A minhas irmãs Jéssica e Ranielly, por todo amor. Sempre me apoiando e incentivando.

Ao meu sobrinho, Isaac, que desde sua chegada ao mundo tornou-se meu incentivo. Que no futuro ele tenha em mente que conhecimento nunca é demais.

A professora Maria José de Sousa Cordão, pelas leituras sugeridas ao longo dessa orientação e pela dedicação.

A Paulo César Ferreira Dias Filho, por todo apoio ao longo desses anos de graduação.

A todos que contribuíram, mesmo que minimamente, a minha formação moral e intelectual.

“Humildade não é subserviência. Uma pessoa humilde é aquela que sabe que não sabe de tudo. Aquela que sabe que não é a única que sabe. Aquela que sabe que ela e outra pessoa saberão muita coisa juntas. Aquela que sabe que ela e outra pessoa nunca saberão tudo que se pode ser sabido.”

(Mario Sergio Cortella)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo Geral	8
2.2 Objetivos Específicos	9
3 METODOLOGIA	9
3.1 Área de estudo	9
3.1.1 Levantamento geográfico	9
3.1.2 Levantamento demográfico	10
3.1.3 Caracterização do sistema urbano de distribuição de água	11
3.2 Expansão urbana da cidade de Araruna – PB	12
3.2.1 Análise espacial da expansão urbana	14
3.2.1.1 Etapas do georreferenciamento das imagens	14
3.2.1.2 Aplicação de composição	16
3.2.1.3 Delimitação da zona urbana no SPRING	16
3.3 Análise da pressão da rede através da simulação hidráulica	17
3.3.1 EPANET e suas funções	17
3.3.2 Componentes físicos do EPANET	18
3.3.3 Obtenção de dados para simulação hidráulica	19
3.3.3.1 Nó	20
3.3.3.2 Reservatório de Nível variado	21
3.3.3.3 Tubulações	23
3.3.4 Simulação Dinâmica no EPANET	23
4 RESULTADOS	24
4.1 Expansão urbana da cidade de Araruna – PB	24
4.2 Simulação hidráulica da rede de abastecimento de água da cidade de Araruna – PB	27
5 CONCLUSÕES	31
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

EXPANSÃO URBANA VERSUS REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: UM ESTUDO DE CASO NA CIDADE DE ARARUNA - PB

Paloma Colmana Martins de Figueiredo*

RESUMO

Mesmo utilizando estimativas de população futura para o dimensionamento de uma rede de distribuição de água, a expansão urbana é considerada um dos impactos que pode gerar um mau funcionamento da rede de distribuição, pois muitas áreas urbanas se desenvolvem mais rapidamente do que os serviços essenciais, como o abastecimento de água. Utilizou-se imagens de sensores remotos dos satélites Landsat 5 e RES 2, através do software SPRING, para análise histórica de expansão urbana, bem como o EPANET para realizar simulações hidráulicas. Os resultados mostram baseado no crescimento urbano da cidade de Araruna – PB, que não houve impactos significativos na rede, tendo em vista o cumprimento da norma no que se refere às pressões estáticas e dinâmicas (NBR 12.218/2017), entretanto há nós com pressões muito próximas da pressão dinâmica normatizada. Outras questões, como tubulações antigas, que apresentam vazamentos não visuais, podem está influenciando no não atendimento das vazões. Sugere que em trabalhos futuros uma simulação com representação das perdas reais, seja realizada, para um maior grau de confiabilidade de dados.

Palavras-Chave: Área urbana. Rede de distribuição de água. Otimização.

1 INTRODUÇÃO

Com a revolução industrial, o êxodo rural e a centralização urbana acarretaram grandes avanços tecnológicos e constante crescimento demográfico. Essa expansão urbana, na maioria das vezes, se deu de forma desordenada, sem planos definido de ocupação, especialmente quando se trata de planejamento de infraestruturas básicas.

De acordo com Araújo (2012) o crescimento demográfico e a expansão urbana ocorrem de forma simultânea e quase sempre ocasionam mudanças no espaço urbano podendo provocar diversos impactos no meio urbano, a exemplo da rede de distribuição de água (RDA).

Uma RDA é dimensionada para abastecer uma população, em um horizonte de projeto variando de 20 a 30 anos (HELLER e PÁDUA, 2010). Para que esta RDA funcione adequadamente durante toda sua vida útil, é importante que seja realizado um planejamento e gerenciamento com base no conhecimento da demanda de água.

* Aluna de Graduação em Engenharia Civil na Universidade Estadual da Paraíba – Campus VIII.
Email: pcolmana@gmail.com

Mesmo utilizando a demanda futura, através de estimativa populacional para o dimensionamento de um RDA, a expansão urbana além da prevista é considerada um dos impactos que pode acarretar um mau funcionamento e/ou mau atendimento à demanda.

De acordo com a NBR 12.218/2017, a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 40 m.c.a., podendo chegar a 50 m.c.a. em regiões com topografia acidentada, e a pressão dinâmica mínima, de 10 m.c.a.. Nas áreas em que as pressões estão muito abaixo destes valores de referência, há probabilidade de ser devido ao crescimento dos sistemas de distribuição, que por sua vez, se origina da expansão urbana e conseqüentemente da demanda por água.

Nesse sentido, com o crescente aumento demográfico em função do desenvolvimento das cidades, verifica-se a ampliação da demanda por recursos hídricos, bem como um adequado atendimento à demanda, pois quando a densidade demográfica em uma cidade aumenta, torna-se necessário um maior controle da distribuição e da qualidade da água. Os mapas de densidade demográfica informam a necessidade de novas infraestruturas, tendo em vista que a expansão urbana está diretamente relacionada ao crescimento e distribuição espacial da população (COSTA e ALVES, 2008).

Apoiando-se em ferramentas de geoprocessamento e simulação hidráulica, propõe-se investigar o atendimento da demanda de água através do estudo dos critérios associados, a exemplo da mínima pressão necessária na rede.

Por apresentar considerável crescimento nos últimos anos, uma rede de distribuição de água com mais de 20 anos de uso e uma quantidade significativa de instalações de fontes alternativas de abastecimento de água, a exemplo de poços e cisternas, o sistema de distribuição de água de Araruna-PB foi escolhido para realizar a proposta do estudo.

Como citado em Silva *et al.* (2015): há um quantitativo de poços artesianos no valor 59 unidades, das quais 6 são comunitários, 45 particulares e 8 unidades com uso indefinido. Apesar da região a cinco anos está em um período de seca, observa-se que essas fontes alternativas são utilizadas mesmo em períodos chuvosos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Investigar a relação entre a expansão urbana e o desempenho das redes de abastecimento de água do município de Araruna – PB.

2.2 Objetivos Específicos

- Através de imagens dos satélites Landsat 5 e RES 2, analisar a expansão da mancha urbana na cidade de Araruna - PB.
- Realizar simulação hidráulica para verificar as pressões na rede de distribuição de água frente à NBR 12.218/2017.
- Caracterizar a RDA e a expansão urbana da cidade de Araruna – PB.

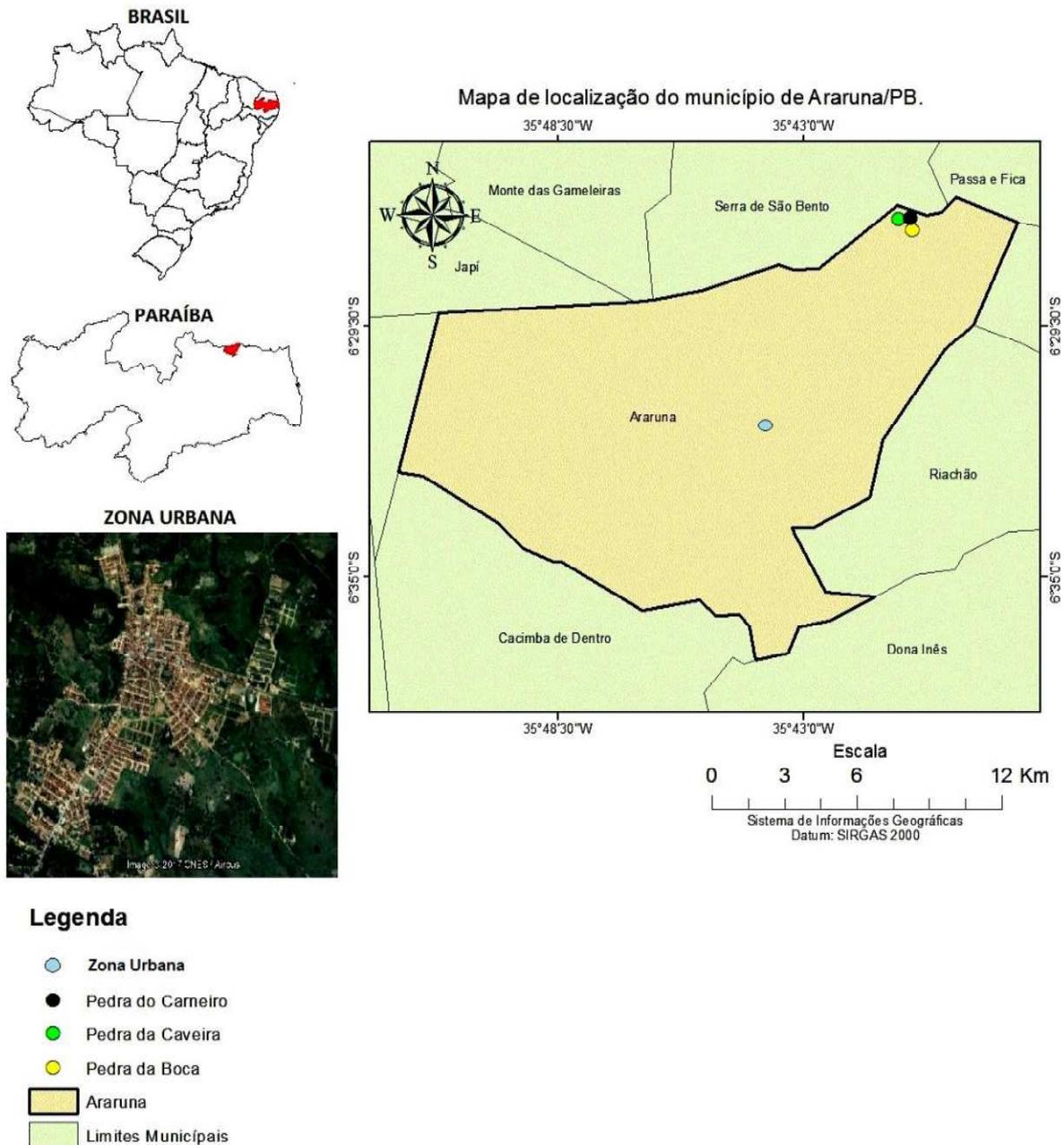
3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudo

3.1.1 Levantamento geográfico

O município de Araruna – PB está localizado na microrregião do Curimataú Oriental no Agreste Paraibano, sob uma chapada sedimentar com 580 metros de altitude. Apresentando uma extensão territorial total equivalente a 245,72 km². A Figura 1 apresenta o limite do município de Araruna – PB e localização da zona urbana do ano de 2016.

Figura 1- Mapa de Localização do município de Araruna-PB

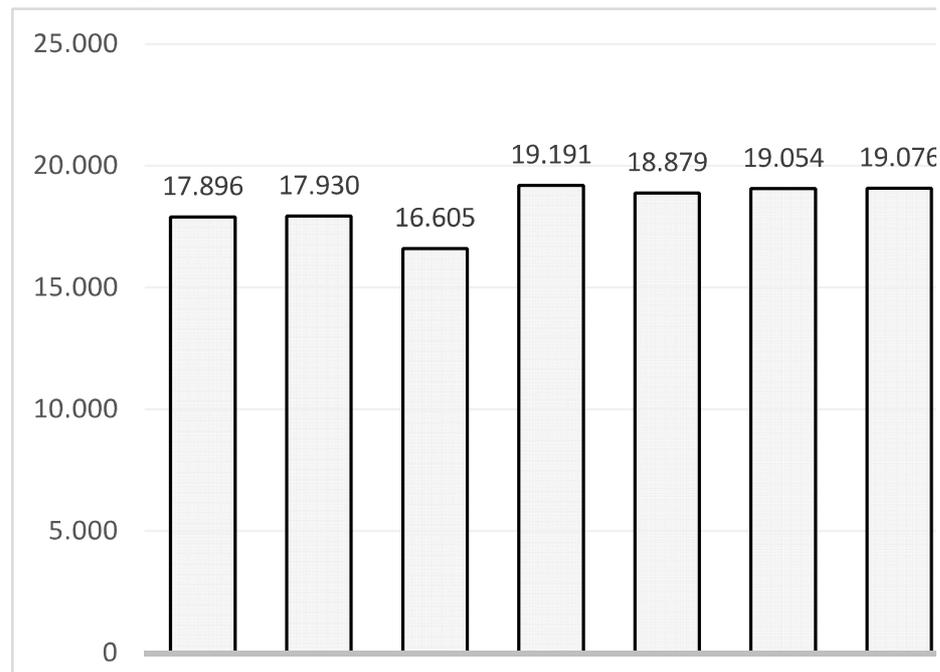


Fonte: Adaptado Chaves *et al.* (2016) e Google Earth (2016).

3.1.2 Levantamento demográfico

Conforme os censos demográficos realizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município de Araruna sofreu um significativo aumento populacional, dentre os anos analisados destaca-se o crescimento correspondente a 13,7% no ano de 2010, em relação aos ano 2000. A população no último censo (2010) foi de 18.879 habitantes. Para o ano de 2017, estimou-se 20.418 habitantes, conforme Figura 2.

Figura 2- Quantidade de habitante da cidade de Araruna - PB



Fonte: IBGE (2017).

3.1.3 Caracterização do sistema urbano de distribuição de água

O sistema de abastecimento de água de Araruna – PB é atendido pela barragem de Canafistula II, localizada no município de Borborema – PB, cuja capacidade máxima chega a 4.102.626 m³ (AESAs, 2017). Segundo a Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), a barragem foi projetada para abastecer plenamente as cidades de Solânea, Bananeiras, Cacimba de Dentro, Araruna, Riachão, Tacima, Dona Inês, Damião e os distritos de Barreiros, Logradouro, Cozinha, Cachoeirinha e Bola.

Do manancial partem dois sistemas de captação de água, com uma estação elevatória em cada. Destes, o que recalca água bruta para Araruna é constituído por uma adutora de DN 400 mm em ferro fundido até a Estação de Tratamento de Água (ETA). Após o tratamento, a água é aduzida para a cidade através de uma tubulação de ferro de DN 250 mm até o reservatório principal de distribuição. O reservatório de distribuição possui um volume equivalente a 500.000 litros, de onde é demandada para cidade por meio de tubulações de diâmetros nominais equivalentes a 200 mm, 100 mm, 75mm e 50 mm. (CAGEPA, 2016)

3.2 Expansão urbana da cidade de Araruna – PB

Para análise da expansão urbana, utilizaram-se técnicas de sensoriamento remoto. A observação da Terra por sensoriamento remoto é a interpretação e compreensão de medições feitas por instrumentos no ar ou de satélites, da radiação eletromagnética que é refletida ou emitida por objetos nas superfícies da Terra. Fitz (2008) define sensoriamento remoto como a técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre, destacando que não há nenhum contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto.

Os sensores captam a energia refletida ou emitida por uma superfície qualquer e registram na forma de dados digitais diversos. Estes podem ser manipulados, analisados e armazenados por meio de softwares específicos. Os sensores são as máquinas fotográficas dos satélites (FIGUEIREDO, 2005).

A qualidade de um sensor geralmente é especificada pela sua capacidade de obter medidas detalhadas da energia eletromagnética. Segundo Moraes (2002) as características dos sensores estão relacionadas com a resolução espacial, espectral e radiométrica. A resolução espacial é a capacidade de o sensor distinguir objetos. Ela indica o tamanho do menor elemento da superfície individualizado pelo sensor. A resolução espacial depende principalmente do detector, da altura do posicionamento do sensor em relação ao objeto.

Um objeto só pode ser detectado, quando o tamanho deste é no mínimo, igual ou maior do que o tamanho do elemento de resolução do terreno, ou seja, da resolução espacial (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Sensores remotos podem ser colocados em aeronaves, para obter imagens da superfície da Terra, entretanto estas plataformas são operacionalmente caras e limitadas. Com isso, utiliza-se de satélites artificiais para instalação dos sensores remotos. Os benefícios da utilização de satélites artificiais é que além dele poder ficar girando em órbita da Terra por um longo tempo, e não necessitar de combustível para isso, ainda permite que imagens de grandes extensões da superfície terrestre sejam obtidas de forma repetitiva e a um custo relativamente baixo (STEFFEN, 1996).

A Tabela 1 e 2 apresentam as características dos satélites e sensores, respectivamente, utilizados para análise da expansão urbana de Araruna – PB.

Tabela 1 - Características dos satélites artificiais Landsat 5 e RES2

Características	Landsat 5	ResourceSat - 2 (RES2)
Instituição Responsável	NASA	IRSO
País/Região	Estados Unidos	Índia
Lançamento	01/03/1984	2003
Situação atual	Inativo (22/11/2011)	Em atividade
Órbita	Quase-Polar, Heliossíncrona	Circular Polar, Heliossíncrona
Altitude	705 km	822 km
Inclinação	98,20°	98,73°
Tempo de duração da órbita	98,20 min	101,35 min
Horário de Passagem	09h / 11h	09h/ 12h
Período da Revisita	16 dias	24 dias
Instrumentos Sensores	MSS e TM	LISS 3, LISS 4, AWIFS e AIS

Fonte: Adaptado INPE (2016).

Tabela 2 - Características dos sensores remotos TM e LISS 3

	Sensores	
	TM	LISS 3
Frequência de aquisição de imagens	16 dias	24 dias
Resolução espacial	30 m	23,5 m
	120 m (Banda 6)	22 m
Resolução radiométrica	8 bits	7 bits
Resolução espectral	Banda 1 - 0.45-0.52	Banda 2 - 0.52-0.59
	Banda 2 - 0.52-0.60	Banda 3 - 0.62-0.68
	Banda 3 - 0.63-0.69	Banda 4 - 0.77-0.86
	Banda 4 - 0.76-0.90	Banda 5 - 1.55-1.70
	Banda 5 - 1.55-1.75	
	Banda 6 - 10.74-12.5	
	Banda 7 - 2.08 -2.35	

Fonte: Adaptado INPE (2016).

3.2.1 Análise espacial da expansão urbana

Para as análises espaciais das imagens de sensores TM e LISS 3 dos satélites Landsat 5 e RES 2, respectivamente. Optou-se por utilizar o software de domínio público, SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), disponível no site do INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais).

O SPRING é um sistema de informação geográfica com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais. Segundo Araújo *et al* (2011) o SPRING, além de diversas funcionalidades, é um software de geoprocessamento, que juntamente com as técnicas de sensoriamento remoto auxilia na caracterização do meio físico e sua ocupação antrópica, verificando a extensão e a intensidade do crescimento urbano.

As imagens utilizadas foram obtidas através do catálogo online disponível no site do INPE. Essa plataforma permite a interação entre o usuário e o banco de imagens do INPE. Neste Banco de dados, encontra-se imagens dos satélites AQUA, TERRA, S-NPP, UK-DMC-2, LANDSAT-1, LANDSAT-2, LANDSAT-3, LANDSAT-5, LANDSAT-7, LANDSAT-8, CBERS-2, CBERS-2B, CBERS-4, RESOURCESAT-1, RESOURCESAT-2.

Foram utilizadas duas imagens de satélites, as quais possuem datas distintas. A primeira sendo do ano de 1997 do satélite Landsat 5 (*Land Remote Sensing Satellite*), sensor TM, e a outra correspondente ao ano de 2016 fornecida pelo satélite RES2 (*ResourceSat-2*), sensor LISS3. A Tabela 3 apresenta o satélite e o sensor, assim como a data de coleta e a órbita/ponto das imagens.

Tabela 3: Dados sobre as imagens de satélite

Satélite	Sensor	Órbita/Ponto	Data de passagem
Landsat 5	TM	214/65	14/06/1997
RES2	LISS3	338/081	22/07/2016

Fonte: Adaptado INPE (2016).

3.2.1.1 Etapas do georreferenciamento das imagens

O georreferenciamento das imagens do Landsat 5/TM e do RES2/LISS3 foram realizados no SPRING, versão 5.3. As etapas que fomentam esse processo estão descritas na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma dos processos realizados no SPRING



Fonte: Produzido pelo autor.

O banco de dados é um diretório que armazena as definições de categorias e classes, e os projetos pertencentes ao banco. A criação do projeto refere-se a delimitação da área de estudo. Nessa etapa insere-se coordenadas planas ou geográficas da área de estudo. A criação dos modelos de dados antecede a introdução de qualquer dado no SPRING e é necessário para definir o modelo de dados, pois cada mapa pertence a uma categoria diferente. A criação dos planos de informações abrigam informações necessárias sobre cada categoria. As imagens em formato TIFF foram selecionadas no catálogo INPE e importadas para o SPRING. Foram realizados ajustes de contraste nas imagens com técnica de realce de contraste tendo por objetivo melhorar a qualidade das imagens para facilitar a visibilidade de feições da mesma. Foi realizada a classificação temática manualmente, nessa etapa definiram-se ambientes rurais, urbanos, entre outros. Foram necessárias operações métricas para medidas da área e do perímetro da área selecionada.

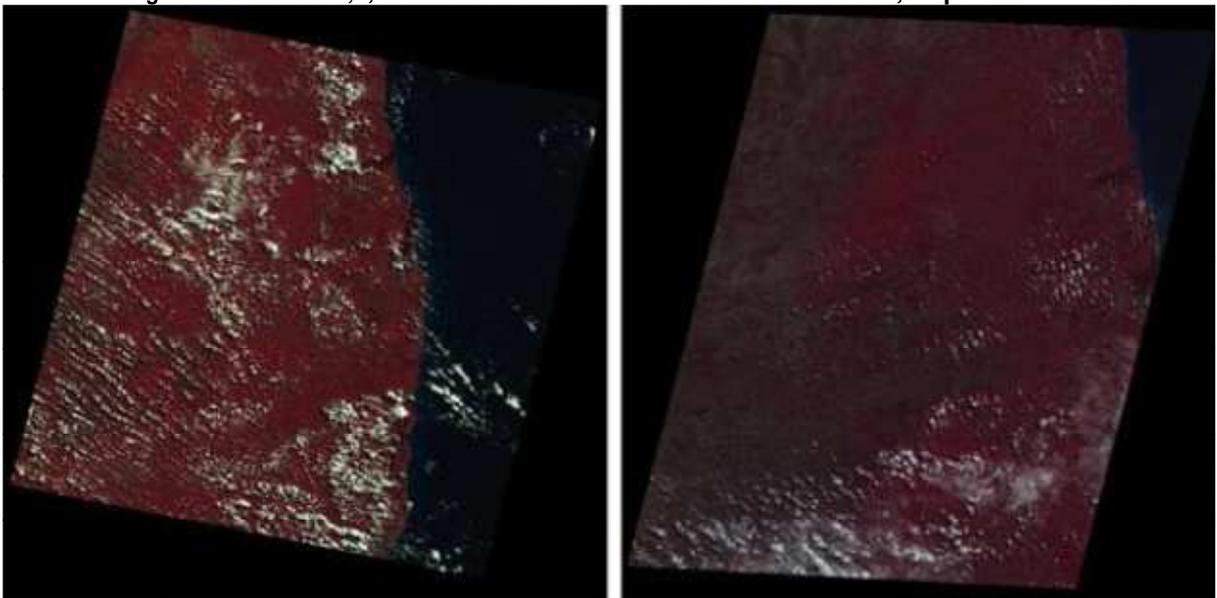
No processo de georreferenciamento também foi utilizada como referência a imagem do município fornecida pelo Google Earth (2016), a fim de verificar os contornos urbanos, os quais são mais visíveis neste tipo de imagem, pois por se tratar de um núcleo urbano de pequeno porte, durante o processo de classificação das imagens dos sensores estes contornos se apresentaram com baixa resolução, já que as imagens utilizadas estão na resolução espacial de 30 x 120 e 23,5 x 22 para os sensores TM e LISS 3, respectivamente.

3.2.1.2 Aplicação de composição

Foram realizadas composições coloridas com o objetivo de se ter uma interpretação visual das imagens e destacar o máximo possível a zona urbana. Diante disto, a partir das imagens dos canais do visível foram realizadas composições do tipo falsa cor, e ajustado os contrastes lineares para aumentar a nitidez das imagens. A composição aplicada foi 432 (Banda 4 no Red, Banda 3 no Green e Banda 2 no Blue).

A Figura 4 apresenta a composição das bandas 432 Landsat 5/TM- 1997 e do RES2/LISS3-2016, respectivamente.

Figura 4 - Bandas 4,3,2 Landsat 5/TM- 1997 e do RES2/LISS3-2016, respectivamente

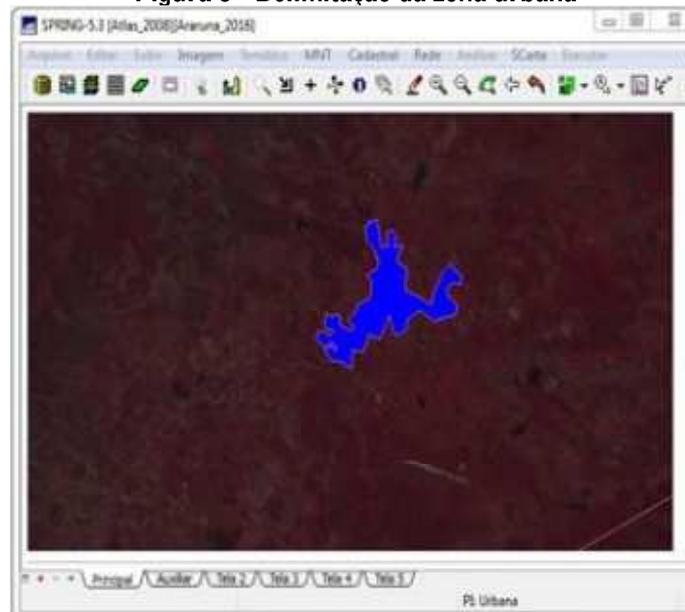


Fonte: INPE (2016).

3.2.1.3 Delimitação da zona urbana no SPRING

A Zona Urbana foi delimitada através do processo de edição vetorial do software SPRING e com apoio de imagens do Google Earth (2016). Através da zona urbana destacada na composição aplicada foi possível contornar o perímetro urbano e gerar um polígono, permitindo realizar operações métricas e, por sua vez, determinar sua área conforme a Figura 5.

Figura 5 - Delimitação da zona urbana



Fonte: Produzido pelo autor.

3.3 Análise da pressão da rede através da simulação hidráulica

3.3.1 EPANET e suas funções

A análise de pressão da rede foi realizada através de simulação hidráulica pelo software de domínio público EPANET 2.0 (ROSSMAN, 2000). Desenvolvido pela United State Environmental Protection Agency (USEPA) o qual é amplamente utilizado em diversos estudos sobre modelagem de sistemas de abastecimento de água.

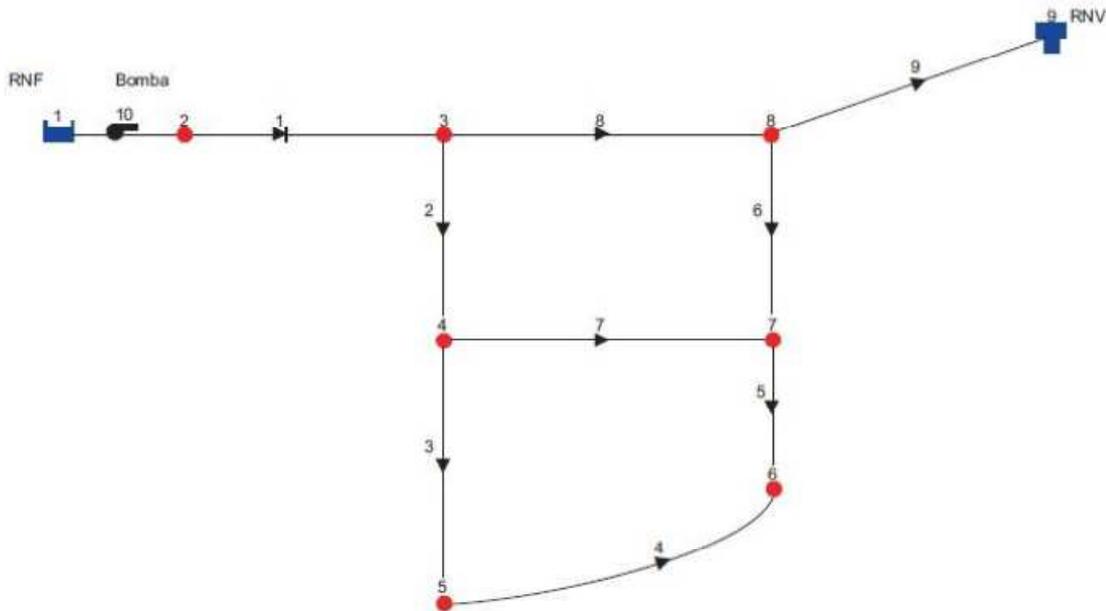
Para o cálculo da perda de carga utilizou-se à fórmula de Hazen-Williams, por ser uma das mais utilizadas para o cálculo da perda de carga.

Dentre as funções abrigadas na modelagem através do EPANET estão: cálculos perdas de cargas, inclusive unitárias; modelagem do funcionamento de bombas; cálculos de energia de bombeamento e respectivos custos; modelagem dos principais tipos de válvulas; modelagem de reservatórios de armazenamento de níveis fixos e variáveis; considerações de múltiplas categorias de consumo e sua variação no tempo; modelagem das relações entre pressões e vazões efluentes de dispositivos emissores (por exemplo, consumos dependentes 10 da pressão); possibilidade de obter condições de operação do sistema com controles simples ou múltiplos (DIAS, 2006).

Segundo Rossman (2000) além de efetuar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico, o EPANET permite ainda a análise de qualidade de água em redes

de distribuição pressurizada. Obtêm-se valores de vazão em cada tubulação, da pressão em cada nó e da concentração de espécies químicas através da rede durante um período de simulação. A Figura 6 apresenta o layout de uma rede genérica do EPANET

Figura 6 - Layout de rede genérica do EPANET



Fonte: Rossman (2000).

3.3.2 Componentes físicos do EPANET

Dos componentes físicos utilizados para simulação no EPANET, destacam-se (ROSSAMAN, 2000):

- Nó:

São pontos da rede de união dos trechos, onde a água entra e sai da rede. Nos nós é possível verificar as pressões.

- Reservatório de Nível Variável (RNV):

Os reservatórios de nível variável são também nós especiais da rede, possuindo uma capacidade de armazenamento limitada e podendo o volume de água armazenada variar ao longo da simulações.

- Tubulações:

As tubulações são trechos que transportam água entre os nós da rede.

A Tabela 4 exhibe os dados de entrada para os componentes físicos do EPANET que foram utilizados na simulação hidráulica.

Um dispositivo físico que também faz parte de uma rede apresentada no EPANET é o Reservatório de Nível Fixo (RNF) que representa o volume de armazenamento de água. Sendo origens ou sumidouros de água, podendo servir também como pontos de origem de qualidade de água.

Por ter a finalidade de analisar as pressões apenas na rede de distribuição de água urbana, não se inseriu o RNF a rede. Conforme Rossman (2000), uma rede deve conter pelo menos um RNV ou um RNF. Como a rede apresenta RNV e o período temporal da simulação hidráulica foi feito apenas para 24 horas, não utilizando de todo o volume de água do reservatório, a omissão do RNF não afetou a simulação. Ressalta-se ainda, que a qualidade de água não é objeto de pesquisa desse trabalho.

Tabela 4 - Dados de entrada dos componentes físicos do EPANET

Componentes	Dados de entrada
Nó	1-Cota 2-Consumo Base 3-Qualidade inicial da água
Reservatório de Nível Variável	1-Cota do fundo 2-Diâmetro 3-Altura de água mínima 4-Altura de água máxima 5-Altura de água inicial para o cenário a ser simulado 6-Qualidade da água inicial
Tubulações	1-Nó inicial e final 2-Diâmetro 3-Comprimento 4-Coeficiente de Rugosidade 5-Estado

Fonte: Produzido pelo autor.

3.3.3 Obtenção de dados para simulação hidráulica

Para a aquisição de dados foi solicitado junto a Diretoria de Operação e Manutenção da CAGEPA, um levantamento de dados referentes ao RDA do município em estudo.

A CAGEPA forneceu em formato PDF, digitalizados em escala 1:2500 com o mapa das tubulações de distribuição de água do município de Araruna – PB. No mapa continha o

comprimento e diâmetro de cada tubulação, as localizações de cada nó juntamente com as isolinhas das cotas topográficas.

O mesmo mapa foi importado para o software AutoCad, versão estudante, e em seguida importado para o EPANET.

Junto com o mapa, a CAGEPA ainda disponibilizou dados de volume de água e quantidades de ligações entre os meses de setembro de 2015 a junho de 2016.

3.3.3.1 Nó

Dos dados de entrada para os nós, a cota topográfica foi observada por meio das isolinhas das cotas topográficas fornecidas no mapa disponibilizado pela CAGEPA.

A Tabela 5 apresenta o volume de água consumido para cada mês pelos usuários e também a quantidade de ligações ativas no mês.

Tabela 5 - Volume e quantidades de ligações de Araruna - PB

Araruna		
Data	Volume de água (m³)	Quantidade de ligações
set/15	22903	4829
out/15	10365	4839
nov/15	9184	4845
dez/15	11073	4845
jan/16	3497	4864
fev/16	9183	4871
mar/16	7765	4879
abr/16	8731	4886
mai/16	8097	4892
jun/16	9413	4906
Média (m³) = 10021,1		

Fonte: CAGEPA (2016).

O volume de água apresentado na Tabela 5 é a soma dos volumes dos micromedidores de cada residência, ou seja, não está incluso nesse volume as perdas nas tubulações.

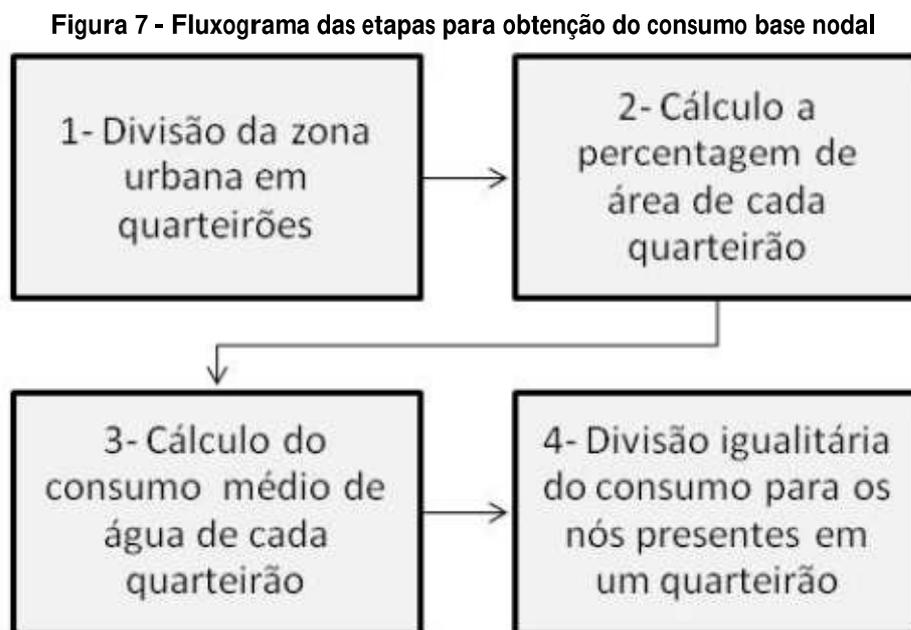
Considerou-se que a média do volume de água (10021,1 m³), em um mês, abastecia toda área urbana.

Devido à dificuldade na obtenção de dados do consumo de cada nó. Dividiu-se a área urbana em quarteirões e obteve-se o valor de cada área, por consequência, cada área de quarteirão corresponde a uma percentagem do valor total da área. Essa percentagem multiplicou-se pelo consumo médio de água.

Para a estimativa de consumo nodal, se por exemplo, um quarteirão fosse composto por três nós, os mesmos recebem um volume igual de água. Conforme Gameiro (2014), a presente metodologia não é muito rigorosa, mas de grosso modo apresenta resultados finais em que a margem de erro se revela aceitável. De acordo com Gameiro (2014, p. 22):

O processo que considera para cada nó o número de edifícios, o número de piso de cada um e o fator de ocupação, apresenta-se bastante moroso e, para grandes redes, ineficaz. Assim, o método utilizado é preferível, permitindo resultados satisfatórios, num processo muito mais rápido e simplificado.

Para um melhor entendimento dos procedimentos para o cálculo do consumo base de cada nó a Figura 7 representa um fluxograma das etapas.



Fonte: Adaptado de Gameiro (2014)

3.3.3.2 Reservatório de nível variado

O reservatório de distribuição do sistema, segundo dados da CAGEPA, possui nível de água na cota de 17 m, a partir da cota do terreno. A altura de água inicial para o cenário corresponde a 5 m, que representa também a altura de água máxima do reservatório.

Os reservatórios de nível variado são modelados para operar entre as alturas de água mínima e máxima, se for atingida a altura mínima de água o EPANET interrompe a saída de água.

O estudo visa simular o pleno funcionamento da rede de abastecimento urbano de água, sendo assim, não se levou em consideração aspectos de racionamento de água.

Por ser um reservatório em formato hexagonal, seria necessário identificar uma curva de volume, como dado de entrada do RNV, que correlaciona o volume do reservatório a altura de água, pois no EPANET, os modelos considerados na simulação são cilíndricos. No entanto, não se tinha informações sobre essa curva de volume.

Conhecendo a altura do reservatório e o volume do mesmo, pode-se calcular o diâmetro de um reservatório cilíndrico, que corresponde ao volume aproximado do reservatório hexagonal. Conforme apresentado na Equação 1.

$$V_{Cilindro} = h \cdot \Pi \cdot r^2 \quad (1)$$

Onde:

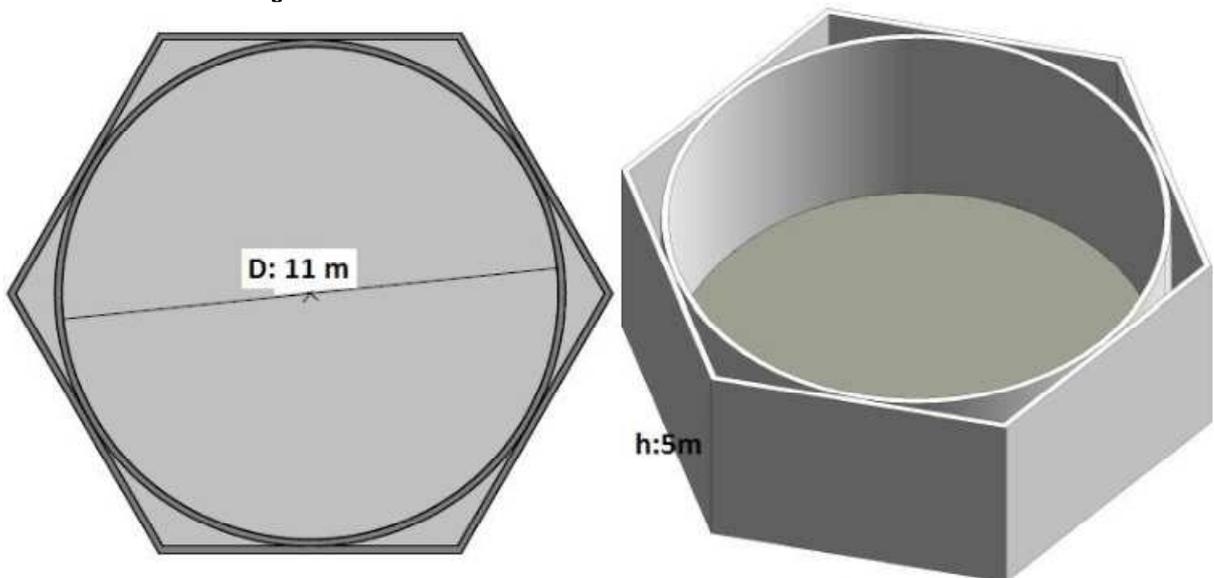
V: Volume do cilindro;

h: Altura;

r: Raio.

A Figura 8 representa o reservatório teórico (cilíndrico) circunscrito no reservatório real (hexagonal).

Figura 8 - Reservatório teórico circunscrito no reservatório real



Fonte: Produzido pelo autor

3.3.3.3 Tubulações

O comprimento e diâmetro das tubulações (todas de PVC) foram fornecidos pela CAGEPA através do mapa do traçado da rede. Para o cálculo da perda de carga utilizou-se a fórmula de Hazen-Williams e os coeficientes de rugosidades utilizados estão representados na Tabela 6

Tabela 6 - Coeficiente de rugosidade C

Material	C, Hazen - Williams (adimensional)
Ferro fundido	130 - 140
Concreto	120 - 140
Ferro galvanizado	120
Plástico (PVC)	140 - 150
Aço	110

Fonte: Rossman (2000).

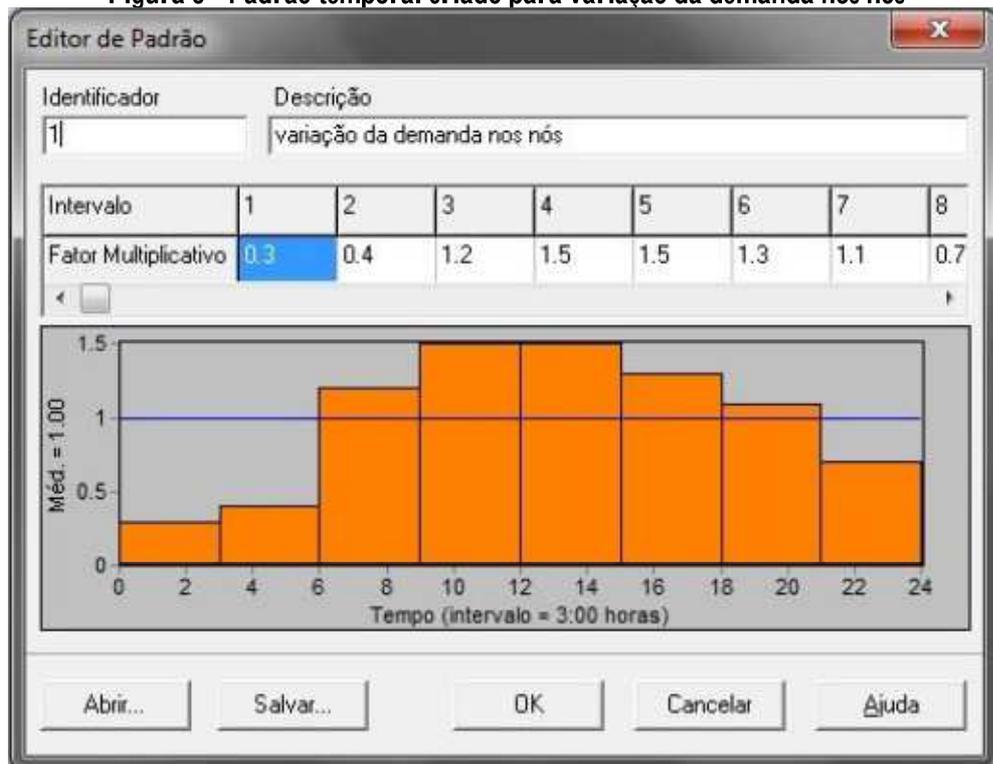
3.3.4 Simulação dinâmica no EPANET

O EPANET permite executar simulações hidráulicas estáticas e dinâmicas. A simulação estática permite reproduzir as características do sistema simulado para um dado cenário de consumo (ALEGRE 1999).

Em se tratando de simulação dinâmica, Rossman (2000) afirma que esse termo em modelação de sistema de distribuição de água é utilizado para representar uma simulação do sistema ao longo do tempo.

A fim de observar as pressões ao longo de um dia executou-se uma simulação dinâmica, através de um padrão temporal, para representar as variações periódicas de consumo. Nesse caso, utilizou-se um padrão de 24 horas e um passo de tempo de 3 horas, em seguida foram introduzidos os fatores multiplicativos de 0.3, 0.4, 1.2, 1.5, 1.5, 1.3, 1.1 e 0.7. Esses fatores multiplicativos foram escolhidos de acordo com a hora de maior e menor consumo. A Figura 9 representa o editor padrão do EPANET com o respectivo padrão temporal.

Figura 9 - Padrão temporal criado para variação da demanda nos nós



Fonte: Produzido pelo autor

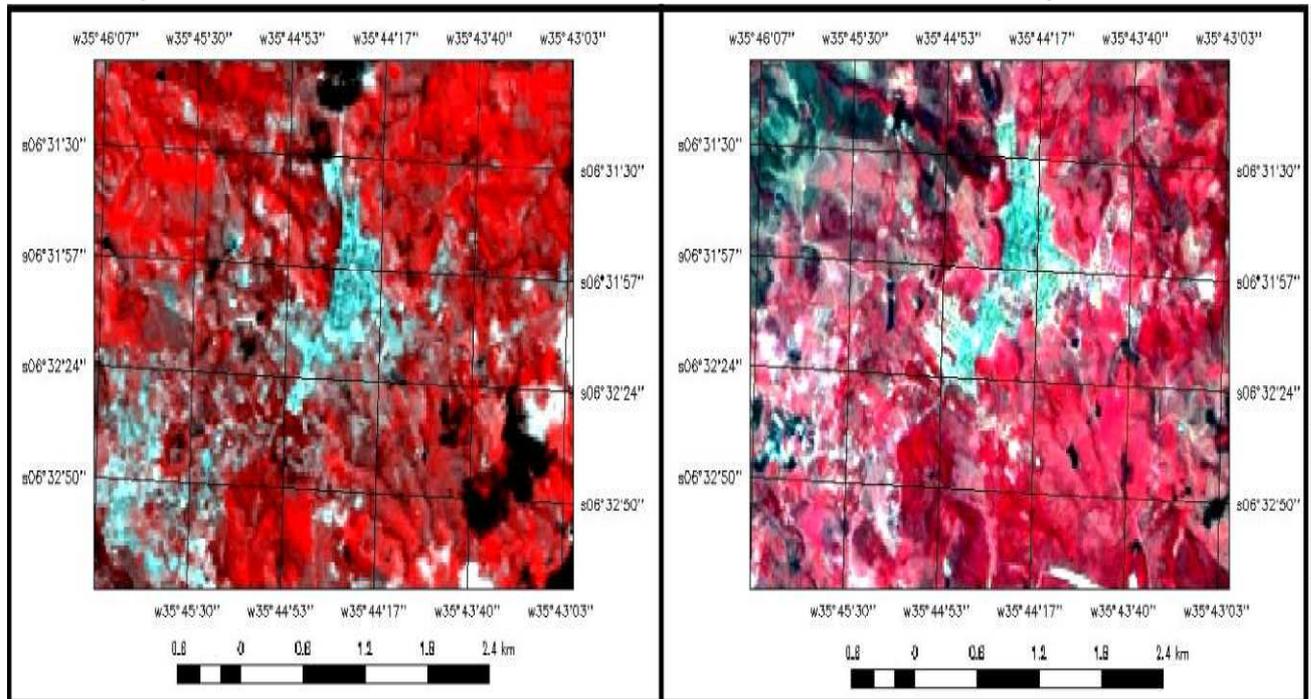
4 RESULTADOS

4.1 Expansão urbana da cidade de Araruna – PB

Os registros de expansão urbana foram analisados utilizando técnicas de geoprocessamento através do software SPRING e imagens do sensor remoto Landsat 5/TM-1997 e do RES2/LISS3-2016.

A partir desta informação, verificou-se que o município, como em grande parte das cidades do país, tem apresentado nas últimas décadas um considerável crescimento de sua mancha urbana, destacando-se, particularmente, uma expansão de caráter horizontal. Nessa perspectiva, a Figura 10 apresenta a evolução da mancha urbana ao longo de duas décadas. A Tabela 7 apresenta os valores da área urbana correspondente aos anos de 1997 e 2016.

Figura 10 - Mancha urbana da cidade de Araruna – PB dos anos 1997 e 2016, respectivamente.



Fonte: Produzidas a partir de imagens dos satélites Landsat e RES 3.

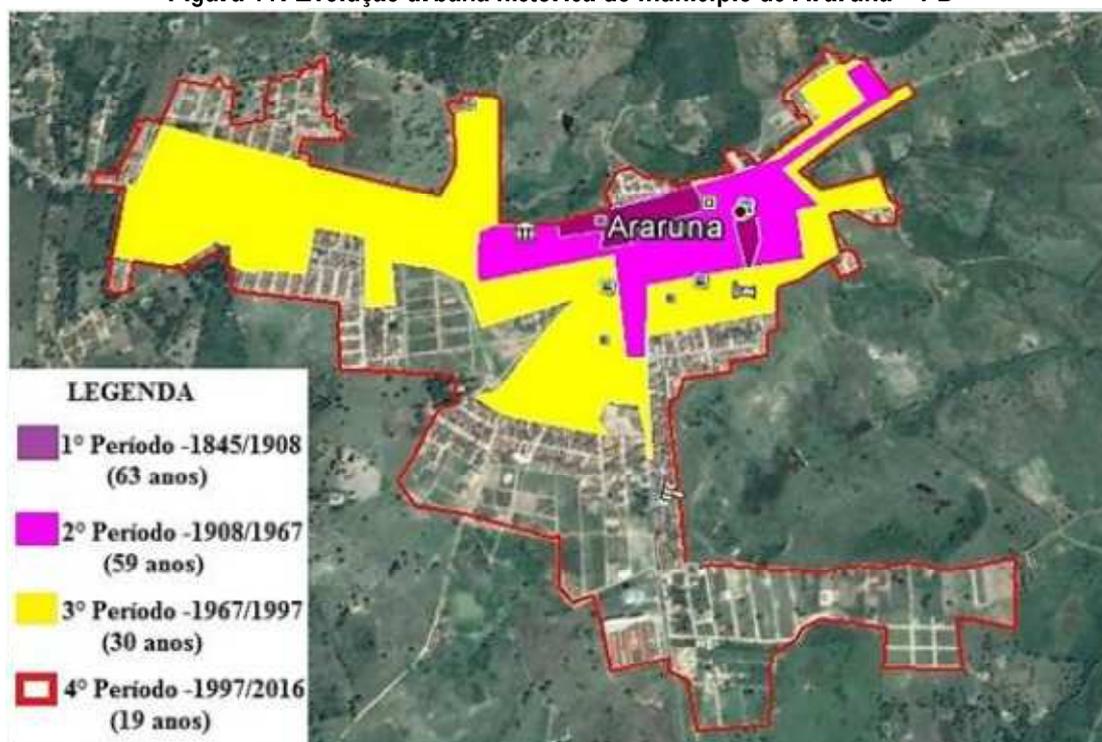
Tabela 7: Áreas da cidade de Araruna - PB, nos anos 1997 e 2016

Ano	Área Urbana (km²)
1997	0.877
2016	1.700

Fonte: Produzida pelo autor.

A Figura 11 mostra um levantamento histórico de tal expansão. Observam-se quatro períodos de expansão (Tabela 8) que evidencia esse crescimento. Embora, a cidade de Araruna seja de pequeno porte, é interessante afirmar que essa evolução histórica está relacionada ao desenvolvimento das atividades socioeconômicas como produto da expansão urbana ao longo do tempo, associado simultaneamente ao crescimento demográfico.

Figura 11: Evolução urbana histórica do município de Araruna – PB



Fonte: Adaptado de Ministério da Cultura (1997).

Tabela 8 - Áreas dos quatro períodos de expansão urbana da cidade de Araruna - PB

Períodos	Área (Km ²)
1º Período - 1845/1908 (63 anos)	0,04
2º Período - 1908/1967 (59 anos)	0,23
3º Período - 1967/1997 (30 anos)	0,85
4º Período - 1997/2016 (19 anos)	1,7

Fonte: Adaptado de Ministério da Cultura (1997).

Observa-se de acordo com os dados da Tabela 8 que a expansão urbana nos períodos mencionados foi notório. Nesse sentido, no 2º período entre 1908 a 1967 houve uma taxa média de crescimento anual da área urbana equivalente a 3%, em um intervalo de tempo de 59 anos. No 3º período entre 1967 a 1997 houve uma taxa média de crescimento anual da área urbana equivalente a 4,45%, em um intervalo de tempo de 30 anos. Já no 4º período entre 1997 a 2016 houve uma taxa média de crescimento anual da área urbana equivalente a 3,71%, em um intervalo de tempo de 19 anos. Logo, verifica-se que os 3º e 4º períodos foram os que atingiram uma maior taxa de crescimento anual de área urbana em menor período de tempo, se comparado aos demais períodos analisados.

4.2 Simulação hidráulica da rede de abastecimento de água da cidade de Araruna – PB

A partir dos processamentos de dados espaciais, realizou-se a simulação dinâmica no EPANET em um período de vinte e quatro horas, variando o consumo nos nós em um passo de tempo de três horas.

A Figura 12 apresenta o traçado da rede de distribuição de água da cidade de Araruna – PB, conforme fornecido pela CAGEPA.

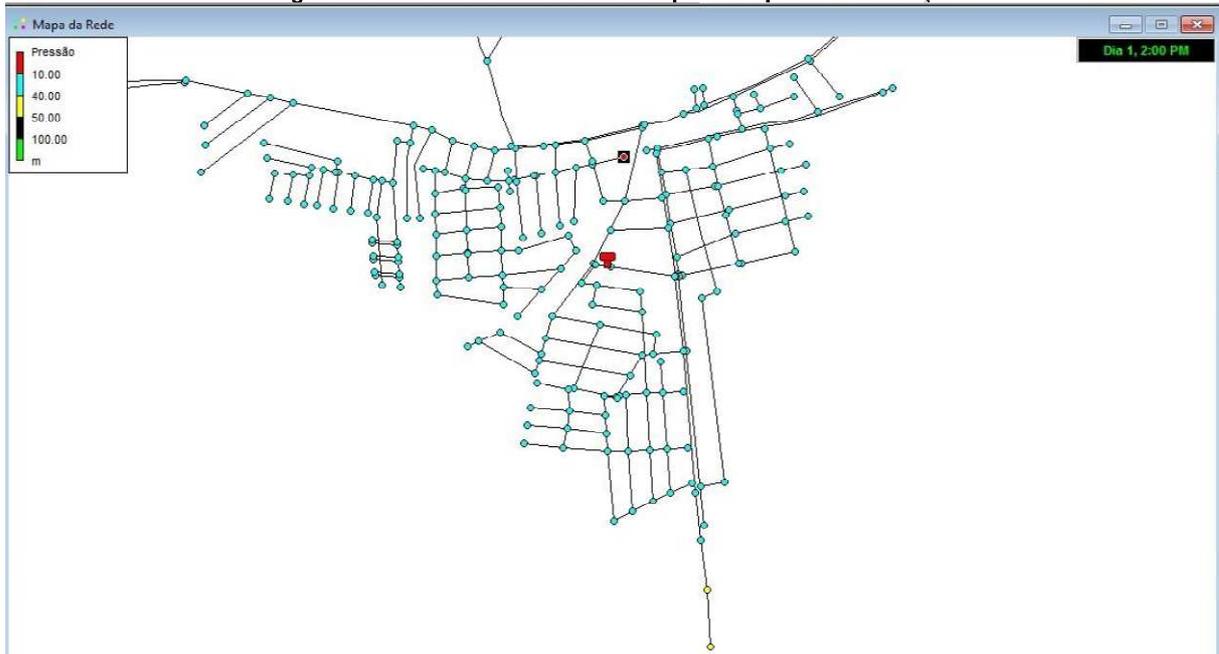
Figura 12 - Rede de distribuição de água de Araruna - PB



Fonte: CAGEPA (2016).

A Figura 13 representa a rede de abastecimento de água na plataforma do EPANET. Às 14 horas, representa horário de pico de consumo, (Figura 9) o fator de consumo é de 1.5, ou seja, é uma das horas de maior consumo nos nós. Nesse horário se identifica a menor pressão, durante o período de 24 horas. Em destaque, tem-se o exemplo do nó N370 que possui pressão de 11,05 m.c.a.

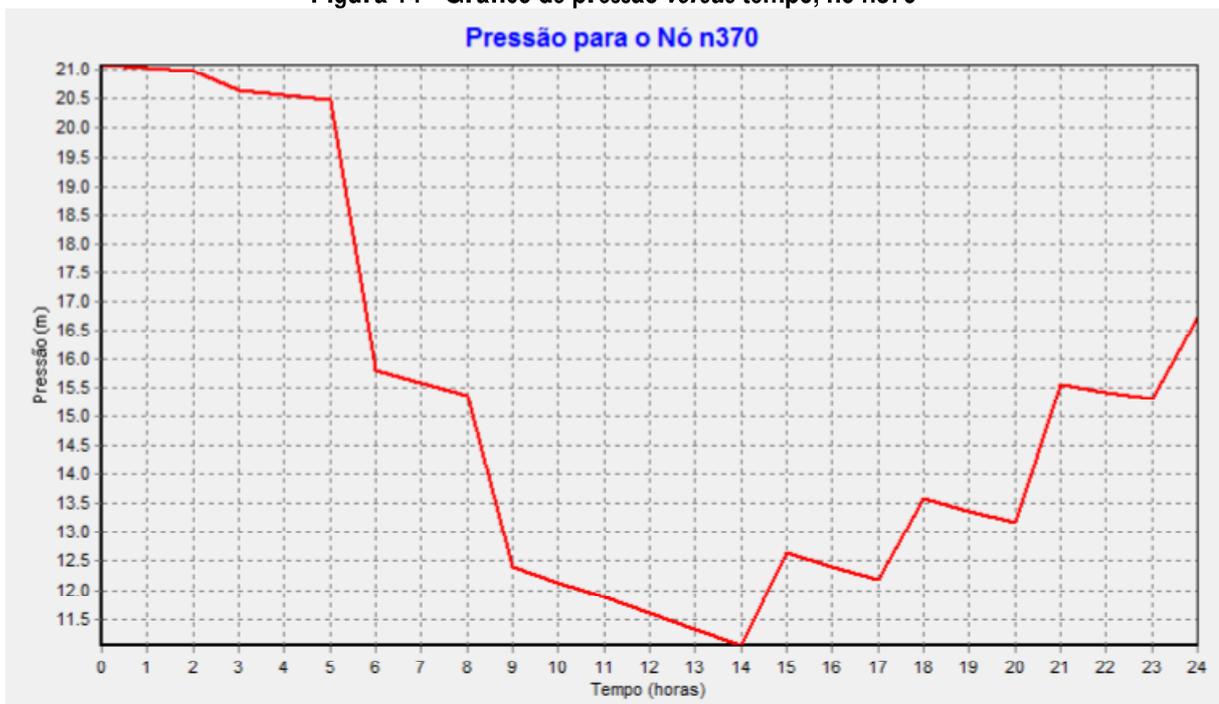
Figura 13 - Nó N370 - nó de menor pressão para a simulação



Fonte: Produzido pelo autor.

A Figura 14 apresenta o gráfico também gerado no EPANET com variação da pressão ao longo do tempo do nó em questão. Para um melhor entendimento, os valores do gráfico estão expostos na Tabela 9.

Figura 14 - Gráfico de pressão versus tempo, nó n370



Fonte: Produzido pelo autor.

Tabela 9: série temporal - Nó n 370

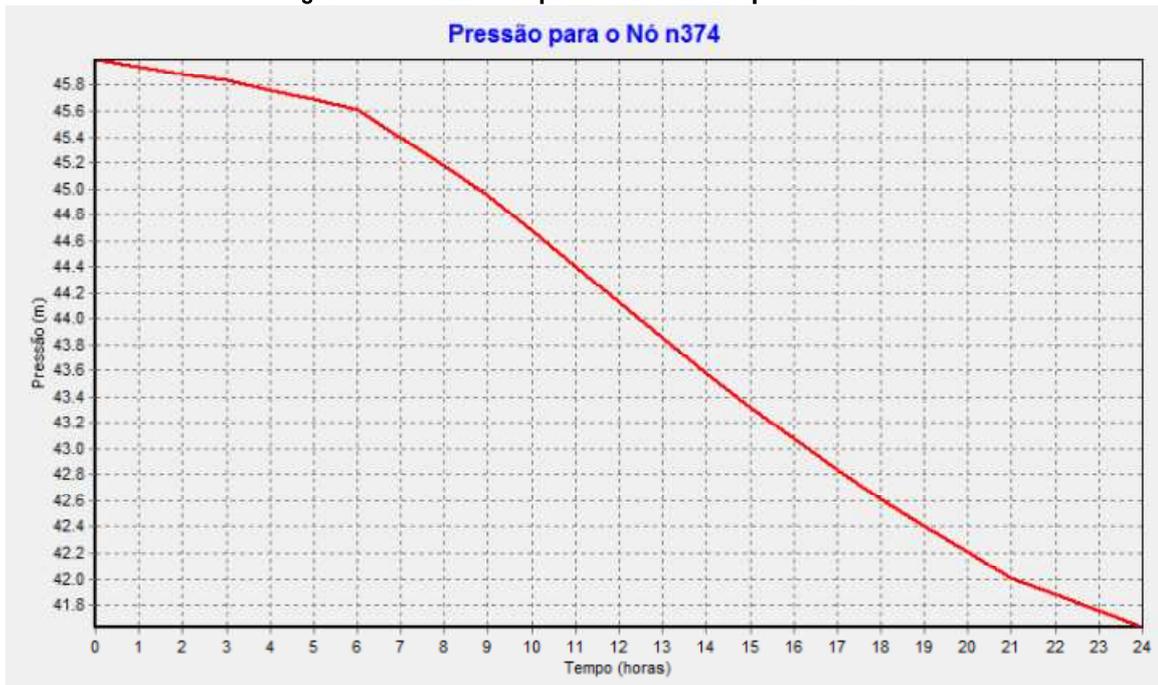
Tempo (h)	Pressão (m.c.a.)	Tempo (h)	Pressão (m.c.a.)
00:00	21.09	13:00	11.32
01:00	21.04	14:00	11.05
02:00	20.98	15:00	12.65
03:00	20.64	16:00	12.41
04:00	20.57	17:00	12.17
05:00	20.49	18:00	13.58
06:00	15.79	19:00	13.38
07:00	15.57	20:00	13.18
08:00	15.36	21:00	15.55
09:00	12.41	22:00	15.42
10:00	12.14	23:00	15.30
11:00	11.87	24:00:00	16.72

Fonte: Produzido pelo autor.

Conforme Tabela 9 o nó n370, obedece a NBR 12.218/2017. No entanto, percebe-se que as 14:00 horas a pressão (11,05 m.c.a.) é próxima de 10 m.c.a.. Como já dito antes, a simulação não considera as perdas físicas da rede, podendo, quando considerada as perdas físicas, essa pressão chegar a ser menor que 10 m.c.a., infringido a norma.

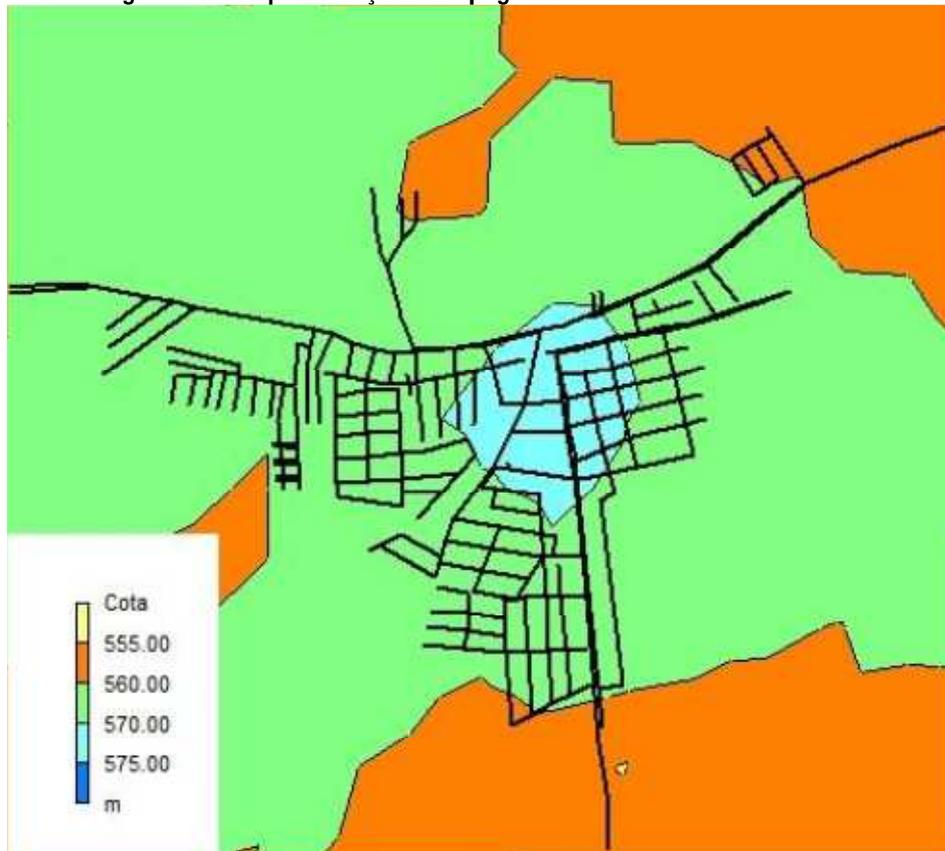
Há também alguns nós na rede, que quando atuado a simulação estática e também a simulação dinâmica, operam a pressão maior que 40 m.c.a., porém menor que 50 m.c.a, é o caso do nó N374 (Figura 15). Tal fato é permitido pela NBR 12.218/2017 em regiões com topografia acidental, que é o caso da região onde se encontra o nó. Conforme a Figura 16, que representa as isolinhas das cotas, o nó se encontra na região de cota menor que 555 metros.

Figura 15 - Gráfico de pressão versus tempo - nó n374



Fonte: Produzido pelo autor.

Figura 16 – Representação da topografia da cidade de Araruna-PB



Fonte: Produzido pelo autor a partir de dados da CAGEPA

5 CONCLUSÕES

O crescimento demográfico e urbano da cidade de Araruna – PB se deu gradativamente ao longo dos anos. Nesse sentido, serviços de manutenção e revitalização da rede, quando não realizados, podem provocar a falta de água nos domicílios e gera insuficiência de pressão nos nodais operantes.

As análises espaciais realizadas através de imagens de sensores remotos em conjunto com as simulações hidráulicas através do EPANET mostram a influencia da expansão urbana frente ao planejamento dos RDA. A expansão urbana da cidade de Araruna – PB foi comprovada, contudo a rede de abastecimento mostrou-se ainda atendendo a NBR 12.218/2017, que normatiza a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras de 40 m.c.a., podendo chegar a 50 m.c.a. em regiões com topografia acidentada, e a pressão dinâmica mínima, de 10 m.c.a..

No entanto, ressalta-se que para a simulação não considerou as perdas físicas da rede. Segundo Amorim (2016), aproximadamente 47% do volume de entrada do sistema de abastecimento de água do município de Araruna – PB é de perdas físicas ou reais. Destaca-se ainda que a cidade apresenta diversos problemas narrados por moradores. Um fator que evidencia a falta de atendimento aos usuários pela rede é a quantidade de instalações de fontes alternativas de abastecimento de água, a exemplo de poços e cisternas. Também é comum o fornecimento irregular de água através de terceiros por meio de carros pipas.

Como a rede apresenta nós de pressão próxima a 10 m.c.a., a exemplo do nó N370 que possui a menor pressão de 11,05 m.c.a. (efetuando uma simulação dinâmica), é muito provável que quando representado as perdas físicas, esses nós passem a atuar com pressão menor que 10 m.c.a.

Por fim, é importante uma simulação com representação das perdas reais para um maior grau de confiabilidade e assim analisar melhor os efeitos da expansão urbana na rede de abastecimento de água do município de Araruna – PB.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O EPANET apresenta um componente físico chamado, dispositivos emissores do tipo orifício, cujo é modelado como sendo uma propriedade no nó e não um componente separado. Portanto, os dados de entrada para as perdas físicas são inseridos nos nós, onde realizando a

simulação hidráulica, apresenta a pressão no nó incluindo as perdas. Este dispositivo pode ser utilizado para simular perdas em tubulações, para tanto é necessário estipular para a perda na junta ou fissura, o coeficiente de vazão e o expoente de pressão, conforme a Equação 2 que representa a equação de vazão deste dispositivo, que varia em função da pressão no nó, de acordo com a lei de vazão do tipo (Rossman, 2000):

$$q = C \cdot p^y \quad (2)$$

Onde:

q: Vazão;

p: Pressão;

C: Coeficiente de vazão;

y: Expoente de pressão.

Por tanto, no EPANET é possível considerar as perdas físicas de uma tubulação, mas antes é necessária uma pesquisa para o cálculo do coeficiente de vazão e o expoente de pressão, para assim ser possível simular hidraulicamente a rede de abastecimento de água no EPANET, considerando as perdas reais.

Recomenda-se que em pesquisas futuras realize simulações hidráulicas da rede de abastecimento de água considerando as perdas físicas ou reais. Pois de acordo com Amorim (2016) aproximadamente 47% do volume de entrada do sistema de abastecimento de água do município de Araruna – PB é de perdas físicas ou reais.

URBAN EXPANSION VERSUS WATER DISTRIBUTION NETWORKS: A CASE
STUDY IN ARARUNA CITY – PARAIBA STATE - BRAZIL

ABSTRACT

Even using estimates of future population for the design of a water distribution network, urban sprawl is considered one of the impacts that can cause a malfunction of the distribution network, since many urban areas develop faster than essential services, such as water supply. Remote sensing images of the Landsat 5 and RES 2 satellites were used, through SPRING software, for historical analysis of urban expansion, as well as EPANET to perform hydraulic simulations. The results show, based on the urban growth of the city of Araruna - PB, that there were no significant impacts on the network, in view of the compliance with the norm with respect to static and dynamic pressures (NBR 12.218 / 2017), however, there are pressures very close to normalized dynamic pressure. Other issues, such as old pipes, which have non-visual leaks, may be influencing the failure to service the flow. It suggests that in future works a simulation with representation of real losses, be performed, for a greater degree of data reliability.

Keywords: Urban area. Water distribution network. Optimization.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12.218/2017: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público – Procedimento**. Rio de Janeiro, ABNT, 2017.

AESA – **Agência Executiva de Gestão das Águas**. Disponível em <<http://www.aesa.pb.gov.br/volumediario>> Acesso em: 21/11/2017.

ALEGRE, H. **Modelação de redes de distribuição de água de abastecimento – Guia de utilização**. Informação Técnica Científica de Hidráulica (ITH31), LNEC, Lisboa, Portugal, 1999.

AMORIM, D. L. **Análise das perdas físicas de água em um sistema de abastecimento de água: estudo de caso no município de Araruna – PB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Estadual da Paraíba, 2016.

ARAÚJO, E. L. de; RUFINO, I. A. A.; LUNGUINHO, R. L. **Análise da expansão urbana versus o comportamento da rede de distribuição de água da cidade de Campina Grande – PB através de imagens de satélite**. Anais. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto: Curitiba, 2011.

ARAÚJO, Ester Luiz de. **Estimativa e análise do crescimento da demanda de água considerando cenários de uso e ocupação do solo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, 2012.

CAGEPA – **Companhia de Água e Esgoto da Paraíba**. Disponível em <<http://www.cagepa.pb.gov.br/institucional/ligacoes-de-agua-e-esgoto/>> Acesso em: 21/11/2017.

CHAVES, J.J.S.; LIMA, J.S.; BATISTA, C.C.N. **Patrimônio geomorfológico em unidade de conservação: o caso do parque estadual da pedra da boca, município de Araruna (PB)**. XI Simpósio Nacional de Geomorfologia. Maringá-PR, 2016. Disponível em:< <http://www.sinageo.org.br/2016/trabalhos/9/9-328-1673.html>>. Acesso em: 11 de Nov. de 2017.

COSTA, A. N.; ALVES, M. G. **Monitoramento da expansão urbana no município de Campos dos Goytacazes – RJ, utilizando geoprocessamento**. Anais. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – INPE: Goiânia, Brasília, 2005. p. 3731-3738.

DIAS, L. F. S. **Estudo da localização otimizada de equipamentos para detecção de contaminação em redes de distribuição de água.** Dissertação de Mestrado. USP: São Carlos, 2006.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto.** 2005. Disponível em <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm> Acesso em: 11/04/2016.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação.** Oficina de textos: São Paulo, 2008. p.159.

GAMEIRO, P. C. R. **Calibração hidráulica de modelos de sistemas de distribuição de água: Aplicação ao sistema de distribuição de água do reservatório de Brielas.** Dissertação de Mestrado. Lisboa, Portugal, 2014.

HÉLLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano.** 2 ed. Belo Horizonte: Ed UFMG, 2010.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível:** <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=250100> > Acesso em: 05/03/2016.

INPE - Instituto de Pesquisas Espaciais. **Satélites,** 2016. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/siteDgi/portugues/satelites.php>> Acesso em 29/08/2016.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA Tati de. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília, 2012.

MINISTÉRIO DA CULTURA, 1997. Disponível em: <<http://www.memoriadearuna.com.br/wp-content/uploads/2012/05/planta.jpg>> Acesso em 20/05/2016

MORAES, Elisabete Caria de. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto.** São José dos Campos, 2002. INPE-8984-PUD/62.

ROSSMAN; L. A. **EPANET User's Manual. National risk management research laboratory, office of research and development,** USEPA, EPA Publication. EPA/600/R-00/057, 2000.

SILVA, P.J.L.da; SANTO, L.L.dos; SEGUNDO, J.A.de O.; NUNES, P.S.dos S.L.; NEVES, Y.T. **Caracterização de Fontes de Abastecimento por Águas Subterrâneas no Curimataú Oriental Paraibano**. IN: Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia. Fortaleza – CE, 2015.

STEFFEN, A. C.; MORAES, E. C.; GAMA, F. F. **Radiometria óptica espectral**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, VIII. Salvador, 14-19. Abr., 1996. Tutorial São José dos Campos. INPE, 1996. 43p.