



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA

JOSÉ FRANCISCO DE SOUSA FILHO

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MACRO
SISTEMA URBANO DE DISTRIBUIÇÃO DE
ÁGUA DE NATAL RN**

Natal/RN 2014

JOSÉ FRANCISCO DE SOUSA FILHO

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MACRO
SISTEMA URBANO DE DISTRIBUIÇÃO DE
ÁGUA DE NATAL RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Marozzi Righetto

Natal/RN
2014

UFRN / Biblioteca Central Zila Mamede.
Catalogação da Publicação na Fonte.

Sousa Filho, José Francisco de
Caracterização e avaliação do macro sistema urbano de distribuição
de água em Natal. / José Francisco de Sousa Filho. – Natal, RN, 2014.
95 f.; il.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Marozzi Righetto.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do
Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Sanitária.

1. Recursos hídricos – Balanço – Dissertação 2. RNN - Dissertação.
3. RNS - Dissertação. 4. Macro sistema - Dissertação. 5. Epanet –
Dissertação. 6. Abastecimento – Dissertação. I. Righetto, Antonio
Marozzi. II. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. III. Título.

RN/UF/BCZM

CDU 556.18

JOSÉ FRANCISCO DE SOUSA FILHO

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO MACRO SISTEMA URBANO DE
DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE NATAL RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação, em Engenharia Sanitária, da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Sanitária.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Antônio Marozzi Righetto – Orientador

Dr. João Abner Guimarães Júnior – Examinador

Dra. Joana D'arc Freire de Medeiros – Examinador Externo

Natal, 30 de maio de 2014

AGRADECIMENTOS

À Deus, que por Sua Graça me concedeu esta oportunidade e Seu favor me concedeu esta Vitória.

À minha mãe, Maria Nazaré de Sousa (*in Memoriam*), pelos seus cuidados e amor, pela educação e prazer dos seus filhos e a meu pai, José Francisco de Sousa, que ensinou a coragem de enfrentar a vida tal como ela é.

À minha querida esposa, Magna Angélica dos Santos Bezerra Sousa, que fez uma grande diferença na minha vida, tornando-a simples e proveitosa profissionalmente. Apoiando-me em situações difíceis na elaboração deste trabalho.

Aos meus irmãos, Antônio Francisco, Maria da Penha e Maria Nailde, que depositaram confiança nos meus estudos e conquistas, animando-me a caminhar em frente.

Ao meu amigo e orientador, Dr. Antônio Marozzi Righetto, pelo seu apoio, aconselhamentos e ensinamentos na elaboração deste trabalho.

Aos companheiros de Mestrado Alex, Moisés, Salatiel e tantos outros que firmaram uma verdadeira amizade no decorrer do curso.

Aos funcionários do PPgES: a secretária Leonor, estagiários e técnicos.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária (PPgES) pela amizade e pelos conhecimentos repassados.

Aos amigos da CAERN: o Gestor do Regional Natal Norte, o Eng^o Civil Ricardo César Marinho, o Tecnólogo em Gestão Ambiental Man Cheng NG, Gestores da Regional Natal Sul, demais companheiros e a Empresa em si pelo fornecimento de dados necessários.

A todos que, direta ou indiretamente fizeram parte na concretização desta dissertação.

RESUMO

O objetivo deste estudo é caracterizar e avaliar o Macro Sistema de Distribuição de Água da Regional Natal Norte (RNN) e Regional Natal Sul (RNS), abrangendo 35% e 65% respectivamente da Cidade do Natal-RN. As condições da qualidade e quantidade das águas (superficiais e subterrâneas) também foram avaliadas com a finalidade de ajuste aos parâmetros que contribuam para adequada distribuição e controle nas reservas hídricas. A metodologia do trabalho se deu a partir da coleta dos dados volumétricos da capacidade de produção e distribuição das duas Estações de Tratamento das Regionais, assim como as vazões dos poços tubulares. Foram coletados ainda os quantitativos da capacidade de reservação, distribuição e consumo dos principais reservatórios, número populacional e o consumo dos bairros integrantes. Os dados foram tabulados e usados no simulador computacional EPANET que possibilitou diagnosticar, através do balanço hídrico, as ofertas e demandas no sistema de abastecimento de água nos bairros da capital, associando-os nos pontos específicos de distribuição. Foram também avaliados os poços tubulares quanto aos níveis de Nitrato na água consumida. Como resultado verificou-se que alguns bairros da Regional Natal Sul, foi classificado em situação crítica de abastecimento como: Cidade da Esperança, Lagoa Nova e Nova Descoberta, onde a demanda supera a oferta. Enquanto na Regional Natal Norte a maioria apresentaram deficiência no sistema de abastecimento como: Lagoa Azul, Parque dos Coqueiros, igapó, Amarante e Salinas. Os índices de Nitrato na cidade apresentaram significância, porém, controlável com medidas corretivas e preventivas. As médias foram 12 mg/l-N em Candelária, 10 mg/l-N em Lagoa Nova, 9 mg/l-N em Satélite, 20 mg/l-N em Gramoré e 15 mg/l-N em N. Sra da Apresentação. Portanto a adequada distribuição da água captada e a implementação de controle de qualidade garante o suprimento requerido pelo sistema, associados a preservação dos Recursos Hídricos da Região Metropolitana de Natal.

Palavras-chave: Macro sistema; RNN; RNS; balanço hídrico; epanet; abastecimento.

ABSTRACT

The aim of this study is to characterize and evaluate the Macro System of Regional Water Distribution Natal North (RNN) and Southern Regional Natal (RNS), covering 35% and 65% respectively of the Natal-RN City. The terms of the quality and quantity of water (surface and groundwater) were also evaluated in order to adjust the parameters that contribute to proper distribution and control in water reserves. The methodology of the work took place from collecting volumetric data of production capacity and distribution of the two treatment plants for Regional as well as the flow rates of wells. Yet the quantitative capacity of reservation, distribution and consumption of the main reservoirs, population numbers and consumption of members neighborhoods were collected. Data were tabulated and used in computational simulator EPANET to diagnose possible through the water balance, the offers and demands on the water supply system in the neighborhoods of the capital, linking them to specific distribution points. We also evaluated the wells in the levels of nitrate in water consumed. As a result it was found that some neighborhoods in the South Regional Natal, was ranked as critical supply situation: City of Hope, Lagoa Nova and Nova Descoberta, where demand exceeds supply. While in most Northern Regional Natal present deficiency in the supply system as: Lagoa Azul, the Parque dos Coqueiros, igapó, Amarante and Salinas. The rates of nitrate in the city were significant, but manageable with corrective and preventive measures. The averages were 12 mg /l-N in Candelária, 10 mg/l-N in Lagoa Nova, 9 mg/l-N in Satellite, 20 mg/l-N in Gramore and 15 mg/l-N in N. Sra. Apresentação. Therefore proper distribution of water abstracted and implementation of quality control ensures the supply required by the system, associated with preservation of Water Resources of the Metropolitan Region of Natal.

Key-words: Macro system; RNN; RNS; water balance; EPANET; supply.

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CAERN	Companhia de águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de água
EIA.....	Estudo de Impacto Ambiental
EMPARN	Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Norte
FUNPEC	Fundação Norte-Rio-Grandense de Pesquisa e Cultura
GMB	Grupo Motobomba
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEMA/RN	Instituto de Defesa do Meio Ambiente do Rio Grande do Norte
IET	Índice de Estado Trófico
IFRN.....	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
IGARN	Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte
IQA	Índice de Qualidade das Águas
mca	Metro de Coluna de Água
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial hidrogeniônico
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RNN	Regional Natal Norte
RNS	Regional Natal Sul
SEMARH	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte
SERHID/RN	Secretária de Recursos Hídricos do Rio Grande do Norte
ST	Sólidos totais
STD	Sólidos totais dissolvidos
UERN	Universidade Estadual do Rio Grande do Norte
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
ZPA	Zona de Proteção Ambiental

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Partes integrantes de um sistema de abastecimento de água _____	04
Figura 2.2- Estratégia de controle e perdas de água _____	11
Figura 2.3- Evolução urbana e ocorrência de inundações _____	18
Figura 2.4- Parâmetros controle de qualidade da água na captação/Extremoz ____	19
Figura 2.5- Parâmetros controle de qualidade da água na captação/Jiqui _____	20
Figura 2.6- Distribuição de água no Brasil _____	21
Figura 3.1- Localização da cidade de Natal-RN _____	24
Figura 3.2- Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Norte _____	25
Figura 3.3- Lagoa de Extremoz _____	25
Figura 3.4- Demarcação da área abastecida pela Lagoa de Extremoz _____	26
Figura 3.5- Lagoa do Jiqui _____	27
Figura 3.6- Demarcação da área abastecida pela Lagoa do Jiqui _____	28
Figura 3.7- Aquífero Dunas Barreira _____	31
Figura 3.8- Concentração de Nitrato dos poços do bairro Gramoré _____	33
Figura 3.9- Concentração de Nitrato dos poços do bairro Jardim Progresso ____	33
Figura 3.10- Concentração de Nitrato dos poços do bairro Candelária _____	34
Figura 3.11- Concentração de Nitrato dos poços do bairro Cidade Satélite ____	34
Figura 3.12- Concentração de Nitrato dos poços do bairro Lagoa Nova I _____	35
Figura 3.13- Poços da Regional Natal Norte _____	36
Figura 3.14- Poços da Regional Natal Sul _____	37
Figura 3.15- Pontos de captação da Lagoa de Extremoz _____	41
Figura 3.16- Transmissor de pressão e vazão da Lagoa de Extremoz _____	42
Figura 3.17- Antigo medidor de vazão da Água bruta de Extremoz _____	42
Figura 3.18- Transmissor de vazão da elevatória de água Tratada/Extremoz ____	43
Figura 3.19- Centro de Reservação R8 - RNN _____	44
Figura 3.20- Centro de Reservação R14 – RNN _____	45
Figura 3.21- Centro de Reservação Zona 16 - RNN _____	45
Figura 3.22- Setorização de abastecimento da Zona Norte de Natal _____	46
Figura 3.23- Bomba do baixo recalque da ETA/Jiqui _____	47
Figura 3.24- Transmissor de vazão da água bruta/Jiqui _____	48
Figura 3.25- Transmissores de vazão das Adutoras de Tratada/Jiqui _____	49

Figura 3.26- Centro de Reservação R3 - RNS _____	49
Figura 3.27- Centro de Reservação R6 - RNS _____	50
Figura 3.28- Centro de Reservação R11 - RNS _____	51
Figura 3.29- Sistema de Reservação Lagoa Nova II - RNS _____	51
Figura 3.30- Setorização do abastecimento da Zona Sul de Natal _____	52
Figura 3.31- População residente por área Geográfica de Natal-RN _____	53
Figura 3.32- Mapa de adutoras da Grande Natal _____	58
Figura 3.33- Layout do Sistema de Distribuição das adutoras da RNS _____	58
Figura 4.1- Funcionamento hidráulico das adutoras da RNS _____	60
Figura 4.2- Perfil de Carga Hidráulica da Adutora 1/RNS _____	61
Figura 4.3- Perfil de Carga Hidráulica da Adutora 3/RNS _____	61
Figura 4.4- Nomograma da fórmula de Hazem-Williams $C=100$ _____	63
Figura 4.5- Representação das adutoras da RNN _____	64
Figura 4.6- Perfil de Carga Hidráulica das adutoras/RNN _____	65
Figura 4.7- Setores abastecidos pelo R3 - RNS _____	66
Figura 4.8- Setores abastecidos pelo R6 e Reservatório Lagoa Nova II _____	66
Figura 4.9- Setores abastecidos pelo R11-RNS _____	67
Figura 4.10- Curva de consumo médio diário _____	70
Figura 4.11- Níveis de disponibilidade hídrica na cidade de Natal-RN _____	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1- Balanço hídrico da Regional Natal Norte (RNN) - RN _____	11
Quadro 2.2- Balanço hídrico da Regional Natal Sul (RNS) - RN _____	12
Quadro 2.3- Comparação dos aspectos da água no meio urbano _____	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Perdas de faturamento pelas Companhias estaduais de água em 2011 _____	04
Tabela 2.2- Classificação das águas naturais _____	16
Tabela 3.1- Parâmetros da qualidade da água nas lagoas de Extremos e Jiqui _	29
Tabela 3.2- Sistema de poços tubulares da cidade de Natal-RN _____	38
Tabela 3.3- Área, população residente e densidade demográfica de Natal _____	54
Tabela 3.4- Características das Adutoras de Natal-RN _____	56
Tabela 3.5- Planilha de vazões e distribuição das adutoras de Natal _____	56
Tabela 3.6- Detalhamento dos dados funcionais dos reservatórios estudados __	57
Tabela 4.1- Planilha de resultados da simulação nos trechos-RNS _____	63
Tabela 4.2- Planilha de resultados da simulação nos trechos-RNN _____	65
Tabela 4.3- Distribuição de vazões dos reservatórios aos bairros de Natal _____	68
Tabela 4.4- Vazões de contribuição de poços tubulares ao Macro Sistema de Abastecimento _____	69
Tabela 4.5- Balanço Hídrico do Macro Abastecimento de Água de Natal-RN __	71
Tabela 4.6- Bairros com média de teores de Nitrato em Natal-RN _____	74

SUMÁRIO

Lista de Siglas _____	VII
Lista de Figuras _____	VIII
Lista de Quadros _____	X
Lista de Tabelas _____	XI
1. INTRODUÇÃO _____	01
2. REVISÃO DE LITERATURA _____	03
2.1- Sistemas de Abastecimentos de Água _____	03
2.2- Sistemas de Distribuição de água _____	06
2.3- Perdas no Sistema de Abastecimento de Água _____	07
2.4- Comparação conceitual x modelo atual _____	10
2.5- Demanda atual da cidade de Natal-RN _____	12
2.6- Parâmetros de Qualidade de Água _____	13
2.7- Qualidade da água superficial de Abastecimento de Natal-RN _____	16
2.8- O aplicativo EPANET _____	21
3. METODOLOGIA _____	23
3.1- Área de Estudo _____	24
3.2- O Sistema de Abastecimento de Água _____	35
3.2.1- Captações Subterrâneas _____	35
3.2.2- Captação Superficial da Regional Natal Norte _____	40
3.2.3- Caracterização da elevatória da ETA de Exremoz _____	42
3.2.4- Captação Superficial da Regional Natal Sul _____	46
3.2.5- Caracterização das elevatórias da ETA do Jiqui _____	48
3.2.6- Vazão de alimentação aos Principais Reservatórios _____	55

4. ANÁLISE E RESULTADOS	59
4.1- Comportamento do sistema de distribuição superficial por simulação	59
4.2- Setorização da distribuição de água dos reservatórios	65
4.3- Qualidade da água distribuída	73
5. CONCLUSÕES	75
6. BIBLIOGRAFIA	77

1. INTRODUÇÃO

A importância de um adequado Sistema de Abastecimento de Água Urbano, induz à realização de muitos projetos e pesquisas com o objetivo de introduzir o aprimoramento e implantação de técnicas que priorizam a otimização na distribuição, na qualidade da água fornecida e no controle das perdas, tornando a operação do sistema em condições satisfatórias para a população atendida, considerando ainda as pressões de ampliação do sistema para atender às novas áreas do crescimento urbano.

Sabe-se que as maiores deficiências observadas em Sistemas de Abastecimento de água se deve principalmente à deterioração das partes integrantes, especialmente a distribuição, com rompimentos frequentes de tubulações antigas ou inadequadas, ocasionando vazamentos e, conseqüentemente, elevando o índice de perdas e prejuízos financeiros.

O Abastecimento de Água do município de Natal/RN e bairros dos municípios vizinhos, que constituem a área de estudo, são providos a partir de mananciais tanto superficiais e quanto subterrâneos.

A Companhia de Água e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) tem realizado esforços para manter em condições satisfatórias a quantidade e qualidade de água distribuída à população de Natal/RN, mesmo com o grande aumento das áreas urbanizadas e populacional, seguido da intensificação das atividades socioeconômicas da região, exigindo-se constantes ampliações nas redes de distribuição existentes.

A empresa vem trabalhando na otimização do modelo de abastecimento com o objetivo de melhorar a qualidade da água dos poços e superar as dificuldades operacionais que se avolumam em virtude de ações que são tomadas para abrandar as situações emergenciais. Reconhece-se a necessidade de tomadas de decisões planejadas, buscando-se alternativas que garantam o abastecimento em vazão e pressão suficientes nos diversos pontos de consumo.

É importante ressaltar que tanto Natal como as cidades de Parnamirim, Extremoz e São Gonçalo do Amarante estão em pleno crescimento urbano,

desenvolvimento industrial e de serviços, principalmente no turismo, com grande expectativa de alavancagem socioeconômica a partir deste ano de 2014, induzida pelo marketing com a Copa do Mundo em Natal e a inauguração e funcionamento do novo aeroporto em São Gonçalo do Amarante; Este crescimento evidentemente exigirá adequações de infraestrutura e, evidentemente, maior demanda hídrica (**NUNES**, 2011).

Esse cenário de desenvolvimento é um aspecto de motivação do presente trabalho, cujo objetivo deste é caracterizar e avaliar o macro sistema de abastecimento de água e o quantitativo (superficial e subterrâneo) distribuído na cidade de Natal-RN utilizando-se de informações esparsas existentes e do simulador hidráulico EPANET. As informações do sistema de distribuição encontram-se em planilhas disponibilizadas pela concessionária (CAERN).

As informações selecionadas - vazões de recalque nas captações, volume distribuído, demandas da área estudada, capacidade de armazenamento dos principais reservatórios de distribuição, volume de contribuição das captações subterrâneas, além dos relatórios de análises que identificaram a qualidade da água fornecida a comunidade - contribuirão para compararmos o desempenho operacional no Sistema de Distribuição, assim como apresentar as fragilidades e necessidades com a finalidade de se propor métodos alternativos do uso, distribuição e preservação da água de Natal-RN.

Os mananciais superficiais atualmente utilizados - Lagoa do Jiqui - Lagoa de Extremoz e o manancial subterrâneo Dunas–Barreiras em Natal com expressivo número de poços tubulares são responsáveis pelo completo abastecimento de água da cidade, composta pelas unidades Norte e Sul, separadas pelo Rio Potengi.

Como objetivos específicos da avaliação desenvolvida neste estudo, foram verificados os principais pontos de abastecimento de água da cidade dependentes diretamente das adutoras derivadas das Estações de Tratamento; avaliação dos índices de qualidade da água nos pontos de captação e distribuição da cidade; caracterização das perdas nos subsistemas de abastecimento. Tais caracterizações

foram realizadas no intuito de identificar alternativas para o desenvolvimento do macro sistema de distribuição de água.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - Sistemas de Abastecimento de Água

Segundo **TSUTIYA** (2006), os sistemas de abastecimento de água, quando são construídos e operados inadequadamente, compromete diretamente o desenvolvimento socioeconômico e a saúde da população. Mesmo em países desenvolvidos há vários exemplos de surtos de doenças transmitidas pela má qualidade da água fornecida a população, que ocorrem por falhas na operação ou construção inadequada dos sistemas de abastecimento.

Na Suécia, de 1980 a 1995, ocorreram 90 surtos de doenças, envolvendo 50 mil pessoas, com dois óbitos (**ANDERSON**, 1997). Na Finlândia, de 1980 a 1992, ocorreram 24 surtos que atingiram 7700 pessoas (**LAHTI**, 1995). As falhas na desinfecção da água foram as principais causas de óbitos nesses dois países.

Para os padrões dos países em desenvolvimento, a situação do abastecimento de água no Brasil, levando-se em conta os números globais de população atendida, pode ser avaliada como bom.

O índice de atendimento da população urbana com abastecimento de água no país era de 92,4%, com 28,9 milhões ligações ativas de água, sendo 45,5% de ligações atendidas por companhias estaduais de água e esgoto, segundo o diagnóstico dos serviços de água e esgotos de 2001, efetuado pela ABES em 2003 (**TSUTIYA**, 2006).

No estudo da **ABES** (2003), em relação às perdas referentes a faturamento, medidas entre os volumes faturados e volumes disponibilizados para distribuição, o diagnóstico dos serviços de abastecimento de água no Brasil pode ser considerado preocupante, apresentando um valor médio nacional de perda de 40,4% em relação ao volume total disponibilizado. A tabela 1 apresenta os valores por região.

Tabela 2.1 - Perdas de faturamento pelas Companhias estaduais de água em 2011

Região	Perdas de Faturamento Valor médio	Perdas de Faturamento Valor máximo estadual
Norte	51,4 %	66,6 %
Nordeste	47,0 %	68,9 %
Sudeste	39,3 %	57,1 %
Sul	36,4 %	51,0 %
Centro oeste	30,0 %	37,2 %

Fonte: ABES (2003)

Segundo **AZEVEDO NETTO et al.** (1998), os sistemas de abastecimento de água constitui um conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável em uma comunidade para fins de consumo doméstico, consumo industrial, e outros usos. A água fornecida deverá ser, sempre que possível, em quantidade suficiente e de melhor qualidade do ponto de vista físico, químico e bacteriológico.

As partes integrantes de um sistema de abastecimento de água, como detalha **DACACH** (1975), estão divididas em captação, adução, tratamento, reservação e distribuição (Figura 1).



Figura 2.1- Partes integrantes de um sistema de abastecimento de água

A captação tem por finalidade retirar água de um manancial, seja ele superficial ou subterrâneo, em quantidade suficiente para atender aos vários níveis de demanda.

A adução tem a finalidade de conduzir a água de um local para o outro, seja ela do ponto de captação até a estação de tratamento, recebendo a classificação de adução de água bruta, ou da estação de tratamento aos reservatórios e/ou distribuição, recebendo a classificação de adução de água tratada.

O tratamento tem por objetivo tornar a água adequada para determinados fins de consumo, através da eliminação das impurezas e/ou correção de algumas de suas propriedades. Com relação às exigências da qualidade da água destinada a certas atividades, pode-se ter a necessidade de subsistemas com tratamentos diferenciados, como é o caso da água para consumo humano e da água utilizada em algumas etapas da indústria de alimentos (**SANTANA**, 1999).

Segundo **BARBOSA et al.** (1999), os estudos relacionados à otimização das operações dos sistemas de abastecimento de água, além do objetivo econômico, repassado ao consumidor final em menores custos nas tarifas, justificam-se por: (a) contribuir para futuras necessidades de ampliação dos componentes do sistema de distribuição; (b) adquirir melhores informações a respeito das interações entre os componentes do sistema, no qual é de grande significância na identificação dos pontos frágeis do sistema ou na determinação de manobras especiais em situações de emergência; (c) implantação de uma política efetiva de uso dos recursos hídricos, evitando situações de conflito e escassez hídrica.

Grande parte das pesquisas desenvolvidas para a otimização das operações dos sistemas de abastecimento de água, visam à redução dos custos de bombeamento e redução das perdas na distribuição.

Segundo **FRACATO et. al** (2004), a busca da operação eficiente de redes hidráulicas para abastecimento urbano de água também é desenvolvida em outros países, pois tal problema é agravado com a escassez de recursos hídricos. Técnicas eficientes de planejamento e operação de sistemas de abastecimento de água já vêm sendo utilizadas há algum tempo em muitos países, como é o caso da França, Alemanha, etc. Esses países, além de necessitarem de técnicas de abastecimento

de água eficientes, também definem, de forma sistemática, políticas de controle e adequação da oferta ao consumo.

2.2 - Sistemas de Distribuição de Água

Na elaboração de projetos de sistemas de distribuição de água dois grupos de objetivos se destacam na busca da otimização do sistema: (a) objetivos técnicos, relacionados a performance e atuação hidráulica, assim como: manutenção das pressões máximas e mínimas, garantia do volume de água no combate a incêndios, credibilidade operacional, etc; (b) objetivos econômicos, integrados a redução de custos operacionais do sistema (**BARBOSA et al.** 1999).

A distribuição de água depende muito das condições do sistema. Dessas condições, podem ser destacadas a topografia da área e a localização das fontes de abastecimento, além de critérios econômicos e sociais. Assim, as formas de abastecimento são classificadas em: abastecimento por gravidade; abastecimento por bombeamento; abastecimento por bombeamento e armazenamento (**SANTANA,** 1999).

Em sistemas de abastecimento de água as redes de distribuição são partes que normalmente estão sob constantes observações. Segundo **TSUTIYA** (2006), Rede de Distribuição de água é a parte do sistema de abastecimento formada de tubulações e órgãos acessórios, destinados a colocar água potável à disposição dos consumidores, de forma contínua, em quantidade, qualidade e pressão adequadas. A rede de distribuição é, em geral, o componente de maior custo do sistema de abastecimento de água, compreendendo, cerca de 50% a 73% do custo total de todas as obras do abastecimento.

Independente da configuração da rede de distribuição e da forma como a água é distribuída, as condições operacionais devem satisfazer as demandas previstas, como por exemplo, a manutenção das pressões, garantia das vazões necessárias e velocidades da água nas tubulações dentro de limites adequados.

2.3 - Perdas no Sistema de Abastecimento de Água

O controle de perdas de água em sistemas de abastecimento é de fundamental importância no controle das receitas e despesas da empresa, além de se considerar que a água é um recurso cada vez mais escasso, devido à poluição dos mananciais de abastecimento e aumento da demanda.

O Governo Federal lançou em 1997 o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA. Esse programa tem por objetivo geral promover o uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras, beneficiando a saúde pública, o saneamento ambiental e a implementação de um conjunto de ações para uma efetiva economia dos volumes de água demandados para consumo nas áreas urbanas (**PNCDA, 2014**).

Nos últimos anos, a otimização nas operações dos sistemas de distribuição de água, no que diz respeito à redução de perdas, vem ganhando atenção especial em pesquisas aplicadas.

VAIRAVAMOORTHY e LUMBERS (1998) apresentaram um modelo de operação ótima de sistemas de distribuição de água visando à redução dos vazamentos, com base no controle ótimo das válvulas em um horizonte de 24 horas.

O modelo sugerido, de características não-lineares, é resolvido pelo Método de Programação Quadrática Sequencial (PQS). Os autores compararam duas funções objetivo distintas: (a) minimização do volume total de vazamento; (b) minimização das diferenças quadráticas dos níveis de pressões nos nós da rede. A performance do modelo foi demonstrada através de sua aplicação na rede estudada previamente por **JOWITT e XU** (1990), em que a metodologia baseada na minimização das diferenças quadráticas dos níveis de pressões nos nós da rede conduziu a menores níveis de vazamento.

REIS et al. (1997) apresentam um modelo de operação ótima de sistemas de distribuição de água baseado na locação de válvulas controladoras de vazão, tendo como objetivo a redução dos vazamentos para um determinado padrão de demanda e níveis dos reservatórios. A estrutura do modelo proposto é composta por um algoritmo genético (AG) fazendo a interface com um algoritmo matemático de

programação linear (PL) baseado na proposta de **JOWITT e XU** (1990). O algoritmo genético tem a finalidade de gerar uma população com varias combinações (locações) de válvulas no sistema, que é avaliada pelo algoritmo de programação linear. Tem a finalidade de obter o ajuste (volume total de vazamento) de todas as combinações de válvulas e os seus modos de operação.

BORTONI et al. (1998) realizaram um estudo comparativo entre bombas operadas com válvula controladora de vazão e variação de rotação, com relação à conservação de energia em instalações de bombeamento. O conjunto moto-bomba estudado pelos autores pertence ao circuito de ensaios do Laboratório Hidromecânico para Pequenas Centrais Hidrelétricas (LHPCH) da EFEI - Escola Federal de Engenharia de Itajubá. A variação da rotação do conjunto foi realizada através de um acoplamento hidrocínético. Para efeito de cálculo, os autores utilizaram uma curva de demanda, simulando as oscilações diárias as quais os sistemas de bombeamento urbanos estão sujeitos. Os resultados obtidos indicaram que a bomba operada através de variações em sua rotação conduziu a uma redução de 10,8% da energia consumida, quando comparada à bomba operada através de válvula controladora de vazão. Os autores citam que a análise energética não é suficiente para justificar o investimento na utilização de equipamentos que proporcionem a variação da rotação em conjuntos motor-bomba. Sendo assim, torna-se necessária uma visão econômica que contemple outros tipos de acionamentos de rotação variável, diminuindo riscos e incertezas, aumentando a confiabilidade do investimento.

WOOD e REDDY (1994) propõem uma metodologia de controle ótimo de bombas de rotação variável, tendo como objetivo a minimização dos custos de bombeamento e as fugas na rede em período extensivo (24 horas). A técnica de resolução é baseada em um modelo dual, conectando um simulador hidráulico a um modelo de otimização. Sua formulação e resolução são feitas utilizando-se um algoritmo genético (AG). O algoritmo genético é empregado para gerar um conjunto de variáveis de decisão (níveis dos reservatórios). Com base nestas variáveis, são obtidas as variáveis de estado (vazões e pressões) por meio do simulador hidráulico, que são utilizadas para avaliar a função objetivo e as restrições de contorno (implícitas: limites de pressões nos nós, limites de velocidades nas tubulações, e

rotações das bombas; explícitas: limites das variáveis de decisão- nível dos reservatórios).

JOWITT e **XU** (1990) desenvolveram um modelo de operação ótima de sistemas de distribuição de água, visando à minimização do volume total de vazamentos através do controle ótimo de válvulas. O modelo proposto, de características não-lineares, é linearizado através do Método da Teoria Linear e, resolvido por programação linear (PL). A performance do modelo foi demonstrada através de sua aplicação em uma rede com 22 (vinte e dois) nós, 37 (trinta e sete) tubos, 3 (três) reservatórios e 3 (três) válvulas de controle de vazão, em um horizonte de operação de 24 horas, em comparação com uma metodologia não baseada no controle ótimo, mostrando-se muito eficiente.

Os sistemas de abastecimento de água, por características próprias, evidenciam um determinado grau de perdas tanto decorrente da complexidade da produção como da distribuição.

Segundo **COELHO** (2001), perdas são as aquelas quantidades de águas faturadas e não faturadas no sistema pelas concessionárias, ou que chegam ilegalmente em estabelecimentos. São classificadas como físicas e não físicas originadas de:

- Vazamentos em partes do sistema – adutoras, redes de distribuição, ramais prediais;
- Erros de medição, imprecisão ou falta de sensibilidade dos medidores ou métodos inadequados de medição;
- Fornecimento não-faturado – uso clandestino ou sem hidrômetro

Outro fator relevante relacionado às perdas em Sistemas de Abastecimento é a conservação e qualidade das adutoras e das tubulações e acessórios das redes de distribuição. Segundo **De PAOLI** (2008), a degradação em tubos a base de PVC sofre um processo autocatalítico, altamente tóxico ao meio ambiente, além da liberação do ácido clorídrico que acelera o processo de corrosão.

2.4- Comparação conceitual x modelo atual

Para exemplificar, a análise de uma possível estratégia sustentável de controle de vazamentos é apresentada por **LAMBERT & HIRNER** (2000). Quatro elementos principais, apresentados na Figura 2, indicam as etapas de gerenciamento e influência no bom desempenho no sistema de abastecimento como um todo. São elas:

1- O Gerenciamento de pressão - procura dar ao sistema um controle específico através de válvulas redutoras que garante a ausência de rompimentos nas tubulações de distribuição.

2- O Controle ativo de vazamentos - requer uma infraestrutura operacional da concessionária responsável pelo abastecimento que deve resultar em práticas que levem a prevenir o surgimento de vazamentos e a combatê-los imediatamente uma vez que surjam; sejam vazamentos visíveis ou invisíveis, ao invés do combate apenas aos vazamentos que afloram.

3- A agilidade e qualidade dos reparos - está ligada às perdas físicas do sistema. A boa eficiência na manutenção em reparos é consequência direta em tempo ganho em reincidências e despressurização das redes de distribuição.

4 O Gerenciamento da infraestrutura e o adequado planejamento técnico - garante praticamente o bom desempenho na redução de perdas de água.

O balanço hídrico das duas regionais Norte e Sul de Natal, RN mostra a configuração quantitativa do volume de água distribuída com suas respectivas variações de destino. As Figuras 3 e 4 mostram uma modelagem feita pela própria empresa de abastecimento (CAERN) no período de 12 meses (abril-março/2010) utilizando o Software World Bank Easy Calc para a Regional Natal Norte e Regional Natal Sul (**CAERN**, 2011).

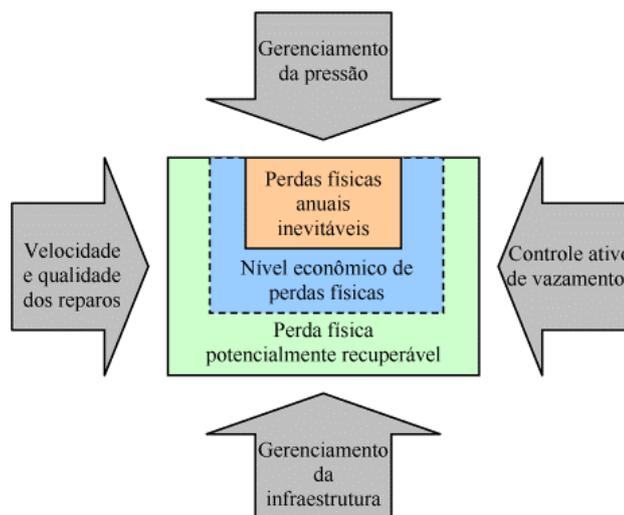


Figura 2.2 – Estratégia de controle e perdas de água (Fonte: LAMBERT (2000))

Quadro 2.1 – Balanço hídrico da Regional Natal Norte (RNN) -2010 – CAERN

Balanço Hídrico em m ³ /ano					
Volume de Entrada no Sistema 31.445.703 margem de Erro[+/-] 10,1%	Consumo Autorizado 9.854.383 m ³ /ano	Consumo Autorizado Faturado 7.913.470 m ³ /ano	Consumo Medido Faturado 4.031.644 m ³ /ano	Água Faturada 7.913.470 m ³ /ano	
			Consumo Medido não Faturado 3.881.826 m ³ /ano		
	Margem de Erro [+/-] 0,0%	Consumo Autorizado não Faturado 1.940.913 m ³ /ano	Consumo não Medido Faturado 0 m ³ /ano	Consumo não Medido não Faturado 1.940.913 m ³ /ano Margem de Erro[+/-] 50 %	Água não Faturada 23.532.233 m ³ /ano Margem de Erro[+/-] 13,5%
		Margem de Erro[+/-] 50 %			
	Perdas de Água 21.591.320 m ³ /ano Margem de Erro [+/-] 14,8%	Perdas Aparentes 1.855.590 m ³ /ano	Consumo não Autorizado 961.702 m ³ /ano	Margem de Erro [+/-] 35,5%	
		Margem de Erro [+/-] 18,6 %	Inexatidão de hidrômetros e erros de manipulação de dados 893.888 m ³ /ano Margem de Erro [+/-] 5,9%		
Perdas Reais 19.735.730 m ³ /ano Margem de Erro [+/-] 16,2%					

Quadro 2.2 – Balanço hídrico da Regional Natal Sul (RNS) -2010 – CAERN

Balanço Hídrico em m³/ano					
Volume de Entrada no Sistema 53.338.958 margem de Erro[+/-] 12,0%	Consumo Autorizado 29.873.187 m³/ano	Consumo Autorizado Faturado 27.974.289 m³/ano	Consumo Medido Faturado 24.176.493 m³/ano	Água Faturada 27.974.289 m³/ano	
			Consumo Medido não Faturado 3.797.796 m³/ano		
	Margem de Erro [+/-] 0,0%	Consumo Autorizado não Faturado 1.898.898 m³/ano	Consumo não Medido Faturado 0 m³/ano		Água não Faturada 26.364.669 m³/ano Margem de Erro[+/-] 24,8%
		Margem de Erro[+/-] 50 %	Consumo não Medido não Faturado 1.898.898 m³/ano Margem de Erro[+/-] 50 %		
	Perdas de Água 24.465.771 m³/ano	Perdas Aparentes 7.524.508 m³/ano	Consumo não Autorizado 1.149.265 m³/ano	Margem de Erro [+/-] 34,8%	
			Margem de Erro [+/-] 7,6 %	Inexatidão de hidrômetros e erros de manipulação de dados 6.105.242 m³/ano Margem de Erro [+/-] 6,3%	
Margem de Erro [+/-] 26,7%		Perdas Reais 17.211.263 m³/ano Margem de Erro [+/-] 38,1%			

Esses valores mostram uma estimativa do montante ora disponível na região e seus níveis de distribuição de acordo com o volume administrado. Constata-se que 53,7% da água tratada está classificada como perdas. É um valor expressivo quando se trata de impacto ambiental e preservação dos recursos hídricos, além do declínio na arrecadação financeira da concessionária. A RNN chegando a 68,6% de perdas e a RNS 45%. Quanto à água faturada: RNN 25,16% da produção (31.445.703 m³/ano) e a RNS 51,48 da produção (54.338.958 m³/ano).

2.5 - Demanda atual da cidade de Natal-RN

A cidade de Natal-RN apresenta atualmente uma boa cobertura do serviço de abastecimento de água, necessitando apenas de ajustes na distribuição e controle das perdas existentes.

O abastecimento da cidade está distribuído para uma população estimada em 850.000 habitante segundo o censo de 2010 do IBGE extrapolado para 2013.

Para essa população estimada, segundo os dados da **CAERN** (2014), o sistema de abastecimento possui 235.000 ligações cadastradas, das quais 196.424 estão ativas e 33.067 desligadas, com percentuais respectivos de 84,8 e 14,2%.

Algumas informações podem ainda ser citadas acerca dos mananciais responsáveis pelo sistema de abastecimento de água. Segundo **MINEIRO** (2001), tem-se que:

“[...] em 1994 a demanda das zonas sul, leste e oeste da cidade eram de 56.000.000 m³; o bombeamento subterrâneo e superficial de 64.000.000 m³, com perda de 17%; o manancial subterrâneo respondia por 74% e a lagoa do Jiqui com 26%; a lagoa já estaria perto do limite máximo de exploração”.

O sistema de abastecimento está dividido em dois subsistemas distintos e independentes. Separados pelo Rio Potengi, a Regional Natal Norte (RNN) e a Regional Natal Sul (RNS) são abastecidas por diversas fontes: Captações em mananciais de superfície (Lagoas do Jiqui e Extremoz) e diversas captações em manancial subterrâneo, através de poços tubulares.

2.6 - Parâmetros de Qualidade da Água

O **Índice de Qualidade das Águas** – IQA trás informações básicas da qualidade de água para o público em geral, bem como para o gerenciamento ambiental das águas superficiais.

O IQA foi desenvolvido em 1970 pela National Sanitation Foundation para avaliar a qualidade da água para abastecimento humano (**ANA**, 2014).

Segundo a Agência Nacional de Águas, a avaliação da qualidade da água obtida pelo IQA apresenta limitações, já que este índice não analisa parâmetros importantes para o abastecimento público, tais como substâncias tóxicas (ex: metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos), protozoários patogênicos e substâncias que interferem nas propriedades organolépticas da água.

O IQA é composto por parâmetros que foram fixados em função da sua importância para a conformação global da qualidade da água (**CETESB**, 2014).

Os **sólidos dissolvidos** são constituídos por carbonatos, bicarbonatos, cloretos, sulfatos, fosfatos, etc., os quais em altas concentrações são objetáveis, pelos seus efeitos fisiológicos e sabor mineral e consequências econômicas, além de diminuir a solubilidade do oxigênio.

A **turbidez** de uma amostra de água esta relacionada com o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la, causada pela presença de sólidos em suspensão, tais como areia, silte, argila, detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, etc.

O **oxigênio dissolvido** proveniente da atmosfera dissolve-se nas águas naturais, devido à diferença de pressão parcial, sendo a concentração deste constituinte uma função das variáveis físicas, químicas e bioquímicas que ocorrem nas mesmas. A taxa de reintrodução de oxigênio dissolvido em águas naturais através da superfície depende da ação fotossintética das algas e das características hidráulicas.

O **pH**, que expressa a concentração do íon hidrogênio, é importante em diversos equilíbrios químicos, influenciando os ecossistemas aquáticos naturais, determinando a agressividade da água. As restrições de faixas de pH são estabelecidas para as diversas classes de águas naturais (Resolução no357 do CONAMA, de 25 de março de 2005), que fixa o pH entre 6 a 9 como a faixa ideal para proteção da vida aquática.

O **cloreto** é o ânion Cl⁻ que se apresenta nas águas subterrâneas através de solos e rochas. Nas águas superficiais são fontes importantes das descargas de esgotos sanitários, sendo que cada pessoa expele através da urina cerca 6 g de cloreto por dia, o que faz com que os esgotos apresentem concentrações de cloreto que ultrapassam a 15 mg/L. Nas águas tratadas, a adição de cloro puro ou em solução leva a uma elevação do nível de cloreto, resultante das reações de dissociação do cloro na água.

O **Nitrato** é um dos mais problemáticos contaminantes presente em muitos aquíferos rasos, seja devido a nutrientes para plantios seja pela mineralização da matéria orgânica disposta em fossas e sumidouros. Para a água potável o índice

máximo permitido é de 10 mg/L (NO₃-N) medido pelo Nitrogênio ou 45 mg/L medido pelo NO₃ (Canter, 1996).

A **condutividade elétrica** é uma expressão numérica da capacidade da água conduzir a corrente elétrica. Depende das concentrações iônicas e da temperatura e indica a quantidade de sais existentes na coluna d'água, e, portanto, representa uma medida indireta da concentração de poluentes. Em geral, níveis superiores a 100 mS/cm indicam ambientes impactados.

Demanda Química de Oxigênio (DQO) é a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico.

O cálculo do IQA é feito por meio da multiplicação ponderada nove parâmetros, segundo a seguinte fórmula:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i \cdot w_i$$

sendo

IQA = Índice de Qualidade das Águas. Um número entre 0 e 100;

q_i = qualidade do i -ésimo parâmetro. Um número entre 0 e 100, obtido do respectivo gráfico de qualidade, em função de sua concentração ou medida (resultado da análise);

w_i = peso correspondente ao i -ésimo parâmetro fixado em função da sua importância para a conformação global da qualidade, isto é, um número entre 0 e 1, de forma que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

sendo n o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA (ANA 2014).

A Tabela 2.2 apresenta os valores do IQA classificados em faixas, que variam entre os estados brasileiros (ANA 2014).

Tabela 2.2 - Classificação das águas naturais (ANA, 2014)

Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: AL, MG, MT, PR, RJ, RN, RS	Faixas de IQA utilizadas nos seguintes Estados: BA, CE, ES, GO, MS, PB, PE, SP	Avaliação da Qualidade da Água
91-100	80-100	ótima
71-90	52-79	boa
51-70	37-51	razoável
26-50	20-36	ruim
0-25	0-19	péssima

Índice de Toxidez - IT é um índice binário (0 ou 1). Quando alguma substância tóxica apresenta valores acima do limite permitido, pela Resolução CONAMA Nº 357/2005, atribui-se ao IT o valor 0 (zero), e quando nenhuma substância tóxica ultrapassar o limite permitido atribui-se ao IT o valor 1 (CETESB, 2014).

A nota final da qualidade de um ponto de amostragem será o produto do IQA pelo IT. Quando o IT = 0 o produto é zero, fazendo com que o IQA assuma valor 0 (zero), classificando a água como da pior qualidade. Quando o IT = 1 o produto confirmará o resultado do IQA. O Índice de Qualidade de Água combinado - IQAc adotado será aquele resultante do produto do IT pelo IQA.

Segundo (ANA, 2014) na avaliação do IQA, a análise da qualidade das águas superficiais do País foi feita em 2008 a partir das informações fornecidas pelas seguintes entidades que possuem redes de monitoramento: CETESB (SP), COGERH (CE), CPRH (PE), EMPARN (RN), FEPAM (RS), IAP (PR), IDEMA (RN), IEMA (ES), IGAM (MG), IGARN (RN), IMA (AL), IMASUL (MS), INEA (RJ), INGÁ (BA), SANEATINS (TO), SEMA (MT), SRH (PE), SUDEMA (PB) e SUDERHSA (PR).

Vale ressaltar que o IQA foi desenvolvido para avaliar a qualidade da água bruta visando seu uso para o abastecimento público, após tratamento. Os parâmetros utilizados no cálculo do IQA são em sua maioria indicadores de contaminação causada pelo lançamento de esgotos domésticos (CETESB, 2014).

2.7- Qualidade da Água Superficial de Abastecimento de Natal-RN

Em países em desenvolvimento como o Brasil, um dos maiores problemas das águas urbanas é a deficiência de coleta de esgoto cloacal, além do baixo índice

de tratamento daquele que é coletado. Há grande contaminação das águas de drenagem pluvial e dos mananciais pelo esgoto in natura.

De 1989 a 2000 houve pouco avanço no percentual de cidades com esgotamento sanitário (47 para 52%), mas houve um incremento no tratamento do esgoto coletado de 20 para 35% (**Silveira**, 2002).

Dessa forma mais de 80% do esgoto cloacal in natura distribui-se por córregos, ruas e sistemas de drenagem. Por outro lado, 88% dos distritos contam com abastecimento de água (61% se o abastecimento for com água tratada).

A comparação entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, Tucci (2002) apresenta os cenários respectivos de desenvolvimento quanto aos aspectos da água no meio urbano (Tabela 2.3). Nos países desenvolvidos grande parte dos problemas foram resolvidos quanto ao abastecimento de água, tratamento de esgoto e controle quantitativo da drenagem urbana. Nesses países, foi priorizado o controle através de medidas que obrigam a população a controlar na fonte os impactos devido à urbanização.

Sem o controle, como ocorre nos países em desenvolvimento, à medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorre os seguintes impactos:

- Aumento das vazões máximas em até 7 vezes, (Leopold,1968 adaptado por Tucci, 2002) e, também, a sua frequência (Quadro 2.3) devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies;
- Aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos (lixo);
- Deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial e contaminação de aquíferos.

Quadro 2.3 - Comparação dos aspectos da água no meio urbano

Infraestrutura urbana	Países desenvolvidos	Brasil
Abastecimento de água	Resolvido, cobertura total	Grande parte atendida, tendência de redução da disponibilidade devido a contaminação, grande quantidade de perdas na rede
Saneamento	Cobertura quase total	Falta de rede e estações de tratamento; as que existem não conseguem coletar esgoto como projetado;
Drenagem Urbana	Controlado os aspectos quantitativos; Desenvolvimento de investimentos para controle dos aspectos de Qualidade da água	Grandes inundações devido à ampliação das inundações. Obras somente estruturais que agravam as inundações através das canalizações. Aspectos de qualidade da água sem identificação.
Inundações Ribeirinhas	Medidas de controle não-estruturais como seguro e zoneamento de inundação	Grandes prejuízos por falta de política de controle

Fonte: Tucci (2002)

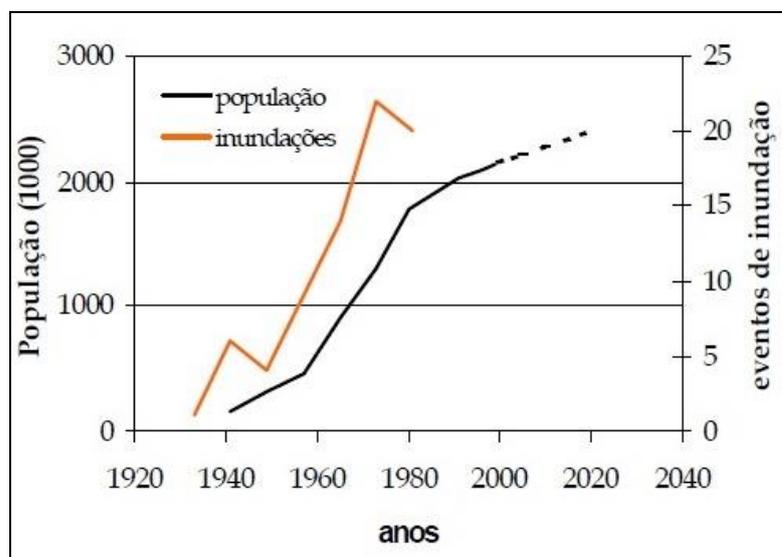


Figura 2.3- Evolução urbana e ocorrência de inundações (adaptado de Ramos, 1998) Fonte: Tucci, 2002

No caso do Estado do Rio Grande do Norte, constata-se que a empresa responsável pelo abastecimento da cidade Natal-RN (CAERN) possui um programa de monitoramento da qualidade da água bruta que cobre os principais corpos d'água formadores das bacias hidrográficas do Rio Pirangi e Doce, com análises sistemáticas dos parâmetros físico-químicos. Também são monitorados alguns

índices de qualidade das águas superficiais e subterrâneas captadas para distribuição.

As informações constantes na Rede Compartilhada de Monitoramento de Qualidade da Água – Programa Água Azul, que é um programa de estado, executado por equipe multidisciplinar constituída pela SEMARH, IGARN, IDEMA, UFRN, IFRN, UFERSA, UERN e EMPARN têm a finalidade de monitorar, através de coletas e análises, os corpos de águas superficiais e subterrâneos mais relevantes para abastecimento do RN, entre eles os da bacia do Pirangi e do Rio Doce que abastecem a região metropolitana de Natal.

As Figuras 2.4 e 2.5 apresentam as análises efetuadas pela CAERN dos parâmetros mais significativos de controle de qualidade da água no período de janeiro a junho 2010 nas Lagoas de Captação de Extremoz e do Jiqui.

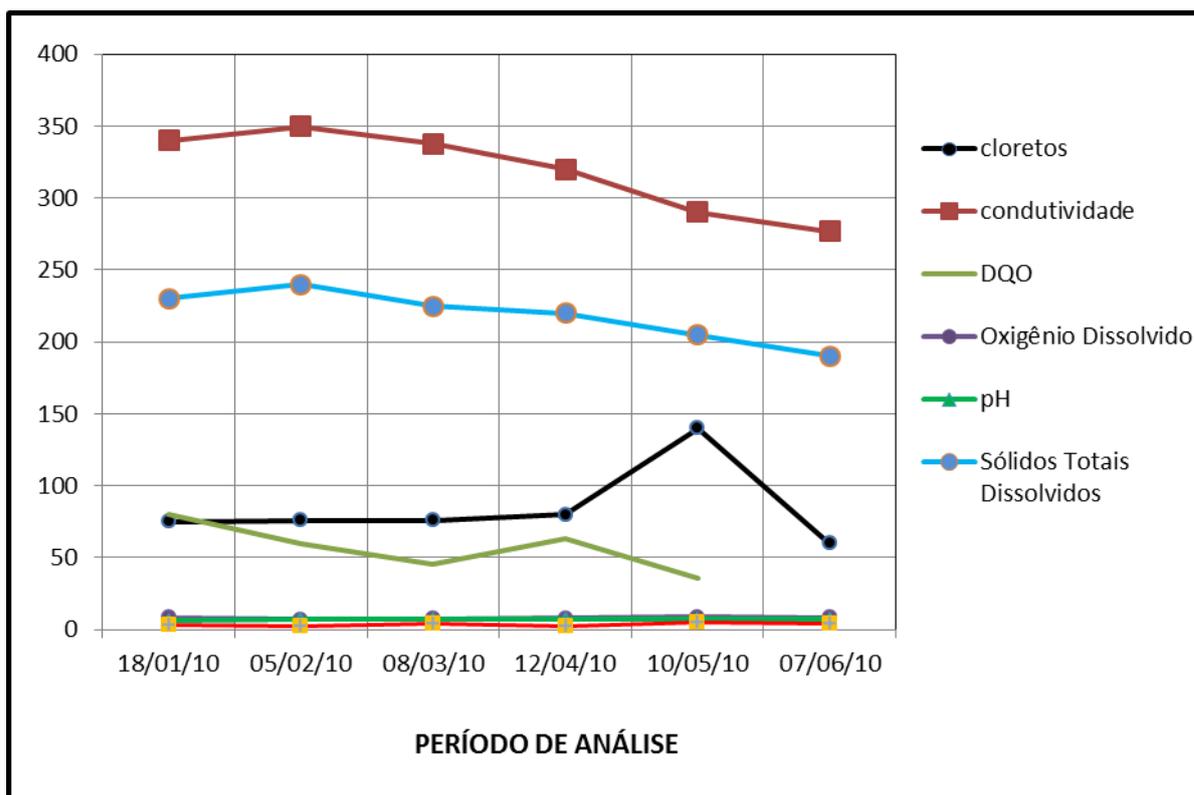


Figura 2.4 – Parâmetros controle de qualidade da água na captação/Extremoz.

Fonte: CAERN/2011

Apesar de alguns parâmetros apresentados nas análises realizadas divergirem, podemos dizer que ainda estão em condições de oferecer, com cautela e em curto prazo, o abastecimento da cidade.

Os recursos hídricos de Natal, tanto superficiais quanto subterrâneos, estão situados em zonas consideradas de alta vulnerabilidade à poluição/contaminação. No que tange às águas superficiais, a cidade é entrecortada por pequenos rios e riachos (adaptado de **Righetto**, 2006).

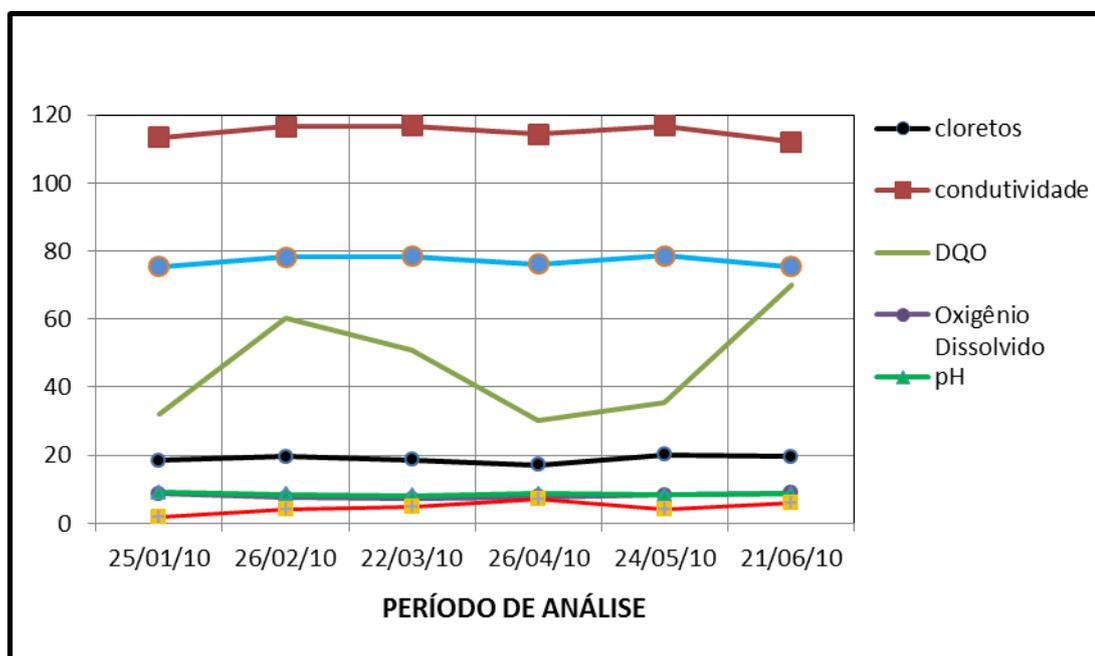


Figura 2.5– Parâmetros controle de qualidade da água na captação/Jiqui

Fonte: CAERN/2011

Como referencial do quantitativo geral brasileiro e com destaque para a região nordeste e especificamente Natal, a Figura 9 demonstra que mais de 68% da água doce disponível do país encontra-se na Região Norte, que é habitada por 7% da população enquanto na Região Nordeste vê-se a escassez hídrica, proveniente da combinação do crescimento exagerado das demandas, entre elas, a urbanização e industrialização, comprometendo a qualidade das águas.

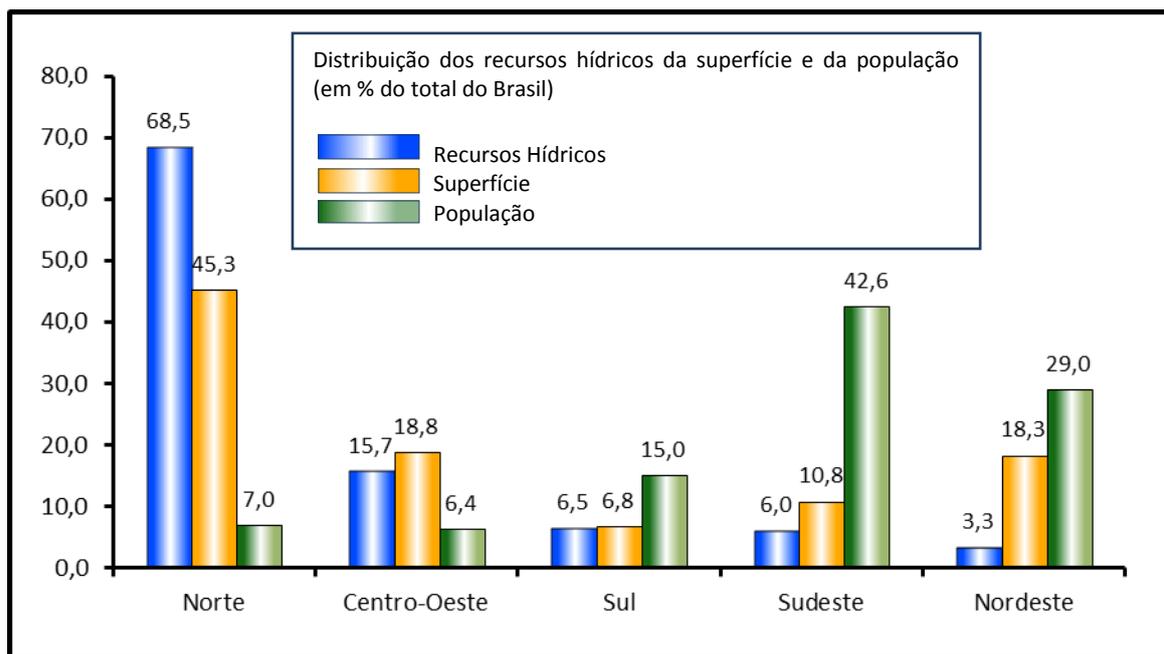


Figura 2.6 - Distribuição de Água no Brasil

Fonte: <http://www.fabrimar.com.br/prodserv.asp?tipo=2&op=1>

2.8- O aplicativo EPANET

Segundo **LNEC-EPANET 2.0** (2002), o EPANET é um programa de computador que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água de sistemas de distribuição em condições de pressão. Uma rede é constituída por tubos, bombas, válvulas, reservatórios de nível fixo e/ou reservatórios de nível variável.

O EPANET permite obter os valores de vazão em cada tubulação da rede, da pressão em cada nó, da altura dos níveis de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação. A simulação é realizada subdividindo-se o período em múltiplos passos ou intervalos de tempo. Adicionalmente, além de concentrações de solutos ou contaminantes conservativos, pode-se calcular o tempo de detenção da água na rede e pontos de estagnação sujeitos à contaminação por decaimento do cloro residual.

Desenvolvido para o ambiente Windows pela EPA (Environmental Protection Agency – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América), o EPANET é de domínio público e disponibilizado na rede INRWENWR e pode ser

utilizado em diversas situações onde seja necessário efetuar simulações em sistemas de distribuição de água simples ou complexos, através de um conjunto de trechos ligados a nós. Os trechos correspondem a tubulações ou conexões com bombas, válvulas e reservatórios. Os nós representam as junções, pontos de consumo e posição de reservatórios de nível fixo e/ou variado (**RECESA**, 2008).

Segundo o manual do **EPANET 2.0 BRASIL** (2009), o aplicativo foi idealizado para ser uma ferramenta de apoio à análise de sistemas de distribuição, melhorando o conhecimento sobre o transporte e o destino dos constituintes da água ao Abastecimento público. Pode ser utilizado em diversas situações onde seja necessário efetuar simulações de sistemas de distribuição. O estabelecimento de cenários de projeto (p.ex., expansão de uma rede existente), a calibração de modelos hidráulicos, a análise do decaimento do cloro residual e a avaliação dos consumos são alguns dos principais exemplos de sua aplicação. O EPANET pode ajudar a analisar estratégias e alternativas de gestão, de modo a melhorar a qualidade da água do sistema e realizar o controle entre oferta e demanda e controle de perdas.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo envolve o diagnóstico do sistema de abastecimento de Natal-RN, com as captações superficiais do Jiqui e Extremoz; os principais sistemas de distribuição como as estações elevatórias; os principais reservatórios receptores dos volumes provenientes das adutoras, a rede de poços de exploração; comportamento do sistema de distribuição principal; e o balanço hídrico entre oferta e demanda nas várias regiões da cidade.

Para que se definam as necessidades de intervenções e alternativas no sistema de abastecimento, é necessário avaliar as características e limitações da capacidade de produção e distribuição oferecidas pelo sistema atual e confrontar com a demanda necessária para atender à atual distribuição populacional, com garantia da qualidade e aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis na região.

Assim, utilizando-se o simulador EPANET e métodos comparativos de oferta e demandas formularam-se indicadores que levaram o estudo das análises do comportamento do macro sistema de distribuição de água da cidade do Natal-RN.

Na elaboração da avaliação foi utilizado o conjunto de dados do sistema de abastecimento da cidade incluindo: volume de água disponível dos mananciais e poços; volume consumido pelo sistema ativo; capacidade de armazenamento; vazões dos conjuntos motobomba (GMB) incluindo-se os poços de exploração; a população ativa e índices de perdas para a região.

O Macro Sistema foi avaliado com base nas grandes adutoras e seus respectivos reservatórios de distribuição, desconsiderando-se os micro sistemas e micro derivações para redes e ramais prediais. No entanto, por métodos estimativos, chegou-se numa margem significativa de entendimento e avaliação da produção e consumo de água da cidade. Os dados para as análises referem-se aos existentes e disponíveis no mês de dezembro de 2013.

3.1- ÁREA DE ESTUDO

O município de Natal, com localização ilustrada na Figura 3.1, está inserido no litoral oriental (leste) do Estado do Rio Grande do Norte - Nordeste do Brasil. Possui área demográfica de aproximadamente 167 km² (IBGE, 2013). As altitudes no Município variam de 2,0 a 110,0 m com a média em 31,0 m.

O perímetro urbano ocupa praticamente todo o município e, portanto, considera-se o município constituído inteiramente pela zona urbana.



Figura 3.1- Localização da Cidade de Natal-RN

Fonte: www.escoladealtosestudos.org.br/localizacao.php

A área de abrangência do estudo situa-se sobre 4 bacias hidrográficas principais: Doce, Potengi, Pirangi e a Faixa Litorânea Leste de Escoamento Difuso. Destacam-se aqui, as bacias do Rio Doce e Rio Pirangi, por estarem diretamente ligadas aos dois Reservatórios Superficiais que abastecem a Cidade de Natal: Lagoa de Extremoz e Lagoa do Jiqui (Figura 3.2).

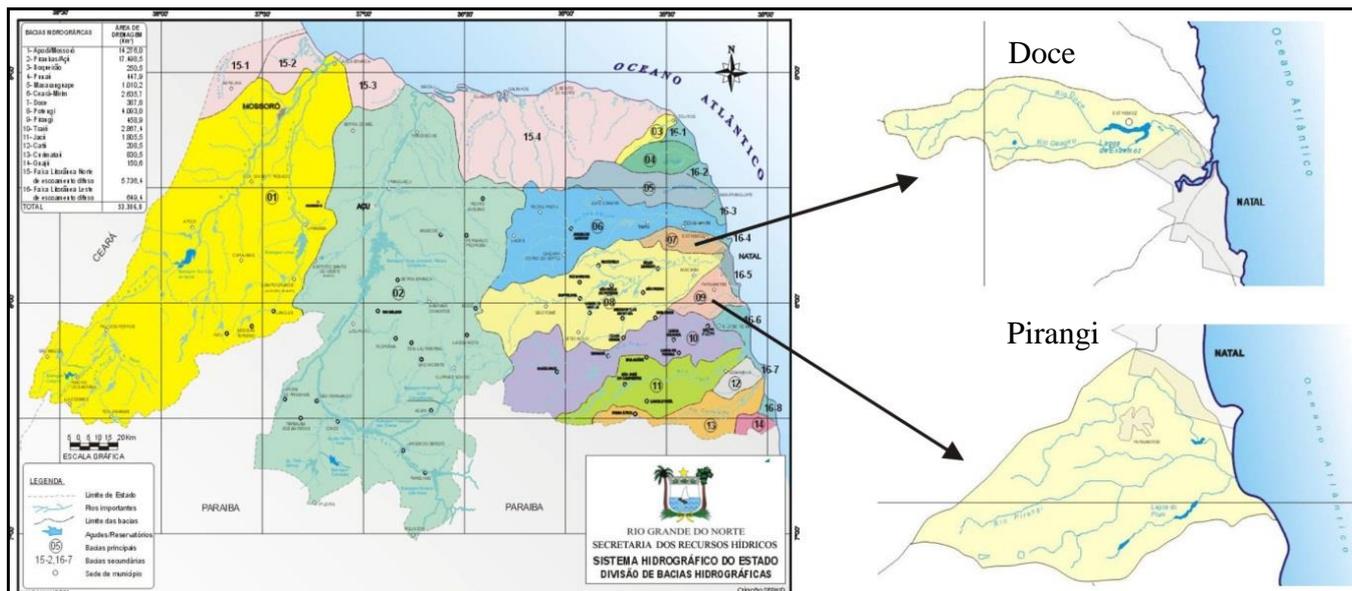


Figura 3.2- Bacias Hidrográficas do Rio Grande do Norte

Fonte: SEMARH 2014

Águas Superficiais

A bacia hidrográfica do Rio Doce, ocupa uma área de 387,8 km², correspondendo a cerca de 0,7% do território estadual. O corpo hídrico de maior destaque nesta bacia é a Lagoa de Extremoz (Figura 3.3), (SEMARH, 2014).

Localizada ao lado da rodovia BR 101, a Lagoa de Extremoz é a principal fonte de suprimento de água potável para a Zona Norte de Natal, cuja área de abastecimento é apresentada na Figura 3.4. A Lagoa é drenada pela Bacia do Rio Doce que é composta pelos rios Guajiru e Mudo, com suas nascentes nos municípios de Ielmo Marinho e São Gonçalo do Amarante.



Figura 3.3- Lagoa de Extremoz

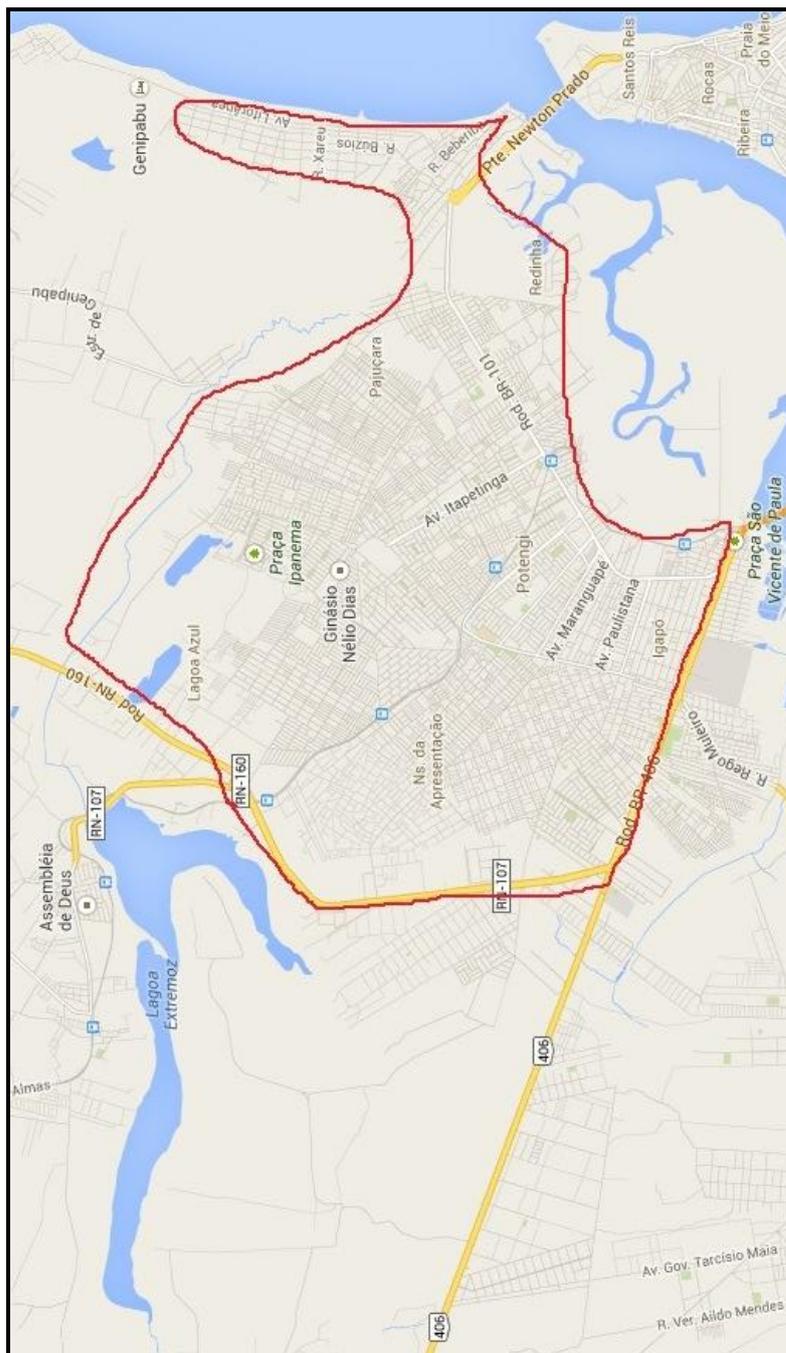


Figura 3.4 - Demarcação da área abastecida pela Lagoa de Extremoz
Fonte: Maps Google, 2013

O Rio Pitimbu é o principal afluente da Bacia do Rio Pirangi e de extrema importância como manancial superficial e captação de água na lagoa do Jiqui/RN (Figura 3.5) e como manancial subterrâneo com muitos poços de exploração de águas do aquífero dunas-Barreiras. Trata-se de um rio perene com escoamento de base expressivo, que garante a vazão atual de captação. A caracterização hidrogeológica, de ampla divulgação, demonstra a importância do aquífero Dunas/Barreiras, (MOUSINHO, RIGHETTO, DIAS, 2012), (MELO, 1995).

A lagoa do Jiqui, responsável pelo abastecimento da Regional Natal Sul (Figura 3.6), localiza-se em Parnamirim, próximo ao limite com a Zona Sul de Natal, com comprimento de 1.210 m e largura máxima de 200 m na seção de captação da CAERN (**LUCENA**, 2008)

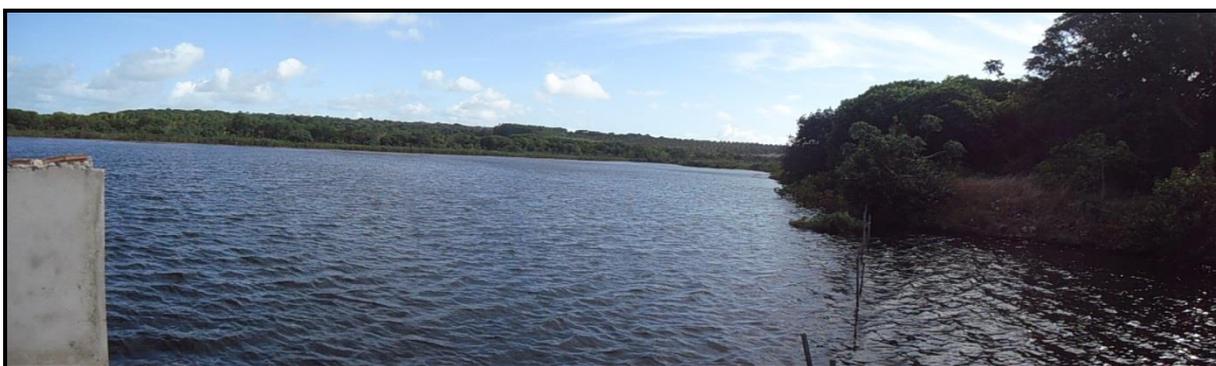


Figura 3.5- Lagoa do Jiqui

Essa lagoa está inserida no próprio leito do rio Pitimbu, o qual possui uma bacia hidrográfica de 98 Km². Este mesmo rio drena a lagoa, indo desaguar no Riacho Taborda, na localidade de Caturana (**LUCENA**, 2008).

Sua exploração teve início nos anos 60 através de poços amazonas nas suas margens e posteriormente, com tomada d'água na própria lagoa. A área da lagoa sofre intenso processo de ocupação residencial e industrial (**LUCENA**, 2008).

A qualidade da água dos mananciais de Extremoz e Jiqui depende da infraestrutura marginal aos reservatórios. O índice de ocupação desordenado em áreas impróprias é um dos fatores que proporciona o crescimento da degradação dos recursos hídricos para o abastecimento de Natal.

A tabela 3.1 mostra que os parâmetros de qualidade da água estão dentro dos valores permitidos pela resolução 357/2005 do CONAMA (Alterada pela resolução 430/2011).



Figura 3.6 - Demarcação da área abastecida pela Lagoa do Jiqui

Fonte: Maps Google, 2013

Tabela 3.1 – Parâmetros da qualidade da água nas lagoas de Extremoz e Jiqui

PARÂMETRO	Lagoa de Extremoz	Lagoa do Jiqui	VLP*
Temperatura média (°C)	32	32	-
pH	7,8	7,9	6,0 a 9,0 ¹ ; 6,5 a 8,5 ²³
OD (mg/L)	8,5	6,1	≥ 5,0 ^{1 2} ; ≥ 6,0 ³
DBO (mg/L)	3,0	1,8	≤ 5,0 ¹
Coliformes Termo tolerantes (NMP/100 ml)	456	170	< 1.000
Nitrogênio Total (mg N/L)	0,0536	0,9920	-
Fósforo Total (mg P/L)	< 0,0260	<0,0016	≤ (0,03 ⁺ , 0,05 ⁺⁺ ou 0,1 ⁺⁺⁺) ¹ ; ≤ 0,124 ² ; ≤ 0,062 ³
Sólidos Totais (mg/L)	152	53	-
Turbidez (UNT)	1,7	5,1	≤ 100 ¹
IQA	75	78	-
QUALIDADE	Bom	Bom	-
Cobre dissolvido (mg/L)	< 0,0003	< 0,0003	≤ 0,009 ¹ ; ≤ 0,005 ²³
Chumbo Total (mg/L)	< 0,0009	< 0,0009	≤ 0,01 ¹²³
Cromo Total (mg/L)	< 0,0003	< 0,0003	≤ 0,05 ¹²³
Cádmio Total (mg/L)	< 0,0004	< 0,0005	≤ 0,001 ¹ ; ≤ 0,005 ²
Zinco Total (mg/L)	< 0,0009	< 0,001	≤ 0,18 ¹ ; ≤ 0,09 ²³
Níquel Total (mg/L)	< 0,0005	< 0,0005	≤ 0,025 ¹²³
Merúrio Total (mg/L)	< 0,0002	< 0,0002	≤ 0,0002 ¹²³
Índice de Toxidez (IT)	1	1	-
IQAc	75	78	-
QUALIDADE	Bom	Bom	-
IET	46	41	-
Categoria	Ultraligotrófico	Ultraligotrófico	-
Cianobactérias (cél/mL)	367710	5040	50.000 ² ; 20.000 ^{M5}
COT (mg/L)	< 0,30	1,2	≤ 3,0 ²³
Teor de Óleos e Graxas (mg/L)	1,0	< 1	Virtualmente Ausentes
Clorofila "a" (µg/L)	0,15	0,56	≤ 30 ¹
Salinidade (%)	0,150	0,050	0,5‰ ¹ ; > 0,5 e < 30‰ ² ; ≥ 30‰ ³
Nitrogênio Amoniacal (mg N/L)	< 0,0140	< 0,0202	(pH<7,5):3,7; (7,5 <pH < 8,0):2,0; (8,0<pH<8,5): 1,0; (pH>8,5):0,5
Data da Coleta: 18/01/10 (Extremoz) – 25/01/10 (Jiqui)			

*VLP – Valores Limites Permitidos, em mg/L, segundo Resolução CONAMA Nº 357/2005. ¹Águas doces, ²Águas salobras, ³Águas salinas; ⁺ ambientes lênticos; ⁺⁺ ambientes intermediários; ⁺⁺⁺ ambientes Lútics.

Fonte: Planilha de resultados de análises Físico-Químicas e Bacteriológicas – CAERN/2010

Águas Subterrâneas

Em sua condição natural, a água subterrânea do aquífero Dunas-Barreiras em Natal era considerada de excelente qualidade físico-química e bacteriológica, pelo fato de ser mais bem protegida e menos vulnerável à ação antrópica. Contudo, está sendo degradada pela contaminação por nitrato decorrente de grande parcela de esgotos infiltrados no solo oriunda de fossas e sumidouros e de outras soluções de destinação de efluentes utilizados, ainda presentes em cerca de 70% do município (**CAERN**, 2010). No entanto, a água subterrânea de Natal ainda dispensa o tratamento convencional, requerendo tão somente a desinfecção e diluição para manter o nível de Nitrato compatível com as exigências de água potável e, em alguns casos, correção de pH para ser consumida.

Em função do volume do aquífero e da qualidade potencial que apresenta, se constitui em excelente reserva estratégica, motivo pelo qual se torna imperioso a expansão dos serviços de coleta de esgotos para 100% da população e a destinação adequada dos efluentes gerados.

Da mesma forma, deve-se obrigatoriamente coletar e dar destinação aos resíduos sólidos, preservar áreas de recarga dos aquíferos, das margens dos rios e lagoas, notadamente as de Extremoz e Jiqui.

Não menos importante é um sistema de drenagem das águas pluviais em que se considere a recarga das águas subterrâneas, em termos quantitativos e qualitativos (**CAERN**, 2010).

O aquífero Dunas/Barreiras, ilustrado na Figura 3.7, tem grande reserva hídrica, ainda não explorada na sua totalidade. As reservas subterrâneas são renovadas periodicamente pela água das chuvas, o que lhe atribui um grande potencial hidrogeológico, porém extremamente vulnerável. (**RIGHETTO**, 2006) pelas crescentes demandas e contaminação.

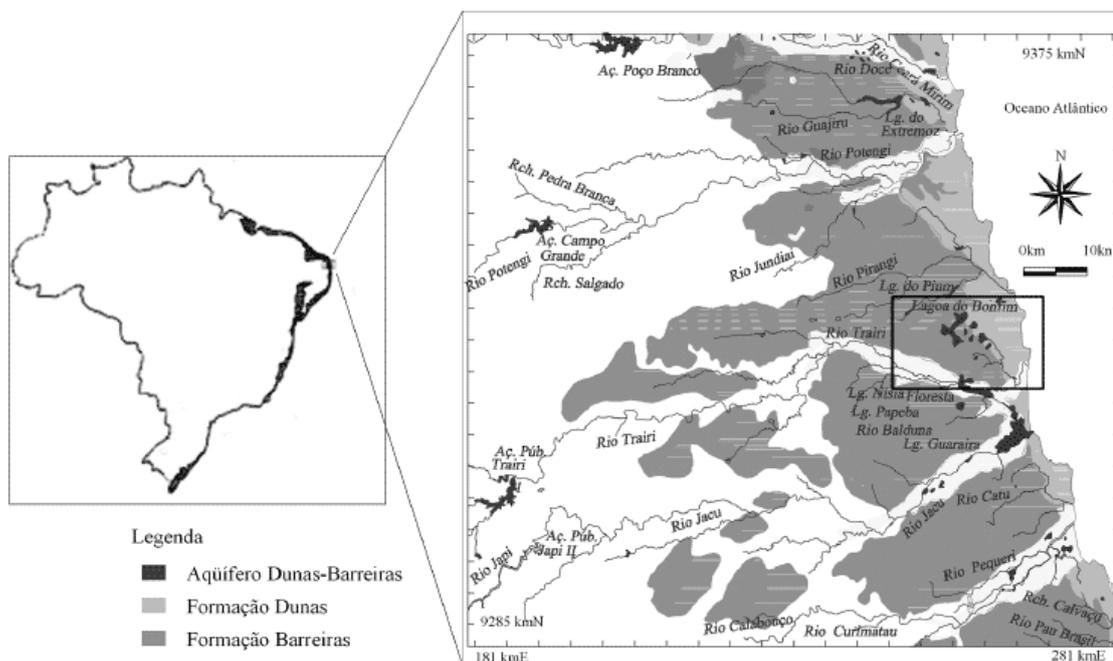


Figura 3.7- Aquífero Dunas Barreira

Fonte: <http://www.scielo.br/img/revistas/rbq/v25n2/a01fig01.gif> (acesso em 25/01/2014)

No município de Natal, o grande desafio atual é manter a qualidade da água, tanto superficial quanto subterrânea, em padrões aceitáveis para consumo humano.

No seminário apresentado em 2012 em Natal-RN pela Agência Nacional das Águas (ANA) apontou a urgência nos serviços de Saneamento Básico para manter a qualidade das águas subterrâneas ainda existentes na região Metropolitana de Natal. Concluiu-se que os 30% do esgoto gerado e saneado na capital ainda é insuficiente para garantir padrões aceitáveis de contaminação por nitrato.

Segundo **MELO** (1995), a maioria dos poços monitorados apresenta teores de nitrato crescentes em direção às zonas de maior densidade demográfica ou onde as atividades urbanas são mais intensas e nas regiões onde o nível da água encontra-se mais próximo da superfície. No entanto, os demais parâmetros, como cloreto, condutividade elétrica, ferro, dentre outros, estão abaixo dos limites tolerados para consumo humano, configurando-se como água que, afora o nitrato, é de excelente qualidade e propicia baixo custo para aproveitamento no abastecimento de água da cidade.

A zona sul da cidade de Natal tem sua área de recarga delimitada pelos rios Potengi e Pitimbu, a costa oceânica e formação calcífera na fronteira de profundidade, na base. A crescente exploração do aquífero dentro de perímetro urbano e a disposição do esgoto por fossas e sumidouros, de um lado trouxe baixos investimentos em infraestrutura de saneamento e por outro, em problema de difícil solução em curto prazo, **RIGHETTO** (2004) *apud* **RIGHETTO, VILELA e DANTAS** (2006).

Qualidade das águas subterrâneas

No estudo apresentado por **MELO** (1995) foram avaliados os riscos potenciais de contaminação por nitrato (NO_3) nas águas subterrâneas que abastece a cidade de Natal-RN provenientes de ações comprometedoras na superfície do solo como: disposição irregular de efluentes domésticos (esgoto cloacal), tratamento ineficiente no sistema de esgoto e o crescente número de fossas e sumidouros nos setores de maior densidade populacional.

Trata-se de um radical químico derivado de fezes humanas que, após um determinado tempo, a matéria orgânica é transformada em amônia, depois em nitrito e por último em nitrato. Por ser solúvel na água, infiltra no solo chegando a profundidades superiores a 100 metros, poluindo as águas subterrâneas. (**IPT**, 1982; **CAERN**, 1988; **ACQUAPLAN/ CAERN**, 1988).

As Figuras 3.8 a 3.12 apresentam as análises executadas pela CAERN entre 2007 e 2011 das concentrações de nitrato (NO_3) dos poços que abastecem as Regionais Norte e Sul da Cidade de Natal-RN, segundo a portaria 518/2004 do Ministério da Saúde (Revogada pela portaria 2914/2011). Segundo as análises efetuadas, grande parte dos poços tubulares que abastece a Região Norte da capital estão com concentração de nitrato acima no limite estabelecido pela portaria, que é de 10 mg/l. Enquanto na Regional Natal Sul há um equilíbrio no quantitativo de poços que apresentam teores de Nitrato no limite estabelecido.

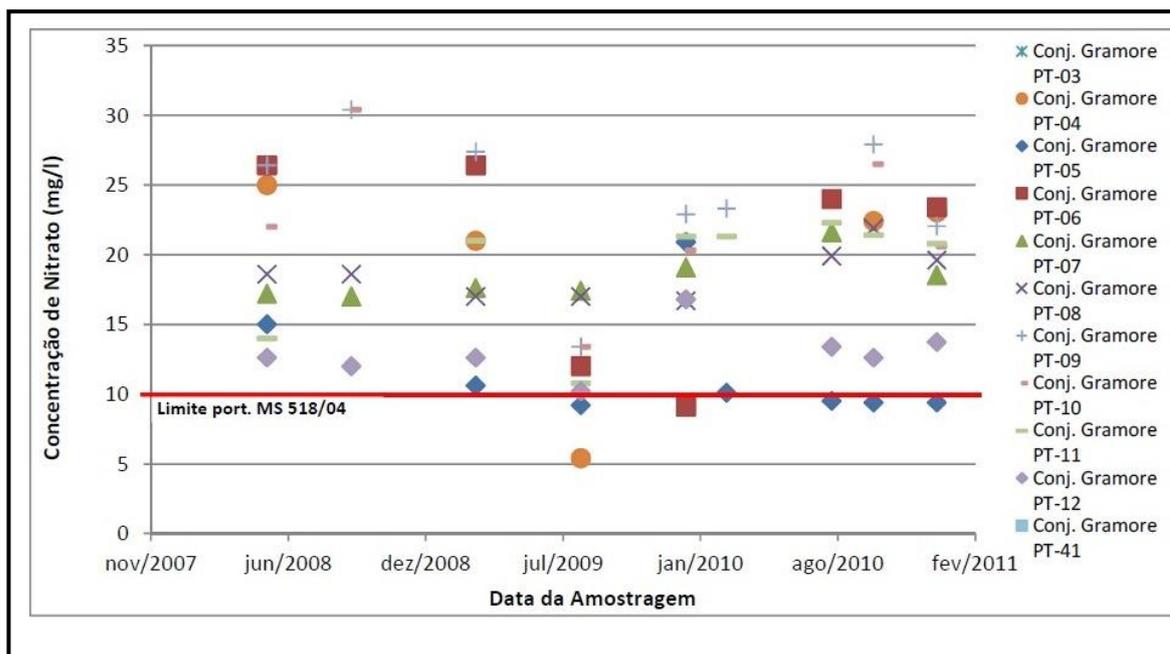


Figura 3.8- Concentração de nitrato dos poços do Bairro Gramoré
 Fonte: CAERN/2013

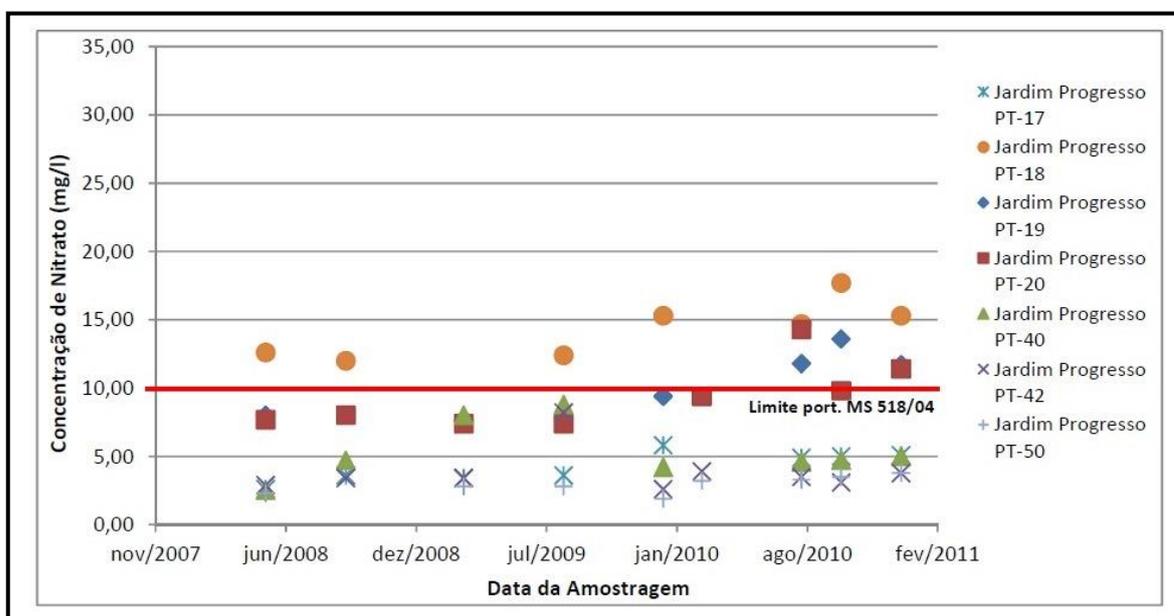


Figura 3.9- Concentração de nitrato dos poços do Bairro Jardim Progresso
 Fonte: CAERN/2013

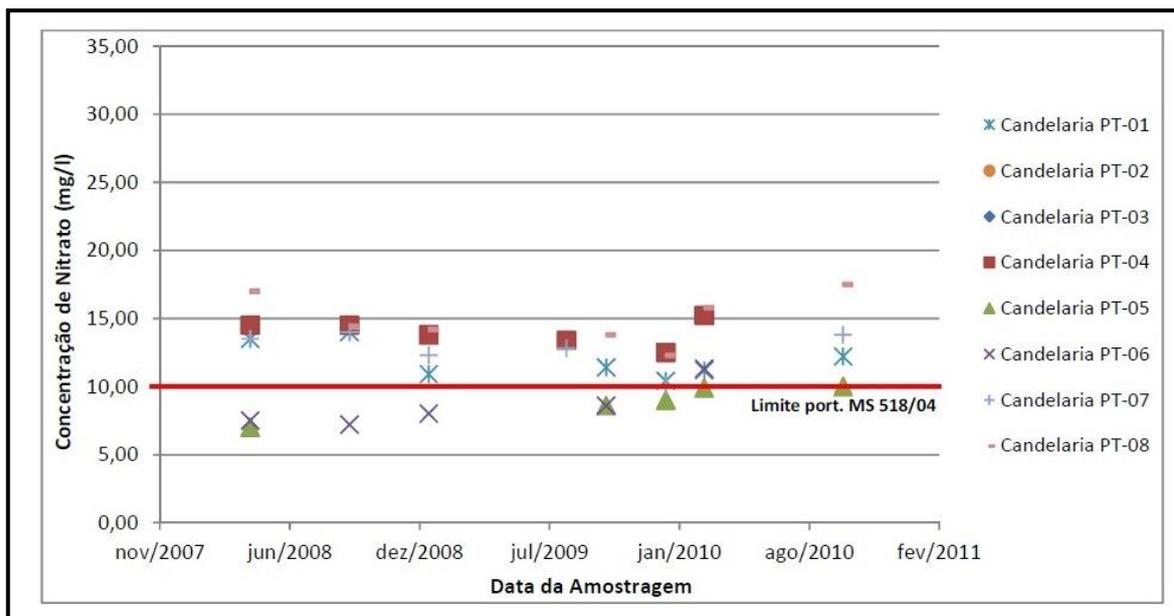


Figura 3.10- Concentração de nitrato dos poços do Bairro Candelária
Fonte: CAERN/2013

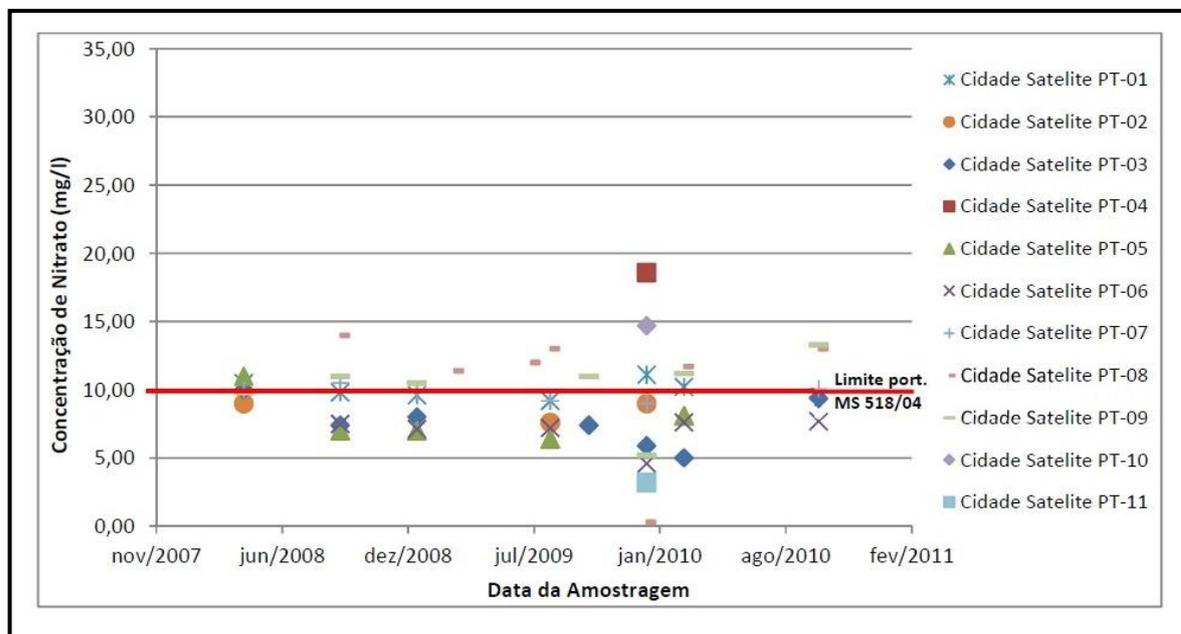


Figura 3.11- Concentração de nitrato dos poços do Bairro Cidade Satélite
Fonte: CAERN/2013

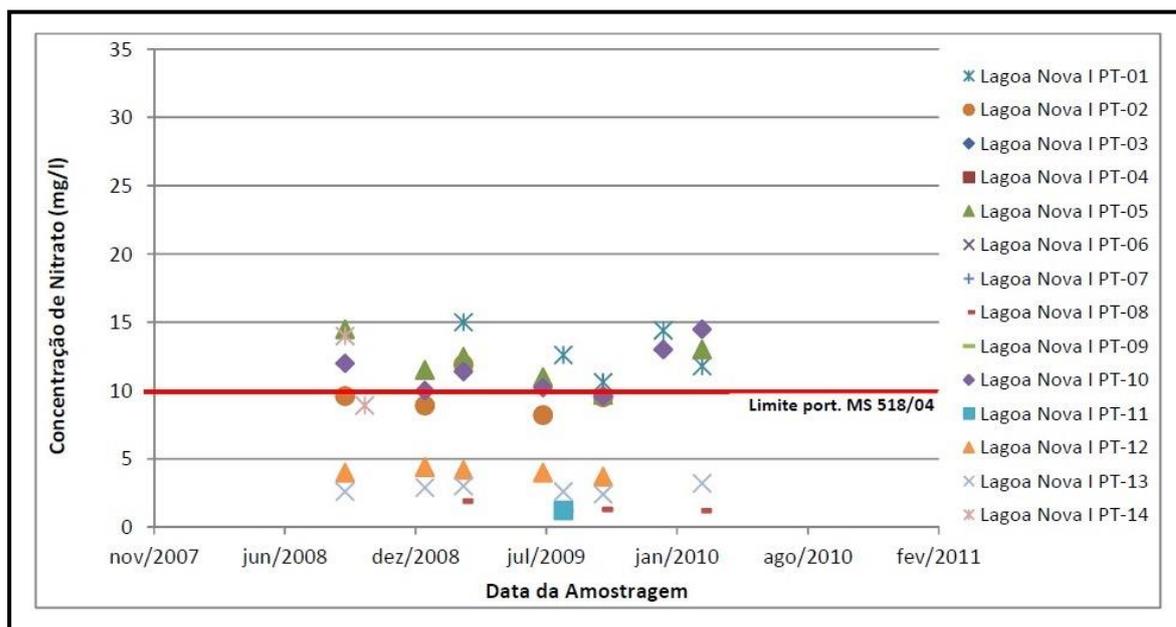


Figura 3.12- Concentração de nitrato dos poços do Bairro Lagoa Nova I
Fonte: CAERN/2013

3.2- O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

3.2.1- Captações subterrâneas

As condições climáticas da Região Metropolitana de Natal, as feições geomorfológicas e as características litológicas limitaram a ocorrência de cursos d'água expressivos. Por outro lado, a região é privilegiada em água subterrânea, pois é caracterizada pela presença de duas formações ou distintos aquíferos: o aquífero Dunas ou aquífero livre, e o aquífero Barreiras ou aquífero semiconfinado (IPT, 1982).

Embora a qualidade da água do aquífero livre possua excelentes condições físico-químicas para o consumo da população, e desaconselhável o seu uso doméstico devido à susceptibilidade deste aquífero, em ser contaminado por efluentes sanitários (fossas sépticas), e lagoas de águas pluviais, que também recebem esgotos domésticos in natura, ligados clandestinamente nas galerias pluviais. Por causa da superficialidade do lençol freático, este está sendo constantemente contaminado por coliformes fecais e posteriormente nitrato, com a formação de ambientes de proliferação de bactérias e vírus e, conseqüentemente gerando sérios riscos de doenças de veiculação hídrica.

O sistema de captação de água subterrânea da Regional Natal Norte (Figura 3.13) é constituído de diversos poços e sistemas isolados, totalizando 53 poços tubulares, sendo 40 em operação e 17 inativos ou a ativar (CAERN, 2011).

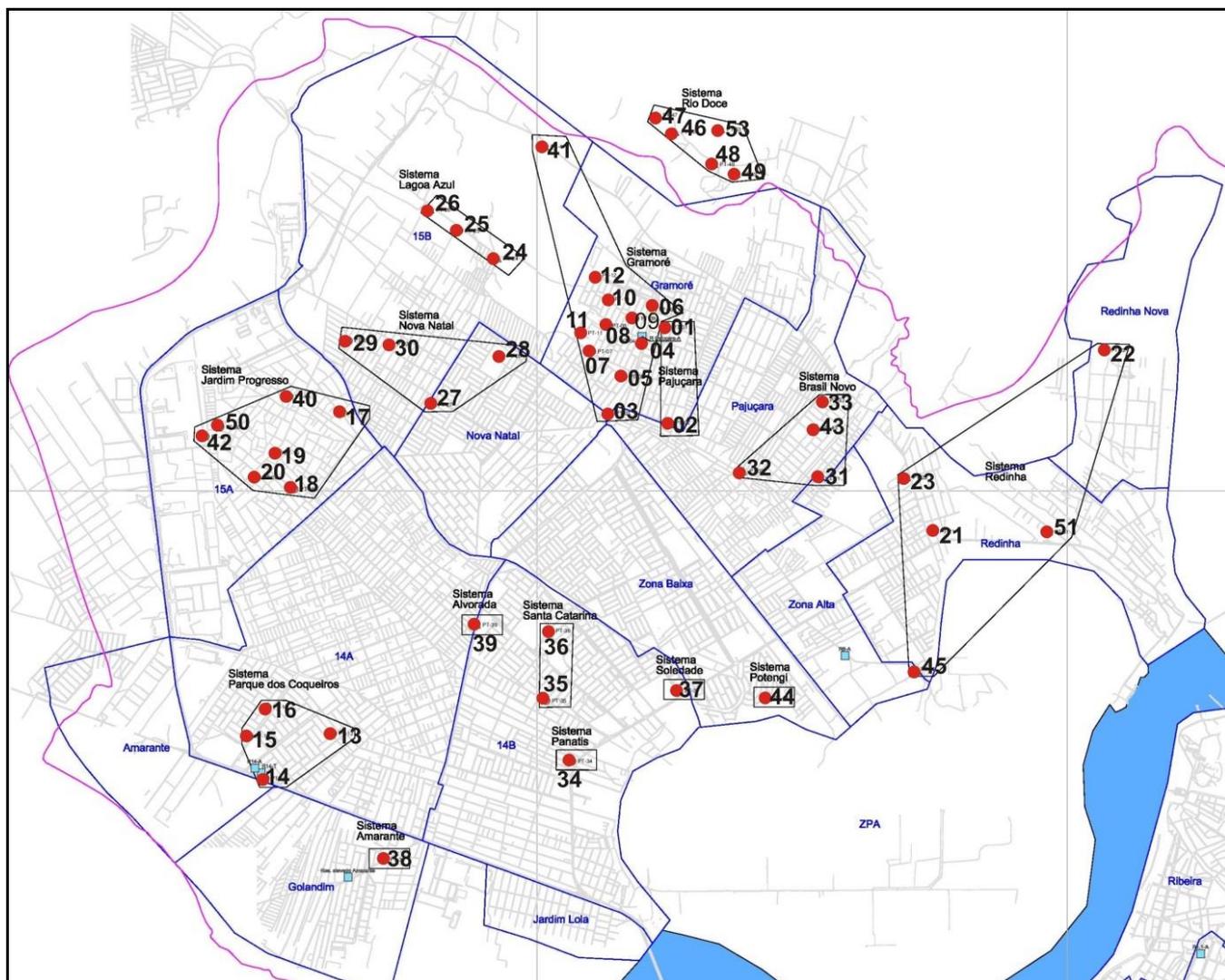


Figura 3.13- Poços da Regional Natal Norte

Fonte: CAERN/ 2011

A exploração de água subterrânea na zona norte de Natal é hoje responsável por cerca de 40% do suprimento de água à região, com volume de água para distribuição de 2092 m³/h (CAERN, 2011).

No sistema de captação subterrânea da Regional Natal Sul (Figura 3.14), tem-se 95 poços ativos, responsáveis por 80,9 % do suprimento da região, com o volume de distribuição de 8868 m³/h,

Assim, para o suprimento de toda a cidade de Natal, tem-se um total de 10.960 m³/h da água subterrânea explotada (CAERN, 2011).

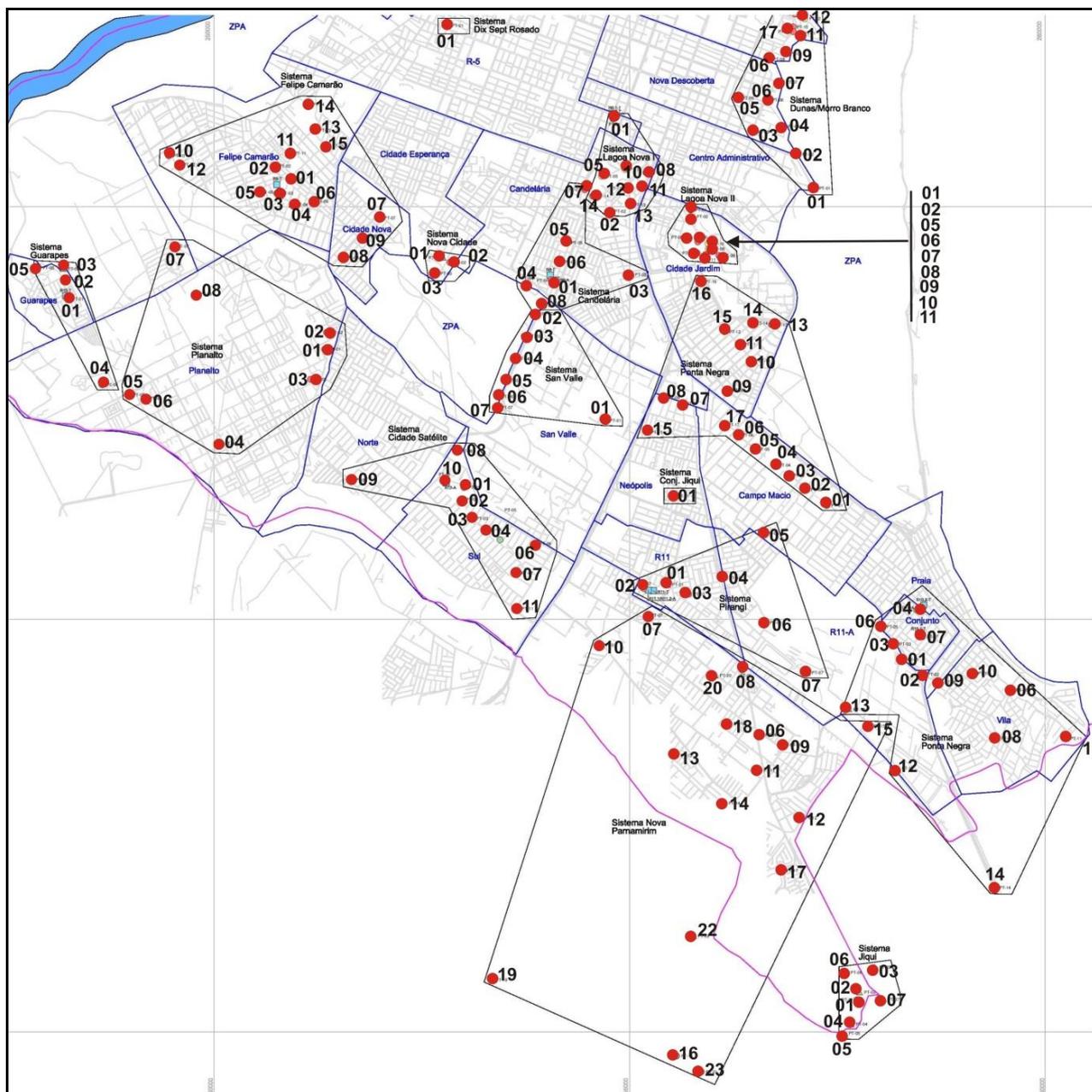


Figura 3.14- Poços da Regional Natal Sul

Fonte: CAERN, 2011

A tabela 3.2 apresenta alguns dados do sistema de poços tubulares em atividade ao abastecimento de Natal-RN com suas respectivas identificações e vazões explotadas. Os poços estão distribuídos nos dois subsistemas da cidade, a Regional Natal Sul (RNS) e a Regional Natal Norte (RNN).

Tabela 3.2 – Sistema de poços tubulares da cidade de Natal-RN

Fonte: CAERN/2011

SISTEMA DE CAPTAÇÃO SUBTERRÂNEA EM ATIVIDADE DE NATAL-RN					
Regional Natal Sul					
CAPTAÇÃO DO JIQUI			CANDELÁRIA/SANVALE		
Poço	Captação	Vazão m ³ /h	Poço	Captação	Vazão m ³ /h
PT1	Jiqui	120	P01B	Candelária	120
CAPTAÇÃO LAGOA NOVA I			P04	Candelária	100
P01A	Lagoa Nova I	150	P05	Candelária	100
P02A	Lagoa Nova I	110	P06	Candelária	100
P05B	Lagoa Nova I	100	P07A	Candelária	120
P08B	Lagoa Nova I	180	P08	Candelária	150
P10A	Lagoa Nova I	90	P01	San Vale	150
P11A	Lagoa Nova I	50	P02A	San Vale	200
P12	Lagoa Nova I	145	P03	San Vale	200
P13	Lagoa Nova I	145	P04	San Vale	150
P14	Lagoa Nova I	140	P05A	San Vale	200
CAPTAÇÃO LAGOA NOVA II			P06	San Vale	200
P01	Lagoa Nova II	90	P07	San Vale	200
P05B	Lagoa Nova II	80	PIRANGI/CJ JIQUI/NOVA PARNAMIRIM		
P06A	Lagoa Nova II	100	P02	Pirangi
P07	Lagoa Nova II	75	P03	Pirangi	90
P08	Lagoa Nova II	63	P04A	Pirangi	120
P09A	Lagoa Nova II	100	P05A	Pirangi	60
P10A	Lagoa Nova II	98	P06	Pirangi	75
P11	Lagoa Nova II	98	P06	N. Parnamirim	-----
NOVO CAMPO/MIRASOL/NEÓPOLIS			P07	N. Parnamirim	80
P01A	Novo Campo	100	P08	N. Parnamirim	110
P02A	Novo Campo	100	P09	N. Parnamirim	100
P03A	Novo Campo	100	P10	N. Parnamirim	40
P04A	Novo Campo	80	P11	N. Parnamirim	35
P08	Novo Campo	50	P12	N. Parnamirim	50
P11A	Novo Campo	20	P13	N. Parnamirim	80
			P14	N. Parnamirim	75
			P15	N. Parnamirim	70

P12B	Novo Campo	80	P16	N. Parnamirim	70
P13	Novo Campo	70	P17	N. Parnamirim	50
P14	Novo Campo	50	P18	N. Parnamirim	80
P15	Novo Campo	135	P19	N. Parnamirim	38
DUNAS/MORRO BRANCO			P22	N. Parnamirim	50
P03	Dunas/M Branco	60	P01	Jiqui	100
P05A	Dunas/M Branco	120	FELIPE CAMARÃO		
P06A	Dunas/M Branco	90	P01	Felipe Camarão	34
P07A	Dunas/M Branco	115	P03B	Felipe Camarão	25
P10A	Dunas/M Branco	150	P05A	Felipe Camarão	20
P12B	Dunas/M Branco	85	P10A	Felipe Camarão	20
P13C	Dunas/M Branco	100	P13B	Felipe Camarão	50
P16	Dunas/M Branco	85	PLANALTO		
P17	Dunas/M Branco	80	P01	Planalto	50
PONTA NEGRA			P02	Planalto	40
Poço	Captação	Vazão m³/h	P03	Planalto	40
P01A	Ponta Negra	110	P04	Planalto	15
P02	Ponta Negra	70	P05	Planalto	60
P03A	Ponta Negra	90	GUARAPES		
P04	Ponta Negra	22	P04	Guarapes	45
P05	Ponta Negra	80	P05	Guarapes	20
P06A	Ponta Negra	60	NOVA CIDADE		
P07	Ponta Negra	60	P02	Nova Cidade	130
P08A	Ponta Negra	35	P03	Nova Cidade	100
P09	Ponta Negra	60	CIDADE SATÉLITE		
P10	Ponta Negra	50	P01	Cidade Satélite	40
CIDADE SATÉLITE			P02	Cidade Satélite	100
P01	Cidade Satélite	40	DIX-SEPT ROSADO		
P02	Cidade Satélite	100	P01	Dix-Sept Rosado	50
P03	Cidade Satélite	87			
P05	Cidade Satélite	60			
P06	Cidade Satélite	110			

P07	Cidade Satélite	100
P08	Cidade Satélite	200
P09	Cidade Satélite	50

Regional Natal Norte					
PAJUÇARA/GRAMORÉ			REDINHA		
Poço	Captação	Vazão m ³ /h			
			21 e 23 -RDN	Redinha	50
01B-PJR	Pajuçara	100	51 e 53 -RDN	Redinha	40
02-PJR	Pajuçara	50			
03B-GRM	Gramoré	40		LAGOA AZUL	
04B-GRM	Gramoré	100	25-LAZ	Lagoa Azul	70
05A-GRM	Gramoré	40			
06A-GRM	Gramoré	80		BRASIL NOVO	
07A-GRM	Gramoré	100	31-BRN	Brasil Novo	50
08-GRM	Gramoré	50	32-BRN	Brasil Novo	35
09-GRM	Gramoré	50	33-BRN	Brasil Novo	15
10-GRM	Gramoré	70			
11A-GRM	Gramoré	100		PANATIS	
12-GRM	Gramoré	40	34-PNT	Panatis	30
42-GRM	Gramoré	40			
				SANTA CATARINA/SOLEDADA	
	NOSSA SENHORA DA APRESENTAÇÃO		35-SCA	Santa Catarina	30
17- N.S.A	N.S.A	40	36-SCA	Santa Catarina	30
18- N.S.A	N.S.A	50	37-SCA	Soledade	40
19- N.S.A	N.S.A	-			
20- N.S.A	N.S.A	-		AMARANTE	
39- N.S.A	N.S.A	50	38-AMR	Amarante	42
40- N.S.A	N.S.A	-			
42- N.S.A	N.S.A	-		POTENGI	
			44-POT	POTENGI	40

3.2.2- Captação Superficial da Regional Natal Norte

O abastecimento pelo manancial superficial – Lagoa de Extremoz – retira cerca de 60% da água utilizada no suprimento da região (**CAERN**, 2013)

A Estação Elevatória de Água Bruta compõe-se de três conjuntos moto bombas que operam 24 horas por dia, sendo dois conjuntos em operação e um de reserva.

A água captada é aduzida até a Calha Parshall da ETA, por uma tubulação de Ferro Fundido com 800 mm de diâmetro e extensão aproximada de 770 m, mostrado na Figura 3.15.



Figura 3.15 - Ponto de Captação da Lagoa de Extremoz

Segundo os dados fornecidos pela Estação de Tratamento de Extremoz, são captados entre 550 l/s e 600 l/s. Dependendo das condições de bombeamento e qualidade da água bruta, pode-se aduzir até 700 l/s, conforme as necessidades operacionais.

Os novos Transmissores de Pressão e Vazão instalados na ETA garantem melhor precisão nos dados de coleta. Na Figura 3.16 observou-se uma vazão de 2.313 m³/h, equivalente a 642 l/s. Já na Figura 3.17, continua instalado o antigo

medidor da estação, não com tanta precisão, mostrando uma leitura de vazão de aproximadamente 670 l/s.



Figura 3.16- Transmissor de Pressão e Vazão da Água Bruta de Extremoz



Figura 3.17- Antigo medidor de vazão da Água Bruta de Extremoz

3.2.3- Caracterização da Elevatória da ETA de Extremoz

Como dados para o estudo, foi levado em consideração a estação elevatória existente na ETA, abrigando 4 conjuntos de moto bombas, estando assim distribuídos: Elevatória para reservatório R8: 1 conjunto; Elevatória para o reservatório R14: 2 conjuntos; Elevatória para reservatório R15: 1 conjunto.

As vazões de recalque para os três sistemas de reservação e, posteriormente, distribuição podem ser observadas nos Transmissores de Vazão de água tratada da estação (Figura 3.18).

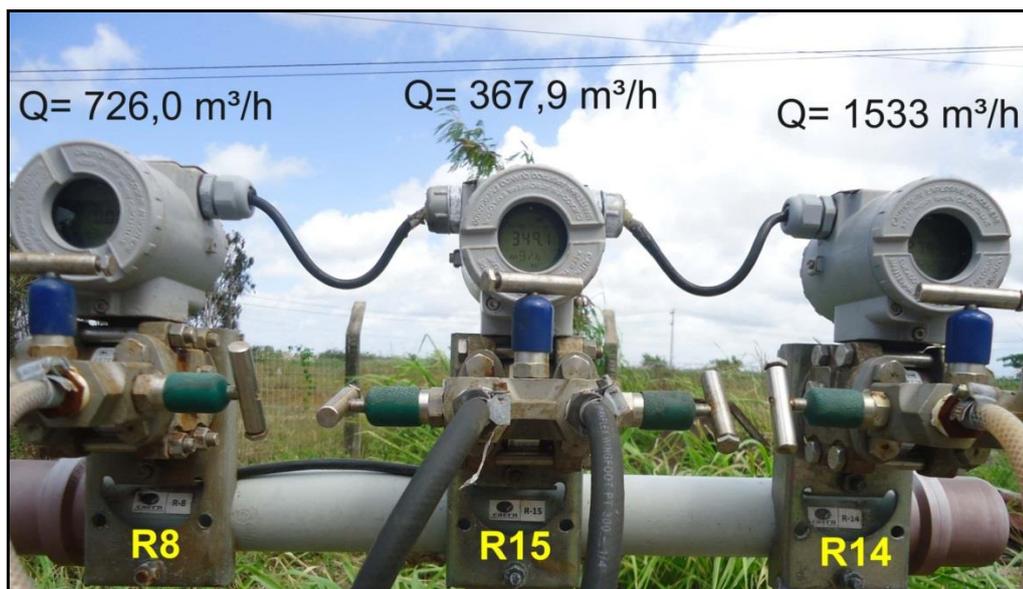


Figura 3.18- Transmissores de Vazão da elevatória de Água Tratada/Extremos

R8 – A Figura 3.19 mostra o centro de reservação R8, localizado na Rua Construtor Severino Bezerra – Potengi/Natal-RN, com capacidade de 4500 m^3 . Abastece por gravidade uma extensa área que inclui os bairros do Potengi, Redinha, Nova República e Santarém.

R14 – Situado na Rua dos Jangadeiros, junto a BR 101/Natal-RN, no conjunto residencial Parque dos Coqueiros, (Figura 3.20). Este centro de reservação é constituído por um reservatório apoiado com capacidade nominal de 6.700 m^3 e um elevado com capacidade para 1000 m^3 . Do reservatório R14 partem linhas adutoras e redes que abastecem os bairros do Parque dos Coqueiros, Igapó, Jardim Lola, Amarante, Golandim, Olho d'água do Carrilho e Nossa Senhora da Apresentação, Panatis, Santa Catarina. Trata-se de um sistema de alta capacidade volumétrica na Regional Natal Norte.



Figura 3.19- Centro de Reservação R8 - RNN

Fonte: Google Earth. 2014

Segundo dados do setor de cadastro da Regional Natal Norte, é crescente o número de ligações novas dependentes desse reservatório, sendo necessárias constantes observações e correções nos níveis de pressão e vazão da adutora que o alimenta (**CAERN**, 2014).

R15 – não possui centro de reservação e abrangem os bairros de Lagoa Azul, Nova Natal (Boa Esperança e Nortelândia), e parte de Nossa Senhora da Apresentação (Vila Paraíso, Jardim Progresso e Vale Dourado). O trecho abastecido por esta rede pode ser visto o mapa de setorização (Figura 3.22).

Z16 – Situado na Rua Piratininga - conjunto Gramoré. Trata-se de um reservatório apoiado de forma trapezoidal com capacidade de 1200 m³ (Figura 3.21). Não recebe alimentação do manancial de Extremoz e sim através de 5 poços, cuja vazão é estimada em 620 m³/h. A Zona 16 atende aos bairros Gramoré, Eldorado, Pajuçara e Brasil Novo. Esses bairros recebem um reforço de carga hidráulica diretamente na rede através de 5 poços, mantendo satisfatória as condições hidráulicas necessárias para o atendimento das demandas.



Figura 3.20 – Centro de Reservação R14 – RNN

Fonte: Adaptado da CAERN 2013



Figura 3.21- Centro de Reservação Zona 16 – RNN

Através dos reservatórios alimentados pela Estação de Tratamento da Zona Norte de Natal ou RNN (Figura 3.22) a setorização das zonas de Abastecimento garante 60% da demanda hídrica da região, com suas respectivas áreas de influência.

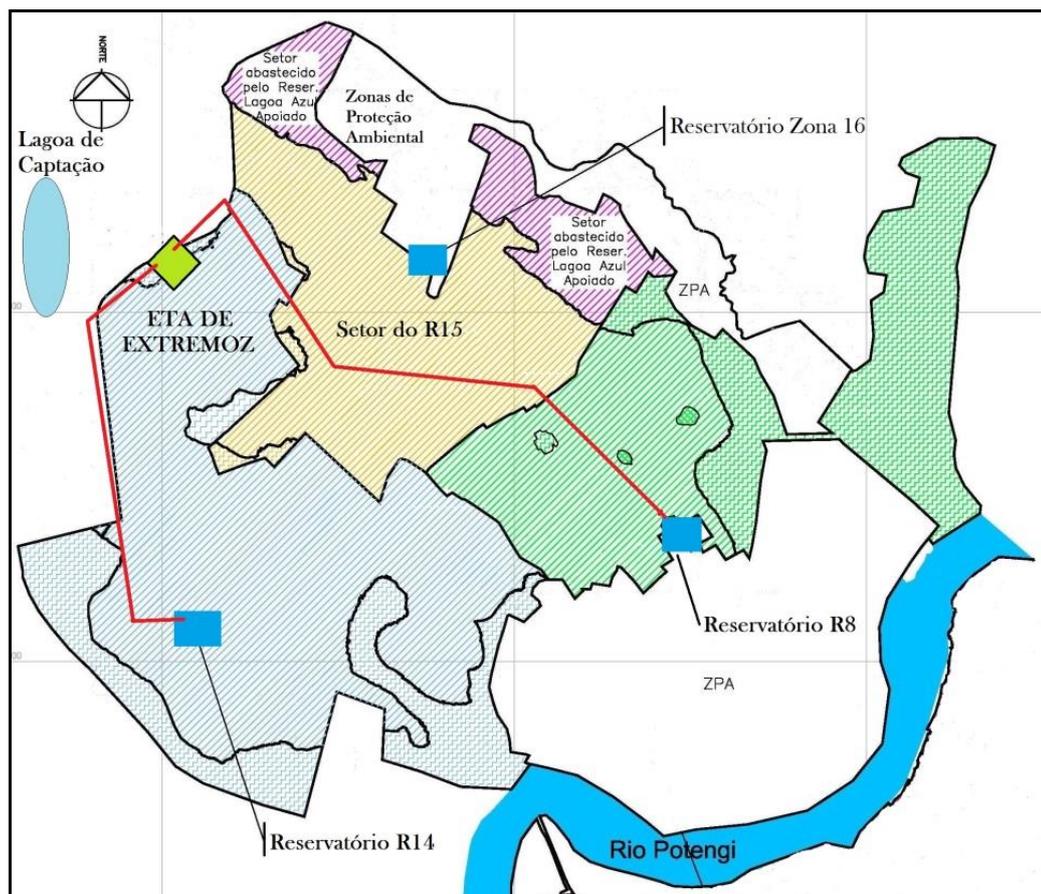


Figura 3.22- Setorização do abastecimento da Zona Norte de Natal

Fonte: CAERN, 2013

3.2.4- Captação Superficial da Regional Natal Sul

Esta região é abastecida tanto por um manancial superficial, Lagoa do Jiqui, como pelo aquífero Dunas/Barreiras, através de poços tubulares profundos, diferindo, entretanto, pela proporção da utilização destes mananciais, onde o aquífero responde por cerca de 80% do total captado, comparado com os 40% da Região Norte (CAERN, 2013).

A captação é feita na margem esquerda da Lagoa, por tomada direta, através de 2 GMB (grupos moto-bombas) de eixo vertical e um de reserva (Figura 3.23), trabalhando 24h por dia. Recalam para a ETA em uma adutora de água bruta com diâmetro de 700 mm e 200 m de extensão em ferro fundido.



Figura 3.23- Bombas do baixo recalque da ETA/Jiqui

A capacidade atual do sistema produtor de água desta área pode chegar a 8.000 m³/h segundo os técnicos que operam na estação de tratamento, pois há uma parcela de poços que também alimentam as estações elevatórias para posterior distribuição na rede geral.

Para efeito do estudo será considerada a vazão usual de água bruta da captação da estação, medida pelo Transmissor de Vazão que equivale a 730 l/s (Figura 3.24).



Figura 3.24- Transmissor de vazão da água bruta/Jiqui

3.2.5- Caracterização das Elevatórias da ETA do Jiqui

A ETA abriga duas estações elevatórias destinadas à distribuição de Natal. A EEAT1 e EEAT2 estão abrigadas em prédios separados, mas interligadas, permitindo a operação em conjunto ou separadamente. Somente dois conjuntos podem operar simultaneamente na adução, devido às limitações potenciais e energéticas da subestação. É feita a opção de operar os dois conjuntos de uma mesma elevatória ou alternar um de cada.

- EEAT1 – 2 GMB
- EEAT2 – 2 GMB

As Estações Elevatórias, como mencionado, também recebem alimentação de aproximadamente 650 m³/h, proveniente dos cinco poços próximos da ETA, P1 a P5.

A partir das elevatórias da ETA a água é aduzida para os principais centros de reservação da cidade conforme necessidade de consumo. As vazões das adutoras em operação, Adutora1 e Adutora3, foram medidas em campo, conforme ilustrado na Figura 3.25.

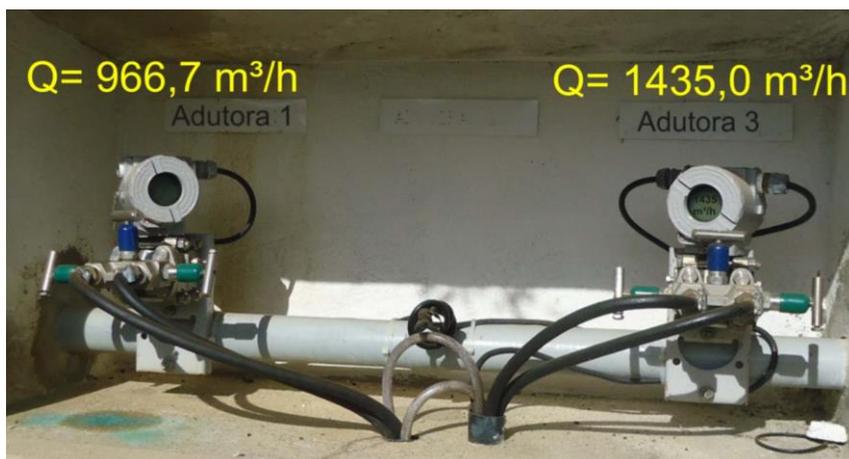


Figura 3.25- Transmissores de vazão das Adutoras de Água Tratada/Jiqui

R3 – Este reservatório está localizado na Av. Hermes da Fonseca – Tirol, onde fica a sede central da CAERN. Considerado o principal centro de armazenamento de água da RNS. Constitui-se de três reservatórios apoiados e interligados (Figura 3.26). Para efeito da avaliação, será considerado um único reservatório de volume 9000 m³ que também é alimentado por nove poços tubulares, cuja vazão total estima-se em 885 m³/h proveniente da Captação Dunas. Os reservatórios abastecem os bairros do Alecrim, Bairro Vermelho, Tirol, Petrópolis e Lagoa Seca.



Figura 3.26– Centro de Reservação R3 – RNS
Fonte: CAERN/ 2011)

R6 - Situado na Avenida Prudente de Moraes - Candelária, é constituído por dois reservatórios: um apoiado, com capacidade de 5.000 m³ e o elevado, cilíndrico com 600 m³. Também para efeito de cálculo será configurado como um único reservatório de capacidade 5600 m³. Abastecem os bairros de Candelária, Cidade da Esperança, Lagoa Nova, Felipe Camarão, Cidade Nova e Neópolis. Trata-se de um macro sistema de distribuição de água (Figura 3.27).



Figura 3.27 – Centro de Reservação R6 - RNS

Fonte: Google Earth

R11 – Localizado no conjunto Neópolis, o Reservatório R11 (Figura 3.28) é do tipo elevado com capacidade de 200 m³, abastece os bairros de Neópolis, Capim Macio e Ponta Negra.

Sistema Lagoa Nova II - Este sistema está localizado na sede da Regional Natal Sul da CAERN (Figura 3.29). É alimentado também por oito poços que recalcam para o reservatório de reunião. A capacidade do conjunto de poços está estimada em 610 m³/h.



Figura 3.28 – Centro de Reservação R11 – RNS

Fonte: Google Earth 2014

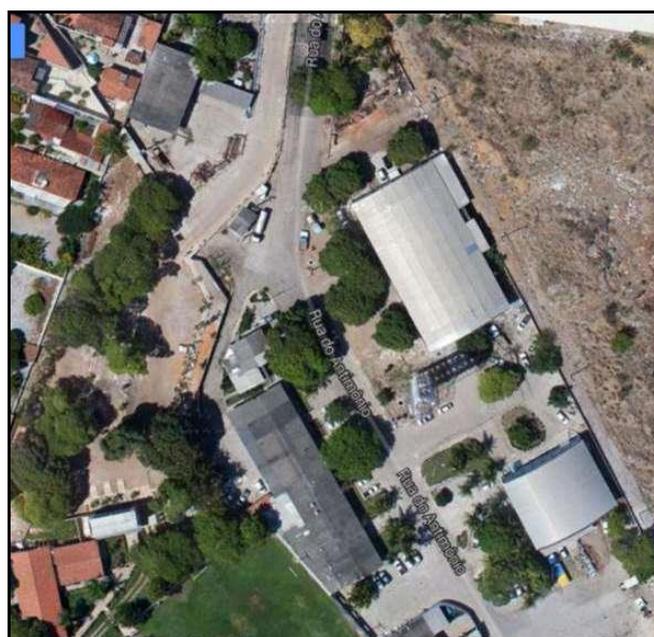


Figura 3.29 – Sistema de Reservação Lagoa Nova II - RNS

Fonte: Google Earth 2014

A setorização das zonas de Abastecimento definidas para a Zona Sul de Natal (Figura 3.30) conta com vários outros reservatórios que são alimentados por poços tubulares. As vazões desses poços foram avaliadas no balanço hídrico da cidade, enquanto as vazões das adutoras foram simuladas pelo programa EPANET, por cada regional, totalizando o volume produzido na área estudada.

A Região Metropolitana de Natal contém uma população de aproximadamente 818.000 pessoas, de acordo com estimativas do IBGE, referente a julho de 2012. A Figura 3.31 apresenta o número de habitantes por setores geográficos na cidade.

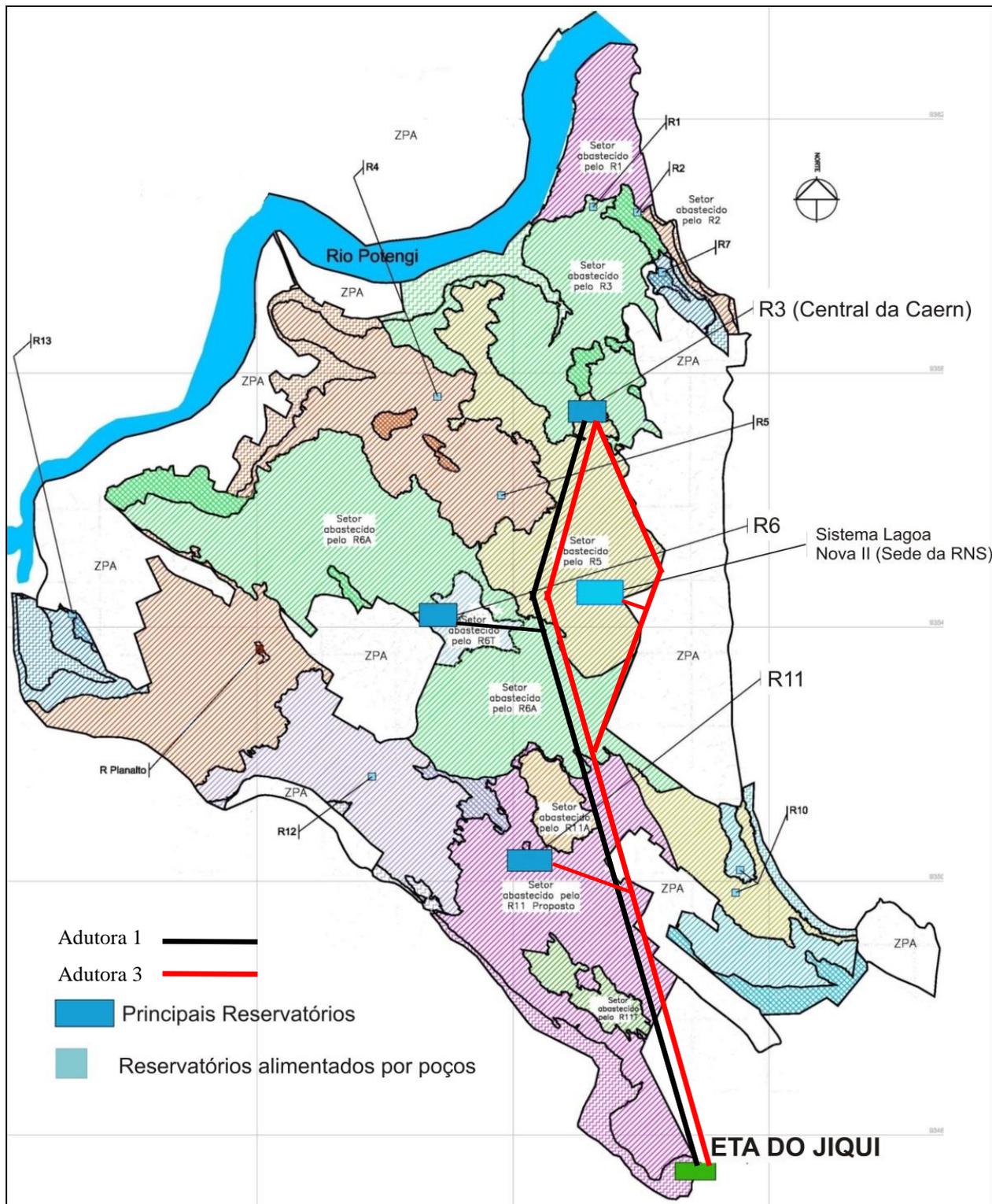


Figura 3.30– Setorização do abastecimento da Zona Sul de Natal

Fonte: Adaptado da CAERN/2013

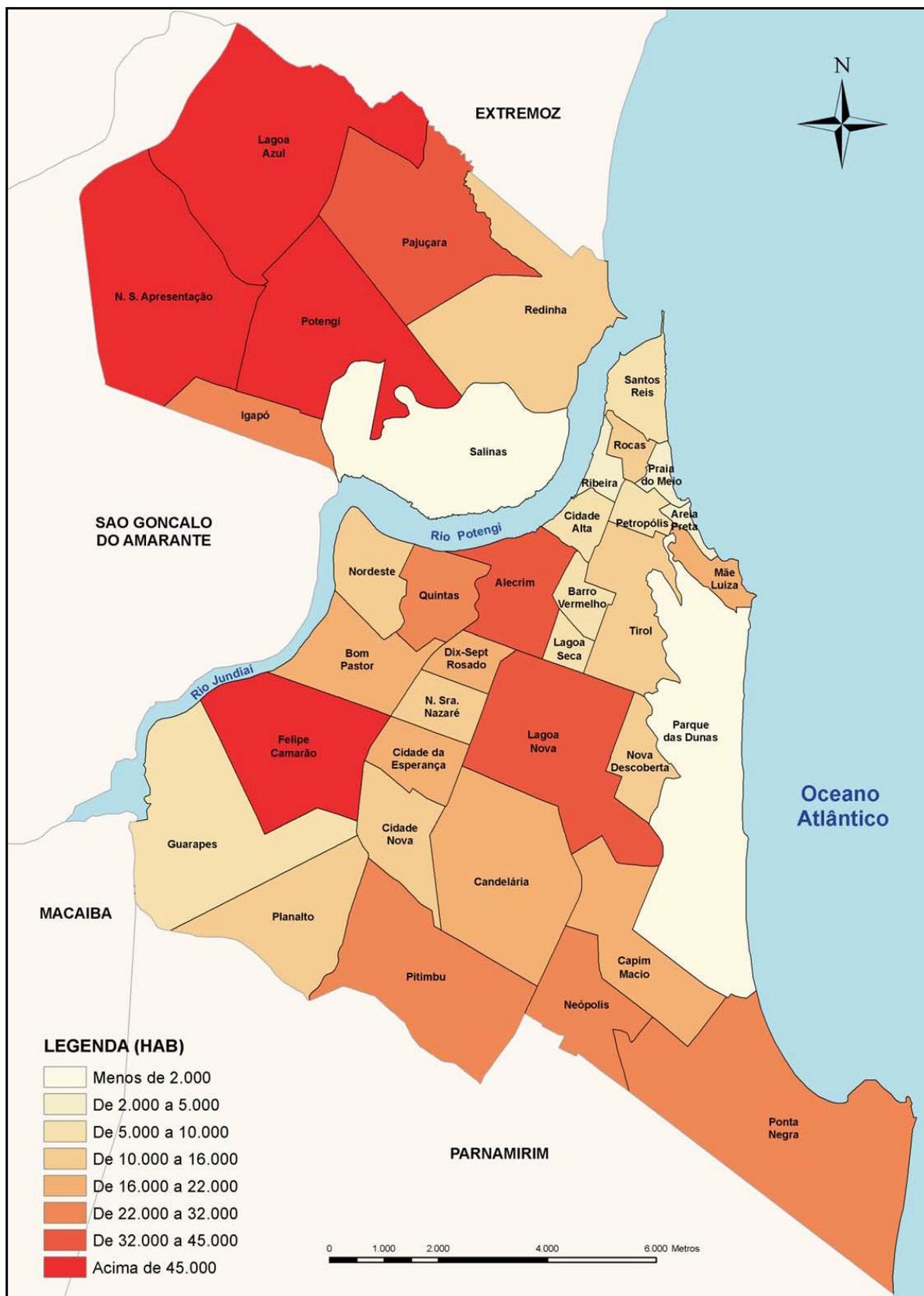


Figura 3.31- População residente por área Geográfica de Natal-RN
Fonte: SEMURB/2014

A Tabela 3.3 apresenta uma estimativa da população residente em Natal-RN dentro da classificação dos bairros das Regionais Norte e Sul.

R.A *	BAIRRO	ÁREA (Ha)	POPULAÇÃO RESIDENTE (ESTIMADA) 2012	DENSIDADE DEMOGRÁFICA 2012 Hab/ha
NORTE	Lagoa Azul	1.167,46	62.644	53,66
	Igapó	220,16	29.108	132,21
	N. S. Apresentação	1.024,79	83.731	81,71
	Pajuçara	766,13	60.910	79,50
	Potengi	799,87	58.080	72,61
	Redinha	878,87	17.458	19,86
	Salinas	1.031,22	1.236	1,20
SUBTOTAL		5.888,50	313.166	53,18
SUL	Lagoa Nova	767,14	37.894	49,36
	Nova Descoberta	158,82	12.441	78,33
	Candelária	761,43	22.886	30,06
	Capim Macio	433,36	22.988	53,05
	Pitimbu	744,59	24.451	32,84
	Neópolis	322,14	22.555	70,02
	Ponta Negra	1.382,03	24.780	17,03
SUBTOTAL		4.570,11	167.995	36,76
LESTE	Santos Reis	222,09	5.489	24,71
	Rocas	66,01	10.430	158,00
	Ribeira	94,39	2.231	23,63
	Praia do Meio	48,02	4.875	99,66
	Cidade Alta	116,41	7.194	61,80
	Petrópolis	78,43	5.576	71,10
	Areia Preta	32,17	4.071	126,35
	Mãe Luiza	95,69	14.828	154,96
	Alecrim	344,73	28.238	81,91
	Bairro Vermelho	94,79	10.310	108,77
	Tirol	300,04	16.310	45,30
	Lagoa Seca	61,09	5.635	92,23
SUBTOTAL		1.614,76	115.187	71,33
OESTE	Quintas	246,54	26.929	108,35
	Nordeste	298,44	11.567	38,76
	Dix-Sept Rosado	109,64	15.656	142,79
	Bom Pastor	346,09	18.297	52,87
	N. Sra. de Nazaré	144,01	16.201	112,50
	Felipe Camarão	654,40	52.125	79,65
	Cidade da Esperança	182,87	19.187	104,92
	Cidade Nova	262,12	18.041	68,83
	Guarapes	865,95	10.477	12,10
	Planalto	463,83	32.760	70,63
SUBTOTAL		3.575,89	221.239	61,87
TOTAL		16.853,24	817.590	48,51

Tabela 3.3- Área, População Residente e Densidade Demográfica de Natal

* Razão Administrativa

Fonte: Anuário Natal 2013

3.2.6- Vazões de Alimentação aos Principais Reservatórios

O EPANET tem um ambiente gráfico adaptado à edição de dados para a simulação completa dos sistemas de abastecimento. Porém, a modelagem do trabalho exposto está limitada às grandes adutoras, sem a adição de vazões de poços tubulares ao seu volume final. A finalidade do uso do EPANET é a de avaliar cenário de adução das adutoras das lagoas de captação de Extremos e Jiqui obtidos pelo modelo do EPANET e comparar com os dados disponíveis das vazões pela Concessionária.

Conhecido o volume total produzido (captações superficiais e subterrâneas) e consumido na cidade, a simulação pelo EPANET auxilia na elaboração de alternativas para o aproveitamento ideal dos recursos disponíveis.

A Tabela 3.3 reúne as especificações das adutoras com seus respectivos comprimentos, diâmetros, tipo de material, origem da captação e áreas de abastecimento, além de mostrar a vazão operacional das adutoras.

A Tabela 3.4 apresenta a planilha das vazões e distribuição das adutoras da Capital. São apresentados os volumes produzido nas Estações de Tratamento das Regionais Norte e Sul da Capital, especificando a vazão captada no baixo recalque (direto do manancial) e vazão de contribuição dos poços da Região Metropolitana para a ETA antes da distribuição, resultando em um volume total para a RNN e RNS. Em seguida, a tabela mostra o volume aduzido às adutoras (ETA-Reservatório), além dos adicionais volumétricos dos poços diretamente na rede de distribuição por cada regional, finalizando na exposição da demanda total de água da cidade. Estes dados alimentaram o programa na simulação proposta.

As adutoras 1 e 3, denominadas AD1 e AD3, trabalham desde a Estação do Jiqui até o reservatório R3 (destino final) em paralelo, como mostra a figura 3.32. Uma derivação da AD3 circula a UFRN para suprir o reservatório de Lagoa Nova II.

A Tabela 3.5 elaborado pela CAERN mostra as especificações das adutoras com seus respectivos dados que alimentaram o programa EPANET. Dados das cotas, níveis máximos e mínimos e população atendida por cada linha de adutora,

foram suficientes para análise do desempenho do sistema de abastecimento da cidade.

Tabela 3.4– Características das Adutoras de Natal-RN

ADUTORAS DO MACRO SISTEMA ABASTECIMENTO DO MUNICÍPIO DO NATAL-RN						
DENOMINAÇÃO	COMPRIMENTO (m)	DN (mm)	MATERIAL	ORIGEM DO ABASTECIMENTO	DESTINO DO ABASTECIMENTO	VAZÃO OPERACIONAL (m³/h)
Extremoz/R15	2500	400	FºFº	Lagoa de Extremoz	N. S Apresentação	367
Extremoz/R8 - Nova	8080	500	FºFº	Lagoa de Extremoz	R-8	726
Extremoz - Zona 14	5400	500	FºFº	Lagoa de Extremoz	Zona-14	1533
Jiqui-01	13000	500	FºFº	Jiqui	R3/R6	966,7
Jiqui-03/secção-01	6090	700	FºFº	Jiqui	R11/R3/Lagoa Nova II	1935
Jiqui-03/secção-02	4400	600	FºFº	Jiqui	R11/R3/Lagoa Nova II	
Jiqui-03/secção-03	3321	500	FºFº	Jiqui	R11/R3/Lagoa Nova II	

Tabela 3.5- Planilha das vazões e distribuição das Adutoras de Natal

Unidade	Vazão Produzida na ETA (m³/h)			Vazão de Adução ETA-Reservatório		Poços		Vazão Total	
	Baixo Recalque	Reforço de poços	Total			Para Reservatórios	Injeção na Rede		
RNN	2313	0	2313	Zona 16	0,0	Zona 16	620	867	1487
				R8	726,0	R8	0		
				R15	367,9	R15	0		
				R14	1.533,0	R14	0		
RNS	1700	650	2350	AD1-R6	676,7	R6	0	6373	7049,7
				AD1-R3 e AD3-R3	672,2	R3	885		
				AD3-R11	445,7	R11	0		
				AD3-Lagoa Nova II	287,0	Lagoa Nova II	610		

Tabela 3.6 - Detalhamento dos dados funcionais dos reservatórios estudados

Setor	Reservatório	Cota (m)	Nível Mín. (m)	Nível Máx. (m)	População (hab)
RNN	R8	73	72,5	76,0	85.561
	R14	56	55,0	59,0	158.049
	R15	44	43,0	48,0	10.198
RNS	R3	56	53,5	56,5	66.069
	R6	72	73,0	76,5	140.996
	R11	57	78,0	82,0	11.082
	Lagoa Nova II	50	47,5	50,5	54.683

As principais adutoras da grande Natal-RN (Figura 3.32) podem ser identificadas no mapa, onde são apresentados os principais reservatórios de distribuição de água da Cidade do Natal.

De posse das especificações do sistema de abastecimento de água das duas Regionais que compõe a área de estudo, trabalhando 24h por dia em regime permanente, passou-se a introdução dos caudais aduzidos das Estações de Tratamento, das cotas piezométricas e volumes dos principais reservatórios, dos diâmetros nominais e extensões das adutoras.

A Figura 3.32 traz o layout do sistema de distribuição das adutoras da RNS, mediante a complexidade de visualização, citando os comprimentos e diâmetros entre cada nó com as derivações aos principais reservatórios da cidade.

A Figura 3.33 apresenta o diagrama dos trechos simulados na Grande Natal (RNS).

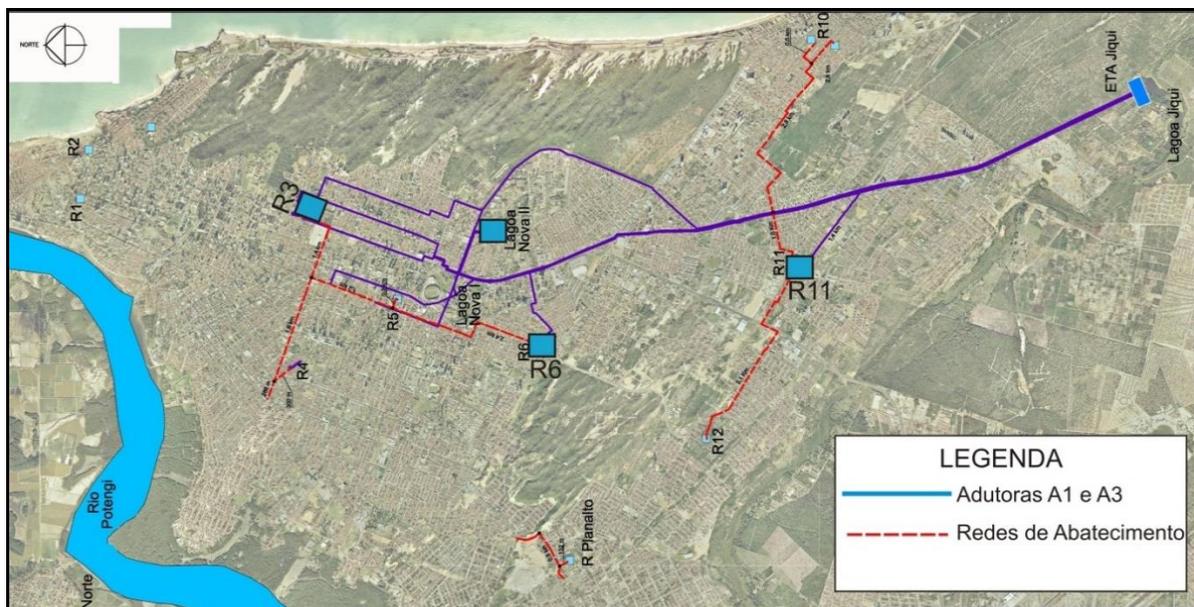


Figura 3.32- Mapa de adutoras da Grande Natal

Fonte: Adaptado de CAERN/2011

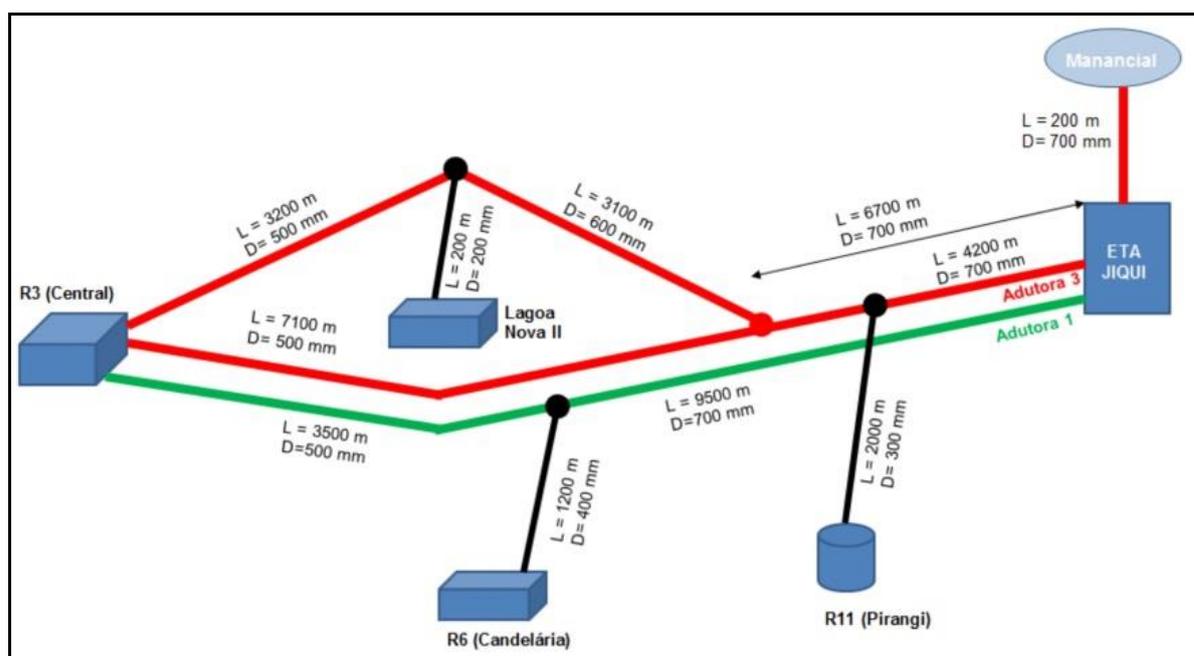


Figura 3.33- Layout do Sistema de Distribuição das adutoras da RNS

4. ANÁLISE E RESULTADOS

A avaliação do Macro Sistema de Distribuição de Água de Natal inclui as captações, adução de distribuição de águas superficiais e subterrâneas, o balanço hídrico entre oferta e demanda e a qualidade das águas frente à presença de nitrato nas águas subterrâneas. Foram utilizados dados quantitativos do sistema de distribuição, de oferta e de demanda, de quantitativos de nitrato das águas dos poços explorados pela CAERN e também da utilização do modelo EPANET para avaliação das aduções principais do sistema de macro distribuição.

4.1. *Comportamento do sistema de distribuição superficial por simulação*

As adutoras do sistema de distribuição da cidade de Natal-RN são classificadas, de acordo com a energia de movimentação da água, de adutoras por recalque.

Tanto as elevatórias do Jiqui quanto a de Extremoz operam em regime contínuo a fim de manter a vazão em função da demanda requerida e manter os valores apropriados das pressões na rede e dos níveis de água nos principais reservatórios.

Definido o esquema geral do sistema de abastecimento de água, com a posição das diversas unidades em planta, foi feito o traçado das adutoras do Jiqui e Extremos, os principais dados hidráulicos foram levantados e, em seguida, simulado seu funcionamento através do aplicativo EPANET.

O diagrama configurado para as grandes adutoras que compõe a Regional Natal Sul (RNS) está representado na Figura 4.1.

Como resultados, mediante aos dados fornecidos das Tabelas 3.3 e 3.5 e utilização do EPANET, as Figuras 4.2 e 4.3 fornecem os perfis da carga hidráulica das adutoras AD1 e AD3. Os valores da carga hidráulica são mostrados pelas cores, observando-se variações entre 25 e 100 metros de coluna de água (mca).

Os reservatórios estão situados entre as faixas 50 e 75 mca, o que mostra uma vazão a jusante de adução suficiente para abastecer cotas elevadas na área dependente.

O R6 mostrou boa capacidade de Carga Hidráulica, apresentando uma variação entre 75 e 100 mca, valor no qual a área abastecida necessita, devido a maior parte da demanda de água da cidade.

O reservatório de Lagoa Nova II atua com carga hidráulica entre 25 e 50 mca. Trata-se de uma rede de 250 mm que o alimenta, além dos reforços de poços tubulares. Estima-se, segundo a Figura 3.31, que a população atendida por este reservatório seja de 35.000 habitantes.

As vazões em L/s representada pelas cores vermelha, verde e amarela, estão acima dos 100 L/s (ver legenda), em quase todos os trechos das adutoras, com exceção do trecho do R11 que apresenta vazão entre 50-75 (cor verde).

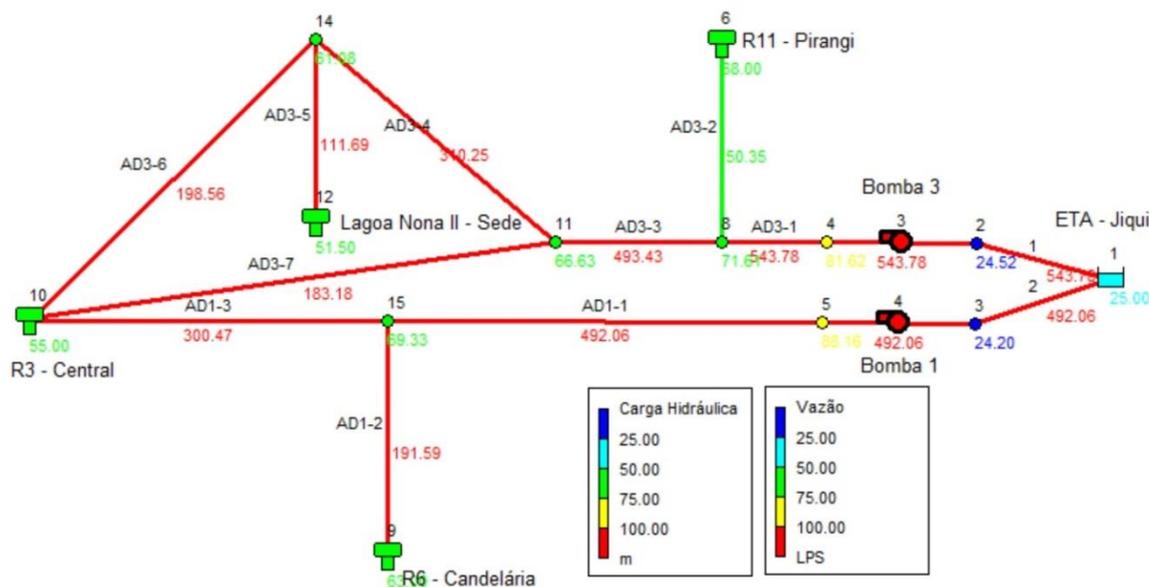


Figura 4.1- Funcionamento hidráulico das adutoras da RNS

O comportamento da Carga Hidráulica da AD1 foi avaliado em dois pontos separados: após a saída da Estação Elevatória (ponto 5) e na derivação ao R6 (ponto 15). Nos dois pontos, evidenciam-se pressões suficientes para toda linha de adução.

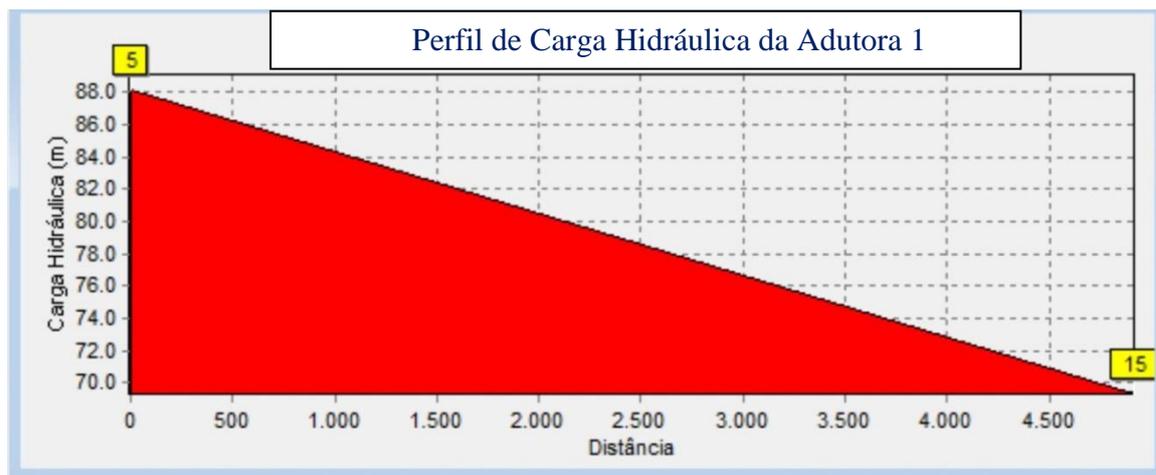


Figura 4.2- Perfil de Carga Hidráulica da adutora 1/RNS

Já na AD3, os nós apresentados estão distribuídos das seguintes maneiras: nó 4 a montante da distribuição (Estação Elevatória), nó 8 na derivação ao R11, nó 11 na bifurcação da adutora (ver Figura 3.32) e nó 14 na derivação ao abastecimento de Lagoa Nova II.

Em cada uma das fases do sistema de abastecimento, captação de água bruta, tratamento, adução e reservação, há condições específicas que fazem preponderar um ou outro tipo de variação na carga distribuída, como apresentado nas duas plotagens do programa. Essas variações decorrem de vazamentos e consumo.

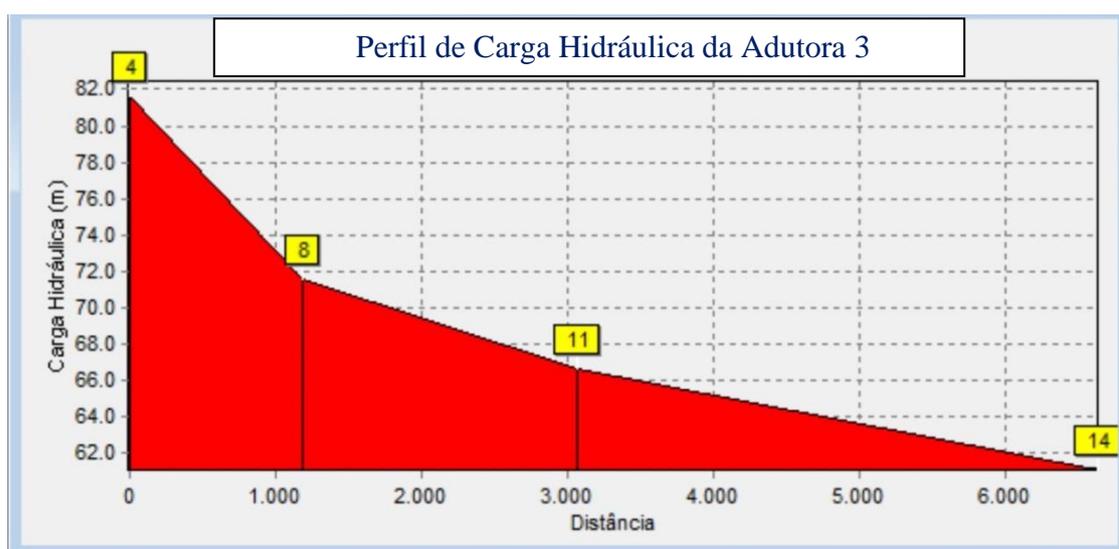


Figura 4.3- Perfil de Carga Hidráulica da adutora 3/RNS

A Tabela 4.1 fornece os resultados das vazões, velocidades e perdas de cargas nos trechos das AD1 e AD3.

A vazão de adução é estabelecida em função da população a ser abastecida, da quota per capita, do coeficiente relativo ao dia de maior consumo e do número de horas de funcionamento, que para efeito da simulação foi considerado 24h por dia. O comprimento do trecho e a diferença entre os níveis de água são quase sempre dados físicos previamente fixados.

Quanto aos limites de velocidades máxima e mínima admissíveis nas tubulações sob pressão em redes de distribuição de água, segundo a norma NBR12218 (1994), a velocidade máxima nas tubulações deve ser inferior a 3,5 m/s, e a mínima superior a 0,6 m/s.

Todos os trechos estão dentro da faixa de velocidade permitida. A variação brusca da perda de carga no trecho do Reservatório de Lagoa Nova se deve a tomada de água em uma adutora de 600 mm para uma rede de 250 mm, como mostra através do Ábaco de Hazem-Williams (Figura 4.4).

Como nos sistemas de recalque a pressão na sucção é inferior à atmosférica, valores negativos foram observados tanto no bombeamento do Jiqui quanto de Extremoz (Ver Tabela 4.1).

O macro sistema de distribuição da Regional Natal Norte (RNN) foi simulado na representação apresentada pelo diagrama da Figura 4.5. Trata-se de uma área menos complexa que a anterior, mostrando bom comportamento hidráulico.

O diagrama configura-se por três zonas de abastecimento formulado através dos valores das Tabelas 3.4 e 3.5 na tabulação da modelagem. Os reservatórios R14 e R8 foram cotados em níveis constantes. O trecho de adutora AD-R15, que representa a distribuição a um setor no plano de cota, possui baixa carga hidráulica por se manter em baixa pressão e vazão.

Por manter-se entre as faixas 50 a 75 mca a carga hidráulica nos reservatórios R8 e R14 mostram condições adequadas para a distribuição de água nas áreas requeridas. O R15 também confere vazão adequada para o setor, devido ao reforço de poços tubulares ao suprimento da região.

Tabela 4.1 – Planilha de resultados da simulação nos trechos-RNS

Identificador do Trecho	Vazão LPS	Velocidade m/s	Perda de Carga m/km
Tubulação 1	543.78	1.41	2.39
Tubulação 2	492.06	0.98	1.03
Tubulação AD3-1	543.78	1.41	2.39
Tubulação AD3-3	493.43	1.28	1.99
Tubulação AD3-2	50.35	0.71	1.80
Tubulação AD3-4	310.25	1.10	1.79
Tubulação AD3-6	198.56	1.01	1.90
Tubulação AD3-5	111.69	2.28	19.17
Tubulação AD3-7	183.18	0.93	1.64
Tubulação AD1-1	492.06	1.28	1.98
Tubulação AD1-3	300.47	1.53	4.09
Tubulação AD1-2	191.59	1.52	5.28
Bomba 3	543.78	0.00	-57.10
Bomba 4	492.06	0.00	-63.96

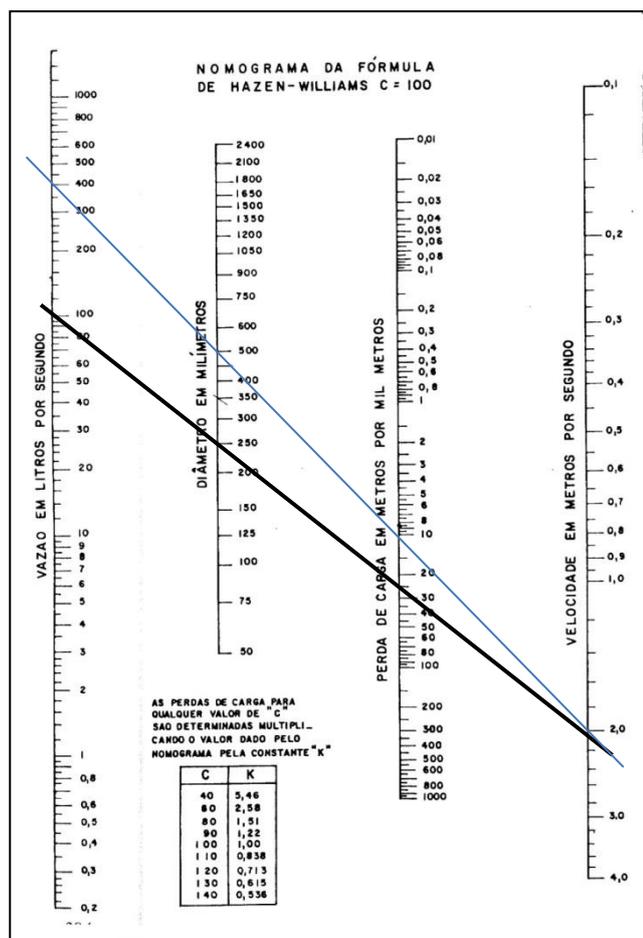


Figura 4.4– Nomograma da fórmula de Hazen-Williams C = 100

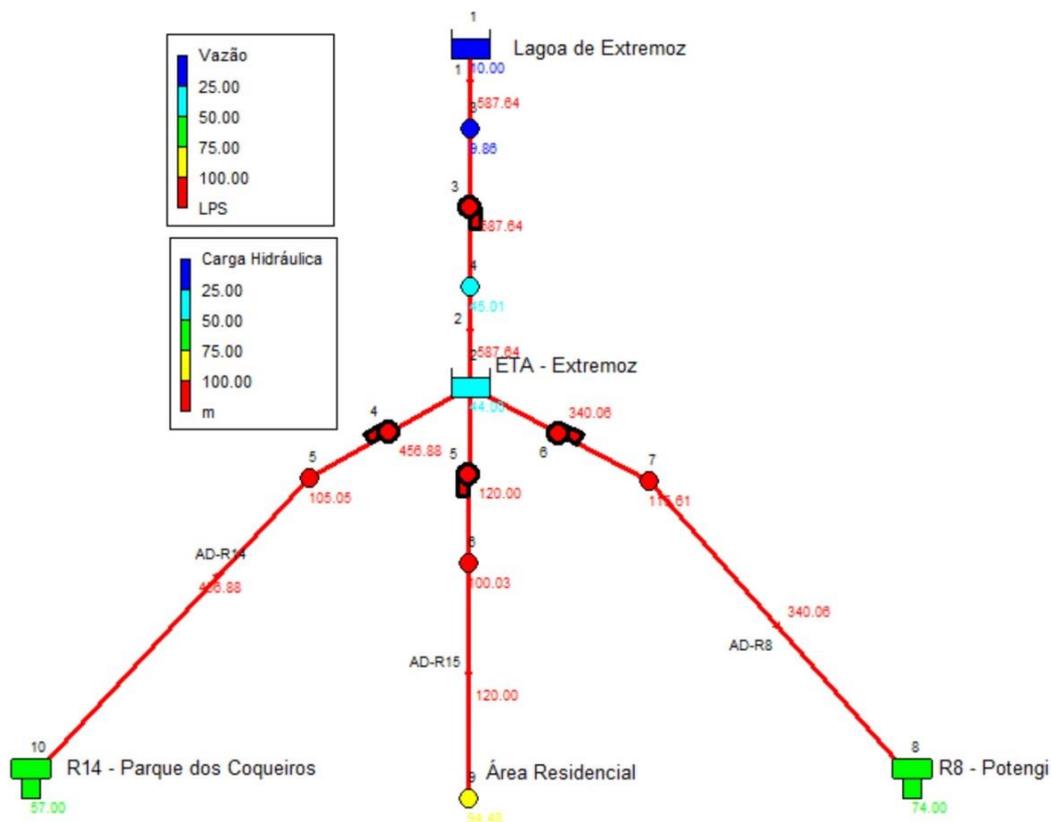


Figura 4.5- Representação das adutoras da RNN

Nos nós 5, 6 e 7 tem-se as cargas hidráulicas a montante da distribuição (Estação Elevatória) do R14, R15 e R8, respectivamente. Demonstram a capacidade de fornecimento de vazões adequadas.

As velocidades nos trechos (Tabela 4.2) estão em conformidade com as normas NBR12218 (1994), isto é, 0,6 m/s para mínima e 3.5 m/s para máxima.

Segundo o Ábaco de Hazen - Williams (Figura 4,4), os valores simulados demonstram adequação hidráulica do sistema. As velocidades nos trechos, tomando como média 2,0 m/s e os diâmetros das adutoras de 500 mm, visto na tabela 4.2, confirmam a veracidade dos dados utilizados na avaliação do sistema de abastecimento de água de Natal.

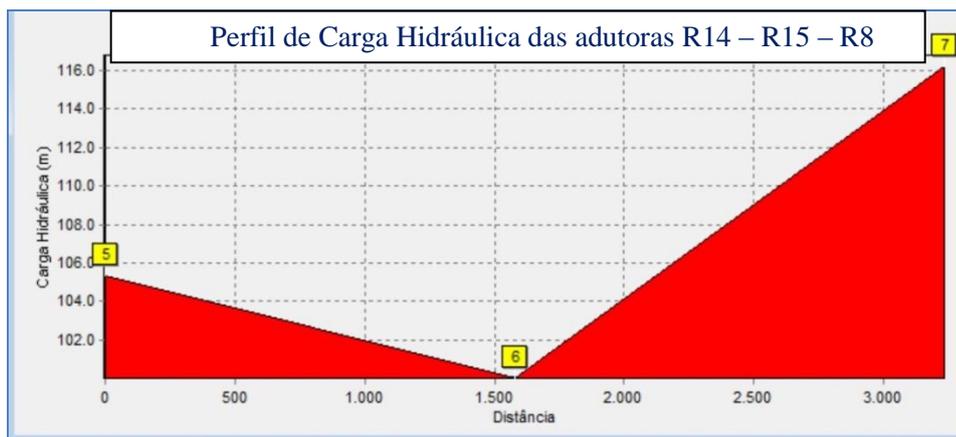


Figura 4.6- Perfil de Carga Hidráulica das Adutoras/RNN

Tabela 4.2 – Planilha de resultados da simulação nos trechos-RNN

Identificador do Trecho	Vazão LPS	Velocidade m/s	Perda de Carga m/km
Tubulação 1	587.64	1.17	1.44
Tubulação 2	587.64	1.17	1.44
Tubulação AD-R8	337.91	1.72	5.09
Tubulação AD-R14	452.70	2.31	8.75
Tubulação AD-R15	120.00	0.95	2.22
Bomba 3	587.64	0.00	-35.15
Bomba 4	452.70	0.00	-61.32
Bomba 5	120.00	0.00	-56.03
Bomba 6	337.91	0.00	-72.20

4.2. Setorização da distribuição de água dos reservatórios

As figuras 4.7, 4.8 e 4.9 apresentam as áreas com os seus respectivos bairros, influenciadas pelo abastecimento dos principais reservatórios alimentados pelas adutoras do Jiqui e por poços tubulares com suas vazões injetadas diretamente na rede de distribuição ou para os reservatórios.

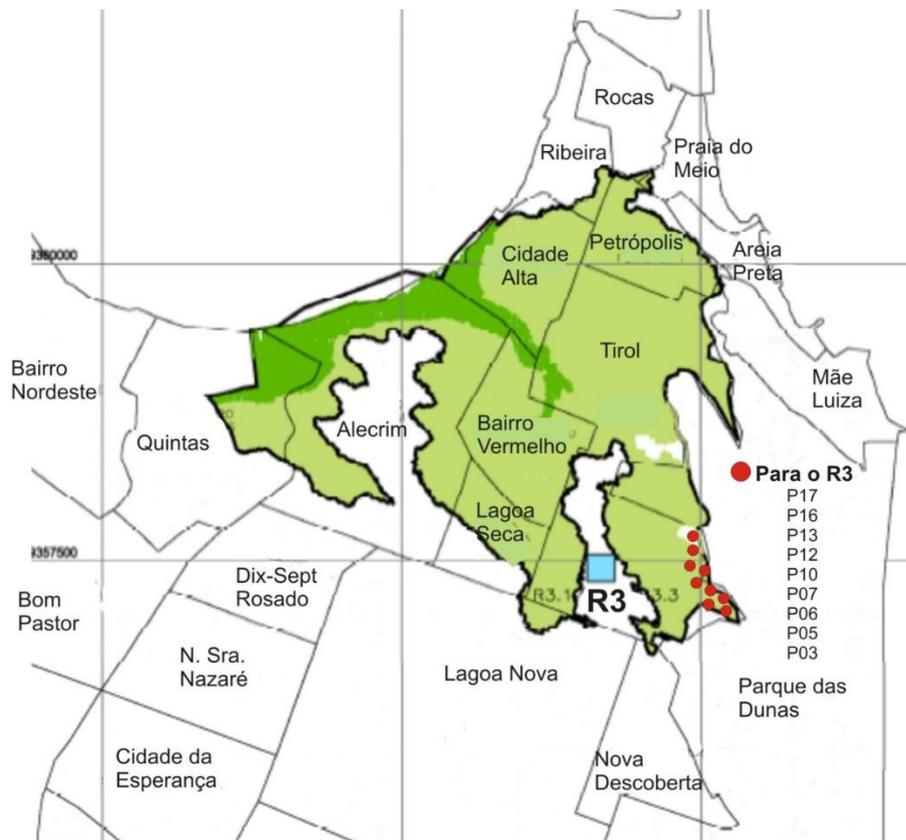


Figura 4.7- Setores abastecidos pelo R3 - RNS

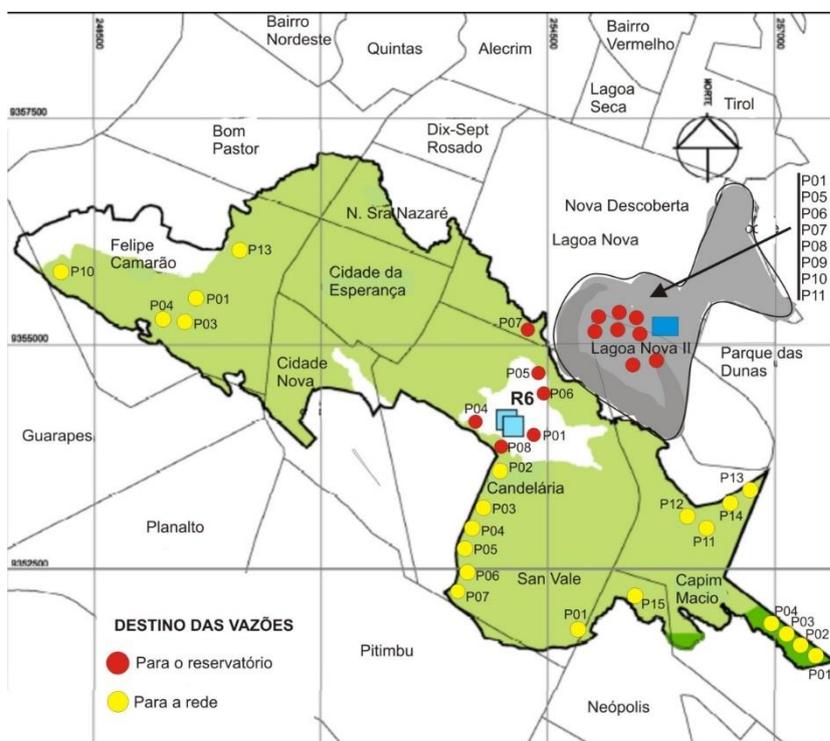


Figura 4.8- Setores abastecidos pelo R6 e Reservatório Lagoa Nova II - RNS

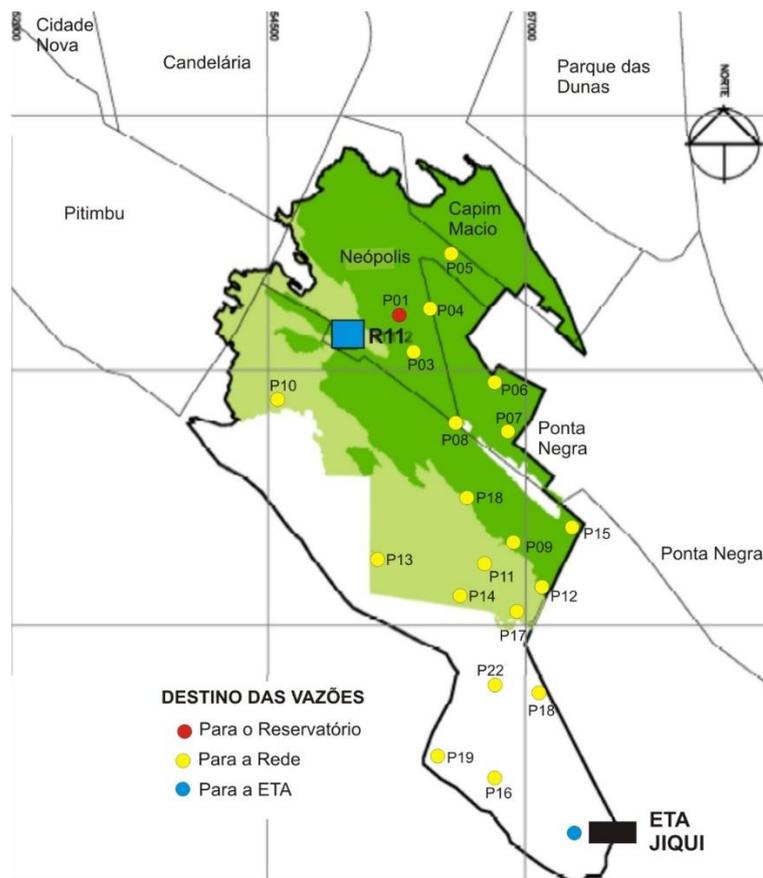


Figura 4.9- Setores abastecidos pelo R11 - RNS

A Tabela 4.3 apresenta uma planilha dos dados volumétricos de distribuição do Macro Sistema de Natal (Regional Norte e Sul) relacionada às águas superficiais. Foram reunidos os valores das vazões de distribuição dos reservatórios e vinculado aos bairros dependentes do abastecimento com o seu número populacional.

Em seguida, foi calculado o percentual da população por bairro e, com os percentuais avaliados às vazões distribuídas aos bairros. Denotou-se P (População), PT (População Total), f_i (Índice populacional), Q (Vazão de distribuição Total) e Q_i (Vazão por bairro). O número populacional dos bairros que recebe água de mais de um reservatório, foi dividido percentualmente para efeito de cálculo.

Tabela 4.3- Distribuição de vazões dos reservatórios aos bairros de Natal.

RESERVATÓRIO R3 - RNS				
Q (l/s)	Bairro Abastecido	População (p)	fi= P / PT	qi = fi x Q (l/s)
682,21	Alecrim	28.238	0,427	291,58
	Bairro Vermelho	10.310	0,156	106,46
	Tirol	16.310	0,247	168,41
	Petrópolis	5.576	0,084	57,58
	Lagoa Seca	5.635	0,085	58,19
População Total (PT)		66.069		
RESERVATÓRIO R6 – RNS				
191,59	Candelária	22.886	0,162	31,10
	Cidade da Esperança	19.187	0,136	26,07
	Lagoa Nova (41%)	15.536	0,110	21,11
	Felipe Camarão	52.125	0,370	70,86
	Cidade Nova	18.041	0,128	24,51
	Nova Descoberta (12%)	1.493	0,011	2,02
	Neópolis (52%)	11.728	0,083	15,94
População Total (PT)		140.996		
RESERVATÓRIO R11 – RNS				
50,35	Neópolis (48%)	10.826	0,871	43,84
	Capim Macio (7%)	1.609	0,145	5,51
População Total (PT)		11.082		
RESERVATÓRIO LAGOA NOVA II – RNS				
111,69	Lagoa Nova (59%)	22.357	0,409	45,66
	Capim Macio (93%)	21.378	0,391	43,66
	Nova Descoberta (88%)	10.948	0,200	22,36
População Total (PT)		54.683		
RESERVATÓRIO R8 – RNN				
337,91	Potengi	58.080	0,679	229,38
	Redinha	17.458	0,204	68,95
	Lagoa Azul (16%)	10.023	0,117	39,58
População Total (PT)		85.561		
RESERVATÓRIO R14 – RNN				
452,70	Parque dos Coqueiros	35.167	0,223	100,73
	Igapó	29.108	0,184	83,37
	Amarante	54.174	0,343	155,17
	Salinas	1.236	0,008	3,54
	N. S. Apresentação (79%)	38.364	0,243	109,89
População Total (PT)		158.049		
RESERVATÓRIO R15 - RNN				
120,00	N.S. Apresentação (21%)	10.198	1,000	120,00
Total		10.198		

A Tabela 4.4 apresenta às vazões de contribuição de poços tubulares nas áreas de abrangência dos reservatórios de distribuição do macro sistema. Foram somadas as vazões dos poços que estão diretamente interligados na rede e os que alimentam os reservatórios.

Tabela 4.4– Vazões de contribuição de poços tubulares ao Macro Sistema de Abastecimento.

ÁREA DO R3 - RNS			
BAIRRO	VAZÃO DE DESTINO (m ³ /h)		VAZÃO TOTAL (m ³ /h)
	Rede	Reservatório	
Candelária	1.300	690	1990
Felipe Camarão	140		
ÁREA DO R6 - RNS			
Morro Branco		808	808
ÁREA DO R11 - RNS			
Neópolis	345	100	445
Capim Macio	928		928
ÁREA DE LAGOA NOVA II - RNS			
Lagoa Nova		704	704
ÁREA DO R14 - RNN			
N. S. Apresentação	160		160
ÁREA DO R8 - RNN			
Potengi	40		40
Redinha	180		180
ÁREA DO R8 - RNN			
N. S. Apresentação	40		40

Em uma rede pública de abastecimento a quantidade de água consumida varia ao longo do dia. Assim, foi estimado o consumo efetivo per capita $C = 200$ l/hab/dia, de acordo com a variação da vazão encontrada em medições de setores com características semelhantes.

Em cidades brasileiras a curva padrão de demanda de água, ao longo do dia, característica dos sistemas de abastecimento, é representada pela figura 4.10.

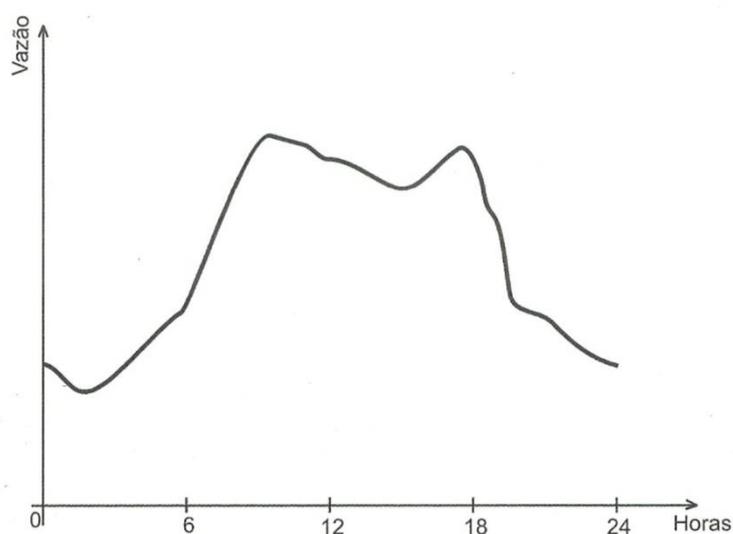


Figura 4.10- Curva de consumo médio diário

Fonte: GOMES, 2009

Baseado nos dados das tabelas 4.3 e 4.4 foram estimadas as vazões máximas diárias requeridas de consumo (Q_{cons}). Adotou-se o coeficiente do dia de maior consumo $k_1=1,2$, usualmente adotado no Brasil (Gomes, 2009).

$$Q_{cons} = \frac{P \times C \times k_1}{86400}$$

Sendo P a população, C consumo per capita (l/hab/dia) e k_1 o coeficiente do dia de maior consumo.

Para a classificação do grau de comprometimento na disponibilidade de água para cada bairro da cidade, foram convencionadas (Figura 4.11) três faixas de variação que pudessem classificá-los mediante o valor do coeficiente de vazão teórica de água como: BOM (até 0,7) - REGULAR (entre 0.7 e 1.0) – CRÍTICO (acima de 1,0).

Com o somatório das vazões superficiais e subterrâneas foi calculado o coeficiente de vazão teórica disponível per capita, que auxiliou na identificação dos bairros em estado crítico em relação à oferta de água, referenciado por 1.

A Tabela 4.5 especifica os bairros de Cidade da Esperança, Cidade Nova e Nova Descoberta como regiões em que o abastecimento encontra-se em estado crítico quanto ao fornecimento satisfatório de água necessária, pois ultrapassa de 1 o coeficiente $Q_{consumo}/Q_{distribuida}$. Os bairros da RNN, em sua grande maioria,

aproximam-se desse coeficiente máximo, deixando expectativas nas operações de distribuição e controle de demanda.

Tabela 4.5 – Balanço Hídrico do Macro Abastecimento de Água de Natal-RN

Bairro Abastecido	População (P)	Q _{cons} (l/s)	Q _{superf} (l/s)	Q _{subter} (l/s)	Q _{dist} (l/s)	$\frac{Q_{cons}}{Q_{dist}}$	Situação
Alecrim	28.238	117,6	291,6		291,6	0,403	Boa
Bairro Vermelho	10.310	42,9	106,5		106,5	0,403	Boa
Tirol	16.310	68,0	168,4	808,0	976,4	0,070	Boa
Petrópolis	5.576	23,3	57,6		57,6	0,404	Boa
Lagoa Seca	5.635	23,6	58,2		58,2	0,405	Boa
Candelária	22.886	95,4	31,1	1990,0	2021,1	0,047	Boa
Cidade da Esperança	19.187	80,0	26,1		26,1	2,345	Crítico
Felipe Camarão	52.125	217,2	70,7	140,0	210,7	1,031	Regular
Cidade Nova	18.041	75,2	24,5		24,5	2,365	Crítico
Neópolis	22.555	94,1	54,9	445,0	499,9	0,188	Boa
Capim Macio	22.988	95,9	51,0	928,0	979,0	0,098	Boa
Lagoa Nova	22.357	93,2	58,2	704,0	762,2	0,122	Boa
Nova Descoberta	10.948	45,6	24,3		24,3	1,877	Crítico
RNN							
Potengi	58.080	242,0	229,4	40,0	269,4	0,898	Regular
Redinha	17.458	72,8	69,0	180,0	249,0	0,292	Boa
Lagoa Azul	10.023	41,7	39,6		39,6	1,053	Crítico
Parque dos Coqueiros	35.167	146,6	100,7		100,7	1,455	Crítico
Igapó	29.108	121,4	83,4		83,4	1,455	Crítico
Amarante	54.174	225,8	155,2		155,2	1,455	Crítico
Salinas	1.236	5,1	3,5		3,5	1,457	Crítico
N. S. Apresentação	38.364	159,9	109,9	200,0	309,9	0,516	Boa

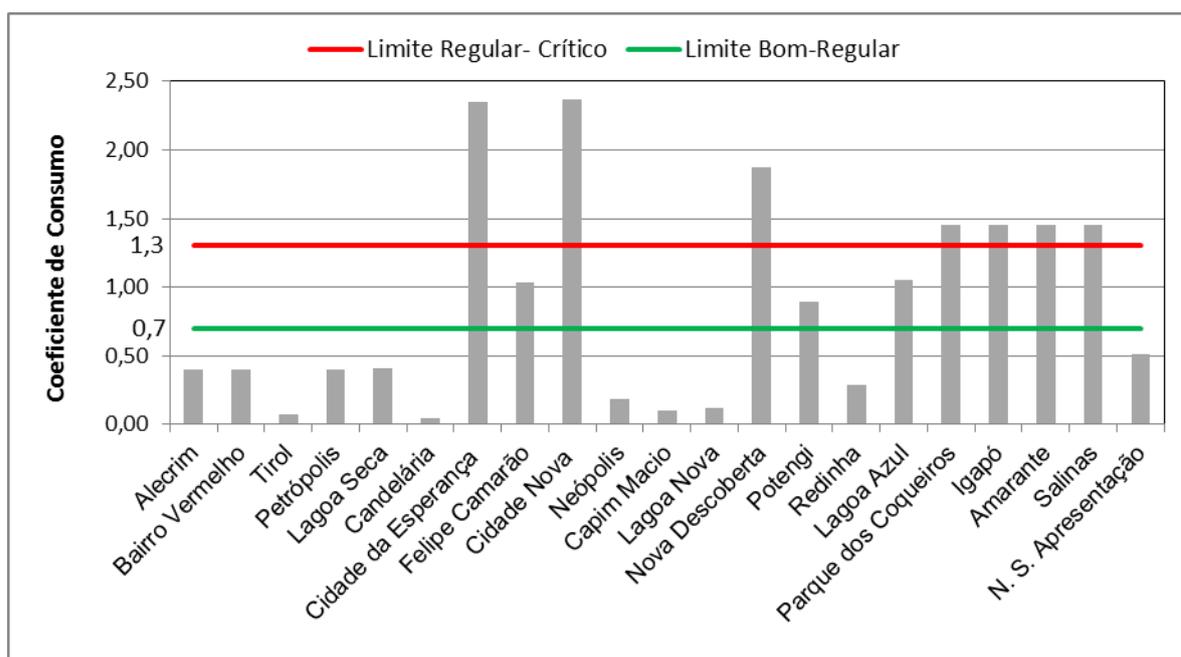


Figura 4.11 – Níveis de disponibilidade hídrica na Cidade de Natal-RN

Desde a captação no manancial até a entrega da água ao consumidor ocorrem perdas de vários tipos, que em grande parte são causadas por vazamentos e desperdícios. Fatores estes que possam incidir sobre as já baixas vazões distribuídas nos bairros que estão acima do coeficiente de distribuição.

Diante dos resultados obtidos na modelagem constatou-se que as vazões fornecidas pelas captações superficiais aos reservatórios de distribuição juntamente com os volumes explorados pelas captações subterrâneas, superam, em geral, as vazões requeridas para a demanda das regionais, salvo alguns bairros onde, através de manobras operacionais, possam garantir o equilíbrio satisfatório no balanço hídrico da cidade.

O EPANET foi utilizado de modo contínuo, sem levar em conta os vazamentos, as manobras de ajuste de Carga Hidráulica em campo e os desvios irregulares nas malhas de distribuição. Porém, essas variações de valores tendem a se aproximarem, à medida em que se efetive o controle de perdas durante o abastecimento.

4.3. Qualidade da água distribuída

Os mananciais superficiais analisados, Lagoas do Jiqui e Extremoz, preencheram no momento da avaliação os requisitos mínimos no que se refere aos aspectos quantitativos, como também quanto ao aspecto da qualidade da água do ponto de vista bacteriológico.

Por outro lado, os principais fatores que alteram a qualidade desses mananciais em níveis mais acentuados, estão ligados ao acelerado crescimento urbano. Tanto a Lagoa do Jiqui como a de Extremos sofrem ações da poluição doméstica, agrícolas, industriais e falta de saneamento básico. Essas degradações culminam na deterioração da qualidade da água de abastecimento da cidade.

Observando os aspectos da qualidade da água, os mananciais estão mais sujeitos a medidas de caráter preventivo, buscando-se através de melhorias de controle ambiental, impedir ou minimizar o lançamento de poluentes ao corpo receptor.

Ciente de que nas Estações de Tratamento o pH exerce efeito sobre a diversidade de microrganismos, este é um parâmetro fundamental no controle dos processos físico-químicos de tratamento de efluentes industriais e emissão de esgotos.

Em decorrência do estudo realizado, constatou-se que alguns parâmetros de referência de poluição hídrica ainda estão dentro de valores permitidos pela legislação vigente. O PH das Lagoa de Extremos e Jiqui apresentaram variações de 7,8 e 7,9 respectivamente, as quais estão com padrões de potabilidade aceitáveis, que fixam entre 6 e 9 pelo Ministério da Saúde.

Outro fator de extrema importância no que diz respeito à qualidade da água fornecida está relacionado aos níveis acentuados de Nitrato nas águas subterrâneas, principalmente, na Regional Natal Norte, onde se constatou valores acima de 30 mg/l-N de NO_3 no bairro de Gramoré. Na Regional Natal Sul esse valor é de menor impacto, comparado com a RNN. Os níveis de Nitrato estão acentuadamente na faixa de 15 mg/l.

Configura-se na tabela 4.6 um resumo das médias dos teores de Nitrato dos bairros da Capital que merecem atenção quanto à distribuição à população.

Tabela 4.6- Bairros com média de teores de Nitrato em Natal-RN

Divisão	Bairro	Média Teor de Nitrato (mg/l)
RNS	Candelária	12
	Lagoa Nova	10
	Satélite	9
RNN	Gramoré	20
	N. S. Apresentação	15

Como medidas emergenciais para a diluição desses índices nas águas de abastecimento, é efetivo o processo de diluição proveniente das captações superficiais ou redução da exploração onde os valores estão além do estabelecido.

Estão também em conformidade com o exigido, os parâmetros como: DBO nas faixas de 3,0 e 1,8 (Extremos/Jiqui); Coliformes Termo Tolerantes, 456 e 170 (Extremos/Jiqui) e Turbidez, 1,7 e 5,1 (Extremos/Jiqui).

Portanto, tornam-se fundamentais aprimoramentos e medidas intensivas de saneamento em áreas vulneráveis à poluição hídrica, de forma a estabelecer, no mínimo, os padrões estabelecidos de qualidade na água fornecida, resgatando a confiabilidade no consumo.

5- CONCLUSÕES

Para alcançar os resultados obtidos na elaboração da Caracterização e Avaliação do Macro Sistema Urbano de Distribuição de Água de Natal-RN fez-se uso de informações disponibilizadas e ferramentas de apoio para o seu desenvolvimento e conclusões específicas.

Através do levantamento de informações, a partir de documentações disponibilizadas pela CAERN, coleta de dados em campo e com o auxílio do simulador hidráulico EPANET, foi possível identificar algumas ineficiências no sistema de distribuição dos bairros dependentes dos principais reservatórios receptores de água das Estações de Tratamento e caracterizar a qualidade das águas, no que diz respeito aos índices de Nitrato (NO_3), disponibilizadas pelas captações superficiais e subterrâneas.

A Metodologia utilizada se mostrou adequada, no que se refere ao uso do EPANET, levando a uma estimativa de consumo de água ofertada e consumida na cidade de Natal-RN, identificando alguns bairros em situação crítica no sistema de distribuição, resultante do balanço hídrico da área estudada.

Os bairros da Regional Natal Sul que se mostraram em estado de maior cuidado, referente ao consumo superior ao ofertado, foram Cidade da Esperança e Lagoa Nova, com o coeficiente 2,3 e Nova Descoberta com 1,8. Esses bairros foram classificados em estado Crítico por estarem acima do limite convencional para tal situação que é de 1,3. O bairro de Felipe Camarão se enquadrou na classificação de Regular.

Na Regional Natal Norte os bairros de Lagoa Azul, Parque dos Coqueiros, Igapó, Amarante e Salinas também demonstraram insuficiência no abastecimento, salvo os bairros da Redinha e Nossa Senhora da Apresentação, com classificação (Bom), atingindo 0,3 e 0,5 respectivamente.

Pode-se observar, portanto, a importância em se manter um controle abrangente nas perdas do volume captado, associado aos vazamentos em redes e ramais e o déficit nas micromedições domiciliares, melhorando a performance econômica da distribuidora e revertendo tal benefício a novos investimentos e ampliação dos sistemas de produção, adução e reservação de água na cidade.

As águas oriundas das captações subterrâneas ainda estão em condições aceitáveis para o abastecimento domiciliar, desde que observado as variações crescentes no processo de degradação de sua qualidade, agregando barreiras para estabilizar os índices elevados de Nitrato ao longo do abastecimento das regionais.

Não tão preocupantes, alguns bairros de Natal como Candelária, na Regional Sul e os bairros de Gramoré e Nossa Senhora da Apresentação na Regional Norte, ultrapassaram o valor máximo estabelecidos pela norma, que chega a 10 mg/l de NO_3 .

Portanto, a Concessionária e população devem se conscientizar do grau de importância dos problemas que possam advir sem a implementação de medidas corretivas pelos órgãos responsáveis e a contribuição conjunta da sociedade na conservação dos Recursos Hídricos responsáveis pelo suprimento de água de Natal-RN.

6- BIBLIOGRÁFICA

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos 2011** – Revista Bio ano XIII, n 25, pp 19-34, janeiro/março, 2003. Rio de Janeiro; 2003.

ACQUAPLAN/CAERN. **Avaliação das possibilidades de infiltração de efluentes domésticos no Aquífero Dunas, na área de Natal - RN.** Natal (RN); 1988.

ANA- Agência Nacional de Águas - **Portal da Qualidade das Águas**, 2014.

____ - Agência Nacional de Águas – **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**, 2009.

____ - Agência Nacional de Águas– **Programa Produtor de água/Manual Operativo 2009a.** <http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/RegiaoMetropolitana>. Acesso em 02/04/2012.

ANDERSON, Y, JONG, B, Studahl. **Waterborne Campylobacter in Sweden: The cost of an outbreak.** Wat. Sci. Tech. Vol. 35, n11-14. Gret Britain. Elsevier Science Ltd. IAWQ. 1997.

Azevedo Netto, J. M. de; Fernandes y Fernandes, M.; Ito, A. E. **Manual de Hidráulica.** Coordenação Roberto de Araújo; 8a edição – São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1998.

BARBOSA, P. S. F., COSTA, A. A., SANTOS Jr, J. B. S. **Um Algoritmo de Programação Linear para Análise de Redes Hidráulicas.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 4 n. 4, p.75-84, 1999.

BORTONI, E. C., TIAGO FILHO, G. L., SILVA, B. C. **Controle de Bombas Centrífugas: Válvulas ou Acionamento Eletrônico?.** Eletricidade Moderna, Aranda Editora, Ano XXVII, n. 295, p.72-83, 1998.

BRASIL (2004). Ministério da Saúde. **Portaria Nº 518 de 25 de Março de 2004.** Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância

da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências.

CAERN - Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, **Planilha de Orçamento e SINP**. Dados Dez/2013, 2014.

_____ – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, **Relatório da captação dunas**. DATH/GOM. Natal (RN), 1988.

_____ – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, **Relatório de Diagnóstico do Sistema de Abastecimento de Água e Perdas, 2010**.

_____ – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, **Relatório de Estudos e Concepções dos Reservatórios de Água Tratada**. Junho/2011.

Canter L. W. (1996) **Nitrates in Groundwater**, Lewis Publishers, 263p.)

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – Águas Superficiais, 2014.

CETESB - [http://www.cetesb.sp.gov.br/aguassuperficiais/42-índice-de-qualidade-das-águas-\(iqa\)](http://www.cetesb.sp.gov.br/aguassuperficiais/42-índice-de-qualidade-das-águas-(iqa)) – Acesso em 12/01/2014.

COÊLHO, A.C. (2001). **Manual de Economia de Água (Conservação de Água)**.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente - Resolução 357 de 25 de marco de 2005.

DACACH, R M. **Sistemas Urbanos de Água**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Ed. S.A., 1975. 389p.

DE PAOLI, M.A (2008). **Degradação e Estabilização de Polímeros** - 2ª versão on-line (revisada): Chemykeys.

FRACATO, A, L., BARBOSA, P. S. F. **Soluções de Compromisso na Tomada de Decisão sobre a Operação Diária de Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 9 n. 2, p.39-50, 2004.

GOMES, H. P. (2009). **Sistema de Abastecimento de Água - Dimensionamento Econômico e Operações de Redes e Elevatórias**. 3ª edição.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2013.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A (IPT). **Reconhecimento hidrogeológico e estudo sobre a qualidade atual das águas subterrâneas da Grande Natal**. Natal-RN: SEPLAN, 1982. 149 p.(Relatório 14, v.2).

JOWITT, P. W. XU, C. Optimal Valves Control in Water-Distribution Networks. *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, v. 116, n. 4, p.455-472, 1990.

LAHTI, K, HIISVIRTAL. **Causes of Waterborne Outbreaks in Community Water System in Finland 1980 – 1992**. *Wat. Sci. Tech.* Vol 31, n5-6, pp33-36. Great Britain. Elsevier Science Ltd. IAWQ. 1995.

LAMBERT, A.; HIRNER, W. International Water Data Comparasions Ltd. Llandudno, LL 30 ISL, UK. **Losses from Water Supply systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures**. **IWA (International Water Association)**. The blue pages – The IWA information source on drinking water issues, 2000.

LUCENA, L. R. F; MEDEIROS, J. D. F; SANTOS, N. C. F. **A Disponibilidade Hídrica das Lagoas Jiqui e Pium e o caráter local Efluente em relação ao Aquífero Barreiras-Litoral Sul de Natal-RN**, 2008.

LUCENA, L. R. F. de; ROSA FILHO, E. F. da & BITTENCOURT, A. V. L. **A Potenciometria do Aquífero Barreiras no setor Oriental da Bacia do Rio Pirangi-RN e Considerações sobre a relação com mananciais superficiais**. *Revista Águas Subterrâneas* N°18/Janeiro 2004. LPH-UFPR, Centro Politécnico.Curitiba/PR.

MELO, J. G. 1995. **Avaliação dos Riscos de Contaminação e Proteção das Águas Subterrâneas de Natal / RN**. UFRN / CAERN: 232p.

MINEIRO, F. **A Qualidade da água em Natal**. Mandato Vereador Mineiro: Natal, 2001.

NUNES, E. **Aspectos morfo-estruturais, fisiográficos e coberturas de alterações intempéricas da Grande Natal (RN) como base para o macrozonemanto geoambiental.** 1996, 191f. Tese (Doutorado) em geociências – Instituto de geociências e ciências exatas, UNESP, Rio Claro.

NBR12218 - **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1994.

NUNES, Elias. **Diagnóstico geoambiental de bacias hidrográficas e lagoas costeiras, como alternativa de abastecimento de água para Natal e região metropolitana.** Natal-RN, 2011.

PNCDA – **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água.** <http://cidades.gov.br/index.php/programa/264-pcdna>. Acesso em 01/05/2014.

RAMOS, M.M.G. 1998 Drenagem Urbana: **Aspectos urbanísticos, legais e metodológicos em Belo Horizonte.** Dissertação de Mestrado Escola de Engenharia Universidade Federal de Minas Gerais.

RECESA - Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental – **Uso de Modelos/Software de Análise de Redes**, 2008.

REIS, L. F. R., PORTO, R. M., CHAUDHRY, F. H. **Optimal Location of Control Valves in Pipe Networks by Genetic Algorithm.** *Journal of Water Resources Planning and Management*, ASCE, v. 123, n. 6, p.317-326, 1997.

RIGHETTO, A. M.; Vilela, A. M. C; Dantas, R. O. O. **Caracterização Hidrogeológica do Aquífero Dunas /Barreira em Natal**, XIV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2006.

SANTANA, G. C. **Otimização da Operação de Sistemas de Distribuição de Água Abastecidos por Bombeamento e Reservatórios de Regularização.** 184p. Campinas, 1999. Tese de Doutorado - Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, UNICAMP, 1999.

SERHID/RN- SECRETÁRIA DE ESTADO DOS RECURSOS HÍDRICOS – **Plano de Gestão Integrado da Bacia do Rio Pitimbu. Projeto Pró-água / Semi-Árido.** SDP Nº 005/2003. VBA-TECNOSOLO. Junho/2006

_____ - SECRETÁRIA DE ESTADO DOS RECURSOS HÍDRICOS – **Resultado dos parâmetros de Qualidade das Águas dos efluentes das indústrias INPASA e SIDORE,** 2001.

SEMARH - SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS. **Plano Estadual de Recursos Hídricos 2008:** 2014.

SEMURB- Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. **Mapas do Plano Diretor de Natal.** 2014

SILVA, V. L. **As Implicações Ambientais no Entorno da Lagoa do Jiqui (RN) em Decorrência do Processo de Ocupação Humana.** Monografia (VII Curso de Especialização em Geografia do Nordeste) – Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Universidade Federal do Rio Grande do norte, Natal, 1997.

SILVA, V. L. **Caracterização climática da microbacia do rio Pitimbu - RN.** 1996, 40f. Monografia (Bacharelado em Geografia) - UFRN, Natal.

SILVEIRA, A.L.L. **Drenagem Urbana; Aspectos de Gestão.** Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS, 2002.

SIMONOVIC, S.P., (1998), **A Systems Approach to Creative Water Resources Engineering,** Curso CTH-USP, São Paulo, Brasil, 124p.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água.** Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 3ª Edição, 2006.

TUCCI, C. E. M., 2002, **Gerenciamento da drenagem urbana.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 7, N.1, jan/mar, pp 5-27.

VAIRAVAMOORTHY, K., LUMBERS, J. **Leakage Reduction in Water Distribution Systems: Optimal Valve Control.** Journal Hydraulic Engineering, ASCE, v. 124, n. 11, p.1146-1154, 1998.

WOOD, D. J., REDDY, L. S. Control de Bombas de Velocidad Variable y Modelos en Tiempo Real para Minimizar Fugas y Costes Energéticos, In: **Mejora del Rendimiento y de la Fiabilidad en Sistemas de Distribucion de Agua**. Valência, Espanha: Editores E. Cabrera, U. D. Mecánica de Fluidos, Universidad Politécnica de Valencia, A. F. Vela e Universitat Jaume I de Castellon, 1994. p.173-207.