

## AUTOMAÇÃO EM UM SISTEMA DE TRATAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: UM ESTUDO DE CASO

FELIPE BANDEIRA VASCONCELOS, MATHEUS XAVIER ROCHA, AUZUIR RIPARDO DE ALEXANDRIA

Instituto Federal De Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, *campus* Fortaleza  
<felipebandeira89@gmail.com>, <matheusxavier225@gmail.com>, <auzuir@ifce.edu.br>

DOI: 10.21439/conexoes.v12i3.1323

**Resumo.** A automação é essencial para o êxito de grande parte das organizações atuais, principalmente quando se trata de algo essencial à sobrevivência humana: a água. A supervisão e controle da água são importantes na sua distribuição para população e redução de eventuais desperdícios. Assim, objetivou-se estudar o sistema de abastecimento de água da região metropolitana de Fortaleza, verificando a eficiência em todo o processo de tratamento e distribuição de água, com desperdícios minimizados. A metodologia utilizada foi o estudo de caso na empresa responsável pelo tratamento e distribuição de água na região citada. Com o uso de transmissores de pressão, vazão, nível e analisador de cloro, a automação desse sistema coleta dados, processa-os e atua em cima destes para atender a demanda da população. Conclui-se que a automação do sistema de abastecimento estudado é eficiente na distribuição de água de qualidade e na redução de possíveis desperdícios, sendo considerada ambientalmente sustentável.

**Palavras-chaves:** Automação. Abastecimento de Água. Estudo de caso.

## AUTOMATION IN A WATER TREATMENT AND DISTRIBUTION SYSTEM: A CASE STUDY

**Abstract.** Automation is essential for most current organizations success, especially when it comes to something essential for human survival: water. The water control and supervision are important for its distribution and reduction of any waste. This work aims to study the water supply system in Fortaleza, checking the efficiency of this system in the whole process of water treatment and distribution, minimizing damages. The methodology used was the study in the company responsible for water treatment and distribution in Fortaleza. Using pressure transmitters, water flow, level and chlorine analyzer, the automation of this system collects data, processes them and acts in order to meet the population demand. It's concluded that automation of supply system analyzed in this work is efficient in distribution of good water quality and low possible wastes, and it is considered environmentally and economically sustainable.

**Keywords:** Automation. Water Supply. Case Study.

### 1 INTRODUÇÃO

A água sempre foi essencial no desempenho das atividades em sociedade, sendo o principal insumo para o crescimento socioeconômico das nações. Tal crescimento, com todos os impactos conhecidos no âmbito ambiental, é associado à questão da sustentabilidade (DF, 2012).

No Relatório Brundland (1987), o desenvolvimento sustentável foi definido pela Organização das Nações Unidas (ONU) como o crescimento que supre as carên-

cias da atual geração, sem trazer nenhum tipo de perda, no que se refere às necessidades e ambições para as gerações que estão por vir (CMMAD, 1991).

Sabe-se que, hoje, esse conceito é limitado por englobar diversos fatores que estão em mudança constante, como a tecnologia e ação humana. Portanto, definir sustentabilidade torna-se uma tarefa difícil.

Assim, o que se pode determinar é a conscientização de que o consumo de água aumentou, de forma significativa, em todo o planeta ao longo do tempo, e que,

desde 2012, observa-se uma gradativa e intensa redução dos índices pluviométricos em algumas regiões do Brasil, prejudicando a oferta de água para o abastecimento público (ANA, 2015).

A Política Nacional de Recursos Hídricos enfatiza a sustentabilidade dos corpos hídricos quando, em seu objetivo, determina garantir a disponibilidade de água, de acordo com os padrões de usabilidade, tanto para as gerações atuais como para as futuras (BRASIL, 1997).

Oliveira e Moraes (2017) consideram que a sustentabilidade das cidades não envolve somente a proteção do meio ambiente natural, mas também compreende as populações humanas.

Deste modo, a interação sustentável entre o ser humano e o meio ambiente deve pautar-se na melhoria da qualidade de vida da população e na preservação dos ecossistemas. A manutenção do suprimento de água adequado oferece melhorias no bem-estar social e no crescimento inclusivo das mais diversas áreas, desde a segurança alimentar e energética até a saúde humana e ambiental (UNESCO, 2015).

O abastecimento de água, tanto em quantidade como em qualidade adequada, influencia no crescimento das cidades. Para a manutenção sustentável do recurso água, torna-se necessário o desenvolvimento de instrumentos gerenciais de uso, proteção e planejamento, adequando o planejamento urbano à vocação natural do sistema hídrico (BRASIL, 2015).

A automação de processos é um desses instrumentos que viabilizam o uso sustentável da água. A área da automação possui inúmeras aplicações que facilitam diversos segmentos do mercado, trazendo incontáveis vantagens para cada área em que está inserida, como a redução de custos, qualificação de processos produtivos e precisão e padronização das atividades (BRANQUINHO et al., 2014).

Groover (2011) resume automação como sendo a tecnologia pela qual um determinado procedimento é executado sem assistência humana. É realizada utilizando-se um conjunto de instruções junto a um sistema de equipamentos de controle que executa estas instruções. Em uma definição mais atual, Lamb (2015) cita automação como a substituição de tarefas manuais por equipamentos mecanizados e programáveis, incluindo tomadas de decisões e comandos-resposta de seres humanos.

Inicialmente, a finalidade da automação era aumentar a produtividade dos processos de fabricação e melhorar a qualidade das tarefas realizadas pelo homem, o que proporcionava melhor aproveitamento da água de maneira indireta. A habilidade de supervisão avançada com a criação de banco de dados e a produção de utilida-

des adequados à gestão da água é uma metodologia de relevância aplicado à gestão e governança dos recursos hídricos (TUNDISI, 2008).

A automação, de fato, é relevante para a indústria, de um modo geral, que tem como foco crescer e ampliar, tanto na produção (produzindo mais), quanto na economia (reduzindo desperdícios). A automação melhora o rendimento de diversos recursos naturais pelo simples controle operacional do sistema de abastecimento de uma cidade (TROJAN; KOVALESKI, 2005).

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho é analisar o sistema de automação na Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE) – Companhia esta, que detém os direitos de concessão pelo tratamento e distribuição de água na Região Metropolitana de Fortaleza, verificando sua atuação no aperfeiçoamento da qualidade dos serviços prestados à população e na redução de desperdícios na distribuição, e contribuindo com a manutenção dos estoques de água, desde o tratamento até a distribuição de água à população.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para fundamentação do estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica, a partir de alguns trabalhos e documentos publicados, que relacionavam automação e distribuição de água tratada. Inicialmente é abordada a importância da água para a vida humana. Em seguida, é detalhado como um sistema de abastecimento funciona e quais os tipos de estações que existem neste sistema, mostrando como funciona o tratamento e destruição da água na região mencionada. Também é dado uma introdução sobre a automação de forma generalizada e como pode ser utilizada em sistemas de abastecimento de água.

### 2.1 A Importância da Água

A água é um recurso natural de fundamental importância à sobrevivência de todos os seres vivos. É uma substância que prevalece na maior parte da composição do corpo humano e existe, pelo menos, há 3,9 bilhões de anos. Mesmo com toda sua importância, a qualidade e a quantidade da água têm sido impactadas pela intervenção humana, a qual destrói nascentes e explora as suas reservas de forma excessiva (AZEVEDO; OLIVEIRA, 2016).

Estima-se que menos de 30% da superfície terrestre não é coberta por água. E, de toda água do planeta, cerca de 97% está em mares e oceanos, ou seja, apenas 3% dos recursos hídricos que compõem a Terra são classificados como água doce. Esta água doce pode ser encontrada sob a forma de gelo, nas calotas po-

lares (cerca de 77% dela), ou de forma subterrânea. Resumindo, de toda a água encontrada na superfície terrestre, é avaliado que apenas 0,6% está em condições de suprir as carências das seis bilhões de pessoas, tornando-a o bem mais precioso, que deve ser preservado, pois a sua escassez é realidade em muitas comunidades (CRCWQT, 2006).

Segundo Victorino (2007), o grau de desenvolvimento de uma localidade ou povoado pode ser medido por meio da qualidade da água e serviço de saneamento dado ao povo.

## 2.2 Sistemas de Abastecimento de Água

Toda água, independente da origem (superficial ou subterrânea), deve ter um tratamento preparatório para seu consumo, minimizando qualquer perigo à saúde humana (WHO, 2012).

No Brasil, o Ministério da Saúde lançou a Portaria nº 2914/2011, na qual foram determinados a referência de potabilidade da água e os métodos de controle e cuidados da sua qualidade (BRASIL, 1997).

Schoeny (2010) afirma que é necessário usar todas as ferramentas disponíveis a fim de garantir a entrega de água com qualidade para a população.

Conhecer as vantagens e limitações de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) é essencial para assegurar a qualidade da água para consumo humano e proteção da saúde da população (ROSA; VIEIRA; MENAIA, 2009).

Righetto (2002) refere que um sistema eficiente de abastecimento de água urbana opera na perspectiva diária com o menor gasto possível com energia elétrica e manutenção, fornecendo em cada estação da rede as demandas de consumo com pressões desejadas.

Um sistema que trata água e tem por finalidade abastecer e distribuir água em determinada região, é composto por um grupo de etapas. Cada etapa é correspondida por um órgão, que é composto por maquinários eletromecânicos, instrumentação e dispositivos de automação, além da parte da construção civil. Cada órgão, por sua vez, possui sua função específica (SOUSA, 2001).

A maior parte dos sistemas de tratamento de água existente é voltada para o consumo humano, sendo estes designados convencionais. Apesar de existir um sistema padrão, alguns fatores, como a qualidade da água em sua fonte, volume e turbidez de água a ser tratada, entre outros, torna sua implementação cada vez mais específica (MARTINS, 2014).

Um sistema de abastecimento de água é constituído por sete partes: manancial, captação, adução, tratamento, reservatório, rede de distribuição e ramal domi-

ciliar. Manancial é a fonte da qual se tira a água (água bruta), seja superficial ou subterrânea. Captação é a retirada da água do manancial e seu transporte para o sistema de tratamento, por meio de equipamentos devidamente instalados para esse fim. Em seguida, tem-se a adutora, que é uma tubagem de grande amplitude. Ela pode ser de dois tipos: adutora de água bruta ou de água tratada. Como o próprio nome sugere, ambas são usadas para o transporte de água, a diferença está para o tipo de água que elas transportam. A primeira é utilizada para o transporte da água bruta do local onde é captada até a estação onde será feito o tratamento da água, enquanto a segunda é utilizada para o transporte da água tratada até os reservatórios de distribuição. Tratamento é a parte do sistema que vai realizar determinados processos de descontaminação da água bruta e deixá-la conforme os critérios de qualidade da legislação, com condições de consumo humano. Após o tratamento, a água é armazenada em reservatório. A rede de distribuição leva a água para os pontos de consumo, no macrossistema da região a ser abastecida. E, por último, o ramal domiciliar é a ligação feita a partir das tubulações nas ruas para cada domicílio (FEITOSA; MEDEIROS, 2013).

### 2.2.1 Tipos de estações

Para que se tenha um melhor controle de pressão e vazão da água em todo o sistema de abastecimento é necessário um seccionamento do sistema em subsetores. Quando se leva em consideração esse controle, não se pode generalizar, pois cada sistema possui suas próprias características (SOUSA, 2017). De acordo com essa premissa, as estações podem ser divididas em três tipos: Válvulas Redutoras de Pressão (VRP), *boosters* e Estações Pitométricas (EP).

As VRPs têm sido utilizadas como instrumento para o controle de desperdício de água em redes de distribuição. Estas reduzem a pressão à jusante, evitando pressões excessivas e maiores perdas físicas nas redes de distribuição. As VRPs são recomendadas por especialistas em gestão de sistemas de abastecimento de água por serem, entre os métodos mais conhecidos, mais eficazes e com retornos mais rápidos (GALVÃO, 2007).

*Boosters* ou estações pressurizadoras são as estações de bombeamento nas quais não há poço de sucção a montante da bomba. Geralmente, são utilizadas para abastecer regiões em cotas elevadas (ELETROBRÁS, 2005). Na opinião de Eleotero (2008), em sistemas de abastecimento é frequente a presença de estações do tipo *booster*, cuja função principal é aumentar a pressão e/ou vazão em adutoras nas redes de distribuição.

As EPs são as responsáveis por fornecer dados im-

portantes, tais como vazão e pressão, para a definição do que fazer em um sistema de abastecimento de água. Estas são essenciais, já que a macromedição de vazão é uma etapa indispensável para o combate às perdas de água em um município (NOVAES; BRESSANI, 2009).

### 2.3 O Tratamento e Distribuição de Água da Região Metropolitana de Fortaleza

A Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) foi concebida pela Lei Complementar Federal nº 14/73 em 8 de agosto de 1973. Inicialmente, a região era composta por apenas 5 municípios. Ao longo dos anos, este número cresceu, totalizando 15 municípios ao final de 2009. Fazem parte os municípios de Aquiraz, Cascavel, Caucaia, Chorozinho, Eusébio, Fortaleza, Guaiuba, Horizonte, Itaitinga, Maracanaú, Maranguape, Pacajus, Pacatuba, Pindoretama e São Gonçalo do Amarante (COSTA; TSUKUMO, 2013).

No estado do Ceará, a primeira cidade a contar com abastecimento de água foi a capital, Fortaleza, cujo sistema, pioneiro, foi inaugurado em 29 de setembro de 1866. Em pouco menos de um século, o estado do Ceará já contava com 89 sistemas de distribuição de água, operados por: Fundação Serviços de Saúde Pública (FSESP), Companhia de Água e Esgoto do Nordeste (CAENE), Prefeituras Municipais, Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e pelo Serviço Autônomo de Abastecimento de Água e Esgoto do Ceará (SAAGEC), atualmente Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), que administrava também a pequena rede de esgoto existente (CAGECE, 2017).

#### 2.3.1 A Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará

A CAGECE foi criada pela Lei nº 9.499, de 20 de julho de 1971, sob a forma de Empresa de Economia Mista (CAGECE, 2017).

Nessa época, apenas 54,8% da capital era abastecida e sua rede coletora de esgoto tinha aproximadamente 53 mil metros, contemplando apenas 8% dos fortalezenses. Ao longo dos anos, a CAGECE foi ampliando sua abrangência em todo o território cearense, com o auxílio de alguns programas instituídos pelo governo, para beneficiar comunidades pequenas, garantindo desenvolvimento e manutenção dos sistemas criados pela empresa, como é o caso do Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR). Hoje, a CAGECE abastece em torno de 97,59% dos cearenses com água e a cobertura do esgoto já abrange 37,23% de toda população cearense (CAGECE, 2017).

Ainda em 1998, os macrossistemas de fornecimento de água da RMF e da região da Ibiapaba foram integrados ao sistema de automação, podendo ser operados remotamente, através de computador. Com isso, foi possível a detecção de qualquer incidente no sistema em tempo real (CAGECE, 2017).

### 2.4 Automação

Automação é um conjunto de métodos por meio dos quais se fundamentam mecanismos ativos capazes de atuar com uma ótima efetividade usando informações recebidas do ambiente sobre o qual atuam. Com base nas informações colhidas, o sistema pressupõe a ação corretiva mais adequada para a execução de determinada ação, sendo esta uma característica de sistema em malha fechada (SILVEIRA, 1998).

A automação e o controle de dispositivos possibilitam, por meio das tecnologias acessíveis, um aumento considerável na capacidade de produção e redução de possíveis perdas (PEREIRA; SPRITZER, 2007).

#### 2.4.1 Sistema SCADA

Gomes (2014) define SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) como o sistema criado com o objetivo de supervisionar e monitorar as plataformas industriais ou instrumentos que se pretendem controlar.

A finalidade principal dos sistemas SCADA é possibilitar uma interface de alto nível entre o processo e o operador, alertando-o em tempo real sobre todos os eventos de relevância na planta (VIEIRA, 2011).

#### 2.4.2 Protocolo de comunicação

Tanenbaum (2003) explica que protocolo é um conjunto de regras e convenções para conversação, uma espécie de código que determina a comunicação entre dois dispositivos, sendo eles máquinas ou computadores. Nos protocolos, é definida a forma como cada equipamento opera, de modo que fique entendido para ambos os lados que fazem parte da comunicação.

Em outras palavras, um protocolo é um composto de regras que determina como as mensagens, que englobam dados de controle, são amontoados na fonte para a transmissão e desamontoados no receptor (MELLO, 2006).

#### 2.4.3 Topologia e meio de transmissão

A topologia, por definição, é a forma como as estações estão ligadas umas às outras (KUROSE; ROSS, 2006).

Na concepção de Ross (2008), topologia é o termo utilizado para referir-se ao projeto físico da rede, ou

seja, a forma como os componentes desta rede estão dispostos no projeto geral.

O meio de transmissão é o trajeto por onde são passadas as informações de uma estação de trabalho para outra em uma rede industrial. Esse meio de transmissão pode ser através de fio ou sem fio, caso haja dificuldades na instalação de fios no prédio ou mesmo por conta da distância (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2009).

#### 2.4.4 Unidade Terminal Remota

A Unidade Terminal Remota (UTR) é a denominação dada ao equipamento constituído pelo conjunto de elementos de aquisição, tratamento e envio de dados, que são controlador lógico programável e toda instrumentação de campo, localizados nas estações (PEREIRA; SPRITZER, 2007).

A Unidade Terminal Remota (UTR) é toda infraestrutura eletroeletrônica de proteção, aquisição, processamento e transmissão de dados.

#### 2.4.5 Controlador Lógico Programável

O Controlador Lógico Programável (CLP) é o equipamento que possibilita o comando de dispositivos ou máquinas de forma fácil e versátil, permitindo mudanças rápidas no modo de operação, através de programas dedicados arquivado em sua memória (MAMEDE, 2001).

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), trata-se de um dispositivo eletrônico digital com *hardware* e *software* compatíveis com segmentos industriais (ZANCAN, 2011).

Controladores programáveis são dispositivos eletrônicos que usam uma memória, a qual pode ser programada para armazenamento de instruções com diversas funções, destinados a comandar e monitorar processos industriais, através de módulos de entradas/saídas, analógicas ou digitais (ATOS, 2006).

#### 2.4.6 Instrumentação

Na maioria das plantas automáticas é necessária uma realimentação na planta. E quem possibilita a realimentação nesse processo é a instrumentação. Para auxiliar o entendimento de instrumentação, é de fundamental importância a análise de alguns conceitos englobados em grande número de equipamentos (XIMENES F L ANS DA SILVA; ALBUQUERQUE, 2001).

#### 2.4.7 Sensores e atuadores

Conforme a percepção de Souza (2005), os sensores retem as informações equivalentes ao processo industrial e as repassa ao controlador do processo. Na indústria,

são os instrumentos de medição usados e são qualificados conforme o tipo de sinal transmitido, podendo ser digital ou analógico.

Os atuadores são os equipamentos que alteram a variável manipulada com a finalidade de retificar a variável controlada. Em outras palavras, eles recebem um sinal de comando oriundo do controlador e operam no sistema controlado (XIMENES F L ANS DA SILVA; ALBUQUERQUE, 2001).

### 2.5 A Automação do sistema de abastecimento de água

Os benefícios da automação (desde o processo de tratamento da água até a sua distribuição) estão, principalmente, na diminuição do consumo de energia elétrica e no controle de desperdícios (MARIO, 2001).

As empresas de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) têm se preocupado cada vez mais com a melhoria de seu desempenho operacional. Por conta disso, a automação desses sistemas tem se revelado como um mercado propício aos prestadores de serviço, além de receberem gradativamente mais investimentos (TUROLLA, 2002; MARODIN; C; TRAUTWEIN, 2005).

A automação dos sistemas de abastecimento de água consiste em coletar, concentrar e analisar as informações do processo. Com os resultados obtidos, esses sistemas de automação agem de forma autônoma para a obtenção dos resultados almejados (FONSECA, 2011).

A autonomia é possível por conta da inserção de parâmetros pré-determinados dos dispositivos de controle que compõe o sistema de automação. Uma vez parametrizados, os controladores adquirem a capacidade de tomar decisões e de controlar o processo ao qual fazem parte (FONSECA, 2011).

## 3 ESTUDO DE CASO

A metodologia utilizada neste trabalho trata-se de um Estudo de Caso da automação no sistema de tratamento e distribuição de água na Região Metropolitana de Fortaleza.

Os dispositivos que compõem o sistema de automação são apresentados, de forma detalhada, e também explicado como eles auxiliam na missão de abastecer a região e diminuir o desperdício de água.

### 3.1 Caracterização do Estudo

A pesquisa é caracterizada como estudo de caso, de cunho exploratório, com abordagem qualitativa. Para Gil (2008), o estudo de caso é caracterizado pela análise

intensa e profunda de um ou poucos objetos, com o objetivo de obter um conhecimento amplo e detalhado.

Silva e Menezes (2005) descrevem que uma pesquisa qualitativa tem seus dados analisados indutivamente pelo pesquisador e que o foco principal é o processo e seu significado.

Para implantar melhorias em um sistema são necessários avaliação e conhecimento prévio dos principais pontos de entrave de funcionamento, por meio da mensuração das suas qualidades e suas limitações. Será que o sistema de automação da empresa em questão traz esses benefícios citados? Quão atualizado é o sistema de automação existente? O sistema existente é confiável?

Para realizar esse estudo de caso, foi necessária a execução dos seguintes passos:

- Identificar a instrumentação utilizada para medição e/ou atuação no processo;
- Conhecer o protocolo de comunicação;
- Observar a topologia e o meio de transmissão da rede;
- Especificar e quantificar quais os Controladores Lógicos Programáveis (CLP) utilizados;
- Identificar o sistema SCADA aplicado.

Portanto, este artigo é o relato de um estudo de caso acerca do sistema de automação no macrossistema de abastecimento de água na RMF, avaliando como está implantada e se essa é eficaz e confiável para a qualidade da água e a redução do seu desperdício.

O levantamento de dados e equipamentos utilizados para o monitoramento e o controle da água em toda RMF é pormenorizado a seguir, identificando-se as variáveis medidas e controladas para que o sistema opere da maneira desejada.

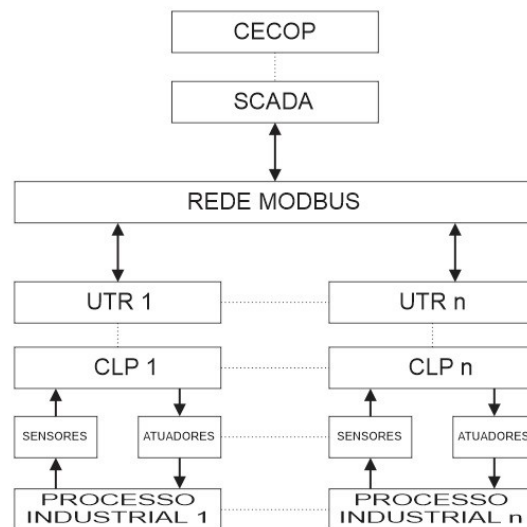
### 3.2 Sistema de automação

O sistema de automação da companhia em análise é bem amplo. Desse modo, o estudo focou na automação do macrossistema da distribuição de água da RMF.

A automação consiste em um sistema operacional centralizado, adotado em 1998, o qual inclui um Centro de Controle de Operações (CECOP) e um conjunto de unidades automatizadas, as Unidades Terminais Remotas (UTR), que monitoram e controlam todo o sistema de tratamento e distribuição de água, através de sensores e atuadores presentes em cada unidade.

Hoje, a rede de automação desse sistema conta com 59 UTR, que estão espalhadas em toda RMF, possibilitando a supervisão e controle de pressão, vazão, pH, turbidez e análise de cloro.

Uma ilustração de como funciona a automação no sistema citado está demonstrado na Figura 1.



**Figura 1:** Ilustração da automação no abastecimento da RMF.  
Fonte: Autor (2017).

### 3.3 Centro de Controle de Operações

O Centro de Controle de Operações (CECOP) é o local aonde são enviadas todas as informações colhidas no macrossistema de distribuição de água da RMF. Com esses dados, o CECOP, não só monitora, mas também controla a pressão e vazão em toda RMF, através do acionamento de válvulas e bombas.

### 3.4 Sistema SCADA

O sistema SCADA utilizado no CECOP é o E3, da Elipse Software. Ele é o mestre da rede do sistema de automação.

O E3 é um sistema SCADA que possibilita a máxima conectividade com os equipamentos presentes na rede, com um modelo de objetos avançado e uma interface gráfica poderosa. Geralmente, os sistemas produzidos com o E3 trabalham com coleta de dados em tempo real de dispositivos de aquisição de dados ou de controle. O E3 “lê” e “escreve” dados dos dispositivos através de *drivers* de comunicação, que programam o protocolo disponível em cada um (ELIPSE, 2017).

Toda informação captada pelo sistema SCADA é direcionada e armazenada no servidor principal da Companhia, podendo ser acessada em qualquer hora ou lugar, bastando o requerente estar conectado à rede interna da CAGECE.

Uma cópia da tela do sistema SCADA utilizado na rede de automação é mostrada na Figura 2. Nesta, pode-

se ver o fluxo de comunicação da rede *Modbus*, com círculos dispostos em linha. Cada círculo é a representação de uma unidade terminal remota (UTR), podendo ser identificado pelas diferentes cores que exibe: Verde, representa que a comunicação do E3 com a UTR foi feita com sucesso; Branco, significa que está aguardando comunicação; Vermelho, indica que a comunicação está em atraso; Branco pontilhado, UTR desativada; Preto pontilhado, demonstra alguma ocorrência na referida UTR e/ou preto, UTR inativa.

### 3.5 Protocolos de comunicação

O protocolo de comunicação utilizado no sistema de automação da distribuição de água da RMF é o *Modbus RTU*.

Esse protocolo foi desenvolvido inicialmente em 1979, pela companhia *Gould Modicon*. Nele, é definida uma mensagem estruturada, cujos controladores se comunicam, independentemente do tipo de rede acima deles (MORAES, 2000).

Na especificação deste protocolo são definidos dois modos de transmissão distintos: ASCII e RTU, não sendo possível utilizar os dois ao mesmo tempo. Cada modo determina a forma como são transmitidos os *bytes* da mensagem. O Modo RTU (utilizado na CAGECE) usa o sistema mestre-escravo para o câmbio de mensagens, no qual o mestre inicia a comunicação fazendo uma solicitação a um escravo e este “responde” ao mestre o que foi pedido. Este modo permite somente um mestre e até 247 escravos na rede (WEG, 2013).

### 3.6 Topologia e meio de transmissão

A topologia de rede usada no sistema de automação da distribuição de água da RMF é do tipo estrela. Neste tipo de topologia, cada ponto da rede é conectado ao ponto central (mestre), e é através dele que todas as mensagens devem passar (MARTINS, 2000).

Por conta das distâncias entre as UTR, o meio de transmissão empregado pela CAGECE é via ondas de radiofrequência utilizando equipamentos de rádio modem, que podem transmitir a longas distâncias.

Uma ilustração de como é feita a transmissão de dados na rede de automação do sistema de tratamento e distribuição de água é apresentada na Figura 3.

### 3.7 Unidade Terminal Remota

Nas UTRs do sistema de automação da distribuição de água da RMF estão contidos o CLP, a fonte chaveada com saída de 24Vcc, para alimentação da instrumentação presente em campo e o rádio MODEM, para a

transmissão de dados e recepção de comandos junto ao CECOP.

As 59 UTRs que comunicam com o CECOP, podem estar presentes em três tipos diferentes de estações: *booster*, Estação Pitométrica (EP) ou Válvulas Redutoras de Pressão (VRP).

Um mapa com a localização das UTR no sistema de tratamento e distribuição de água da RMF e sua área de abrangência é ilustrado na Figura 4.

#### 3.7.1 UTR em estação tipo *booster*

Na UTR instalada em estações tipo *booster*, o acionamento dos motores das bombas é feito por *soft-starter* ou por inversor de frequência, sendo o controle de velocidade feito pelo CLP através de sua saída analógica, levando em consideração a pressão desejada no recalque da bomba. Existe também um transmissor de pressão na sucção da bomba, por segurança, para que a bomba não seja acionada caso não tenha água na sucção da mesma.

O diagrama ISA que representa uma UTR instalada em estação do tipo *booster* controlada por um CLP é apresentado na Figura 5:

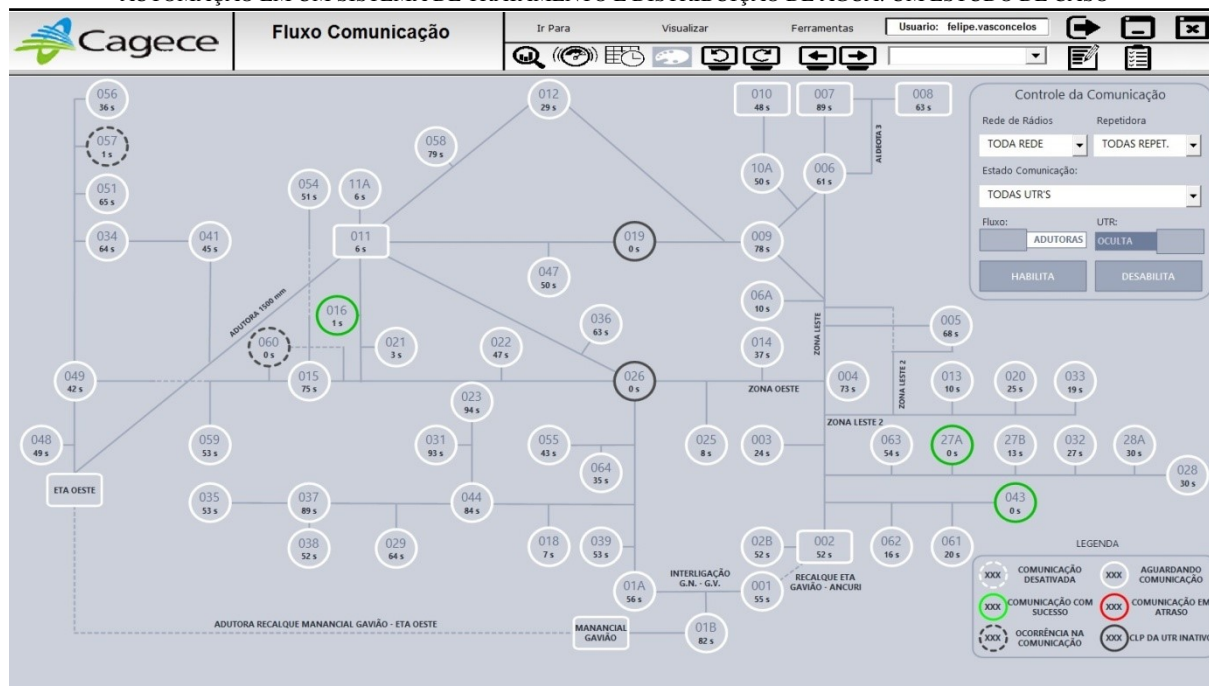
#### 3.7.2 UTR em estação pitométrica

Na UTR instalada em estações pitométricas (EP), são monitoradas pressão e vazão. Não há qualquer tipo de controle, somente a supervisão de dados. Os transmissores de pressão e de vazão são ligados ao CLP por meio de fio par-trançado blindado, que leva a informação de 4 a 20mA conectada na entrada analógica do CLP. Este, por sua vez, processa os dados recebidos e envia ao CECOP, quando solicitado.

O diagrama ISA que representa uma UTR instalada em uma estação pitométrica é apresentado na Figura 6:

#### 3.7.3 UTR em estação tipo VRP

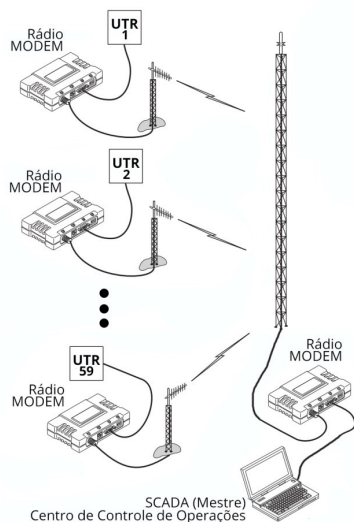
Na UTR instalada em estações tipo VRP, o controle da válvula é feito pela pressão na saída da adutora. A válvula é movida por um atuador elétrico que é interligado eletricamente ao painel da automação. Existe um transmissor de posição que indica o percentual de abertura da válvula (varia de 4 a 20mA, indicando 0% a 100% de abertura de válvula, respectivamente). Há um *setpoint*, um valor que é requerido para a pressão naquela região. Este valor é colocado na entrada do bloco de controle Proporcional, Integrativo e Derivativo (PID) do Controlador Lógico Programável (CLP), e este fica comparando com o valor corrente da pressão na saída da adutora (Variável a ser controlada), calcula de acordo com os parâmetros do bloco, e imprime na saída do bloco o valor percentual de abertura de válvula para que seja



**Figura 2:** Tela geral de todo sistema representado no Elipse E3.  
Fonte: Autor (2018).

atingida a pressão requerida. O CLP compara a posição corrente e a posição estimada pelo seu bloco PID, abrindo a válvula, caso a posição desta esteja menor que a requerida ou fechando-a, caso esteja maior.

O diagrama ISA que representa uma UTR em uma estação tipo VRP controlada por um CLP é apresentado na Figura 7:



**Figura 3:** Topologia e meio de transmissão.  
Fonte: Autor (2017).

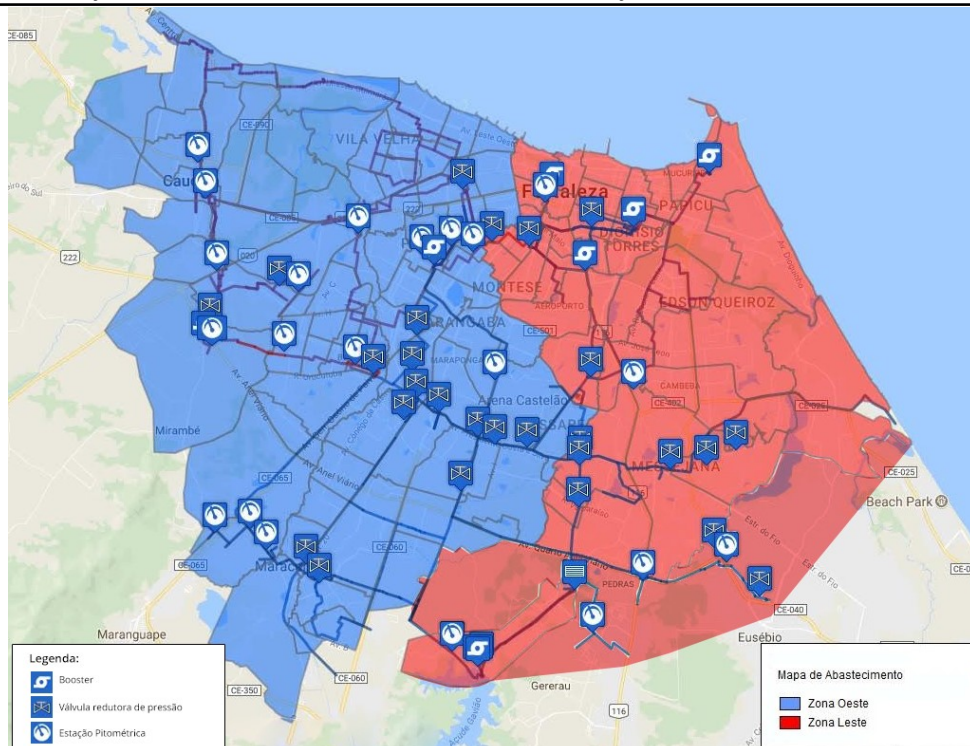
### 3.8 Controlador Lógico Programável

No sistema de automação da distribuição de água da RMF, existem três modelos diferentes de CLP de fabricantes distintos: LC700-E3 (Smar), MPC4004 (Atos) e S7-1200 (Siemens).

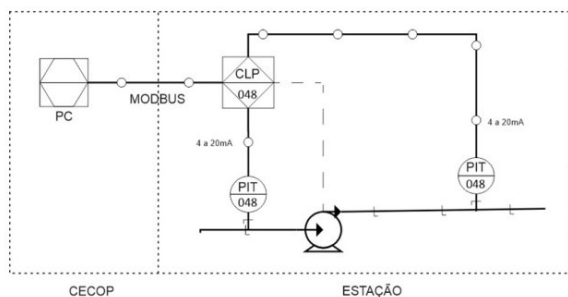
#### 3.8.1 Modelo LC700-E3 (Smar)

O LC700 é um CLP compacto, integralmente modular para adaptar-se a uma variedade de aplicações. Ele é compatível com os padrões lógicos *Ladder* IEC-61131-3. Os elementos mais importantes desse sistema são os *racks* e os módulos. Para construir um sistema LC700, basicamente, necessita-se de um módulo de CPU, um ou mais módulos de fonte de alimentação e um conjunto de módulos I/O para interagir com os sinais de campo (SMAR, 2011).

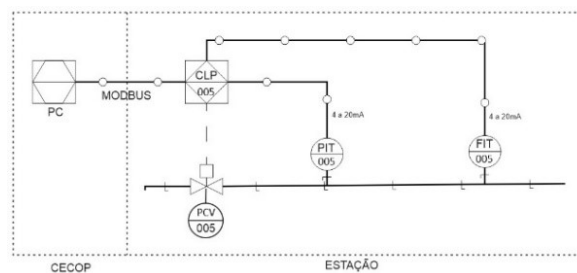
Uma visão geral do modelo LC700-E3, da Smar, é apresentada na Figura 8.



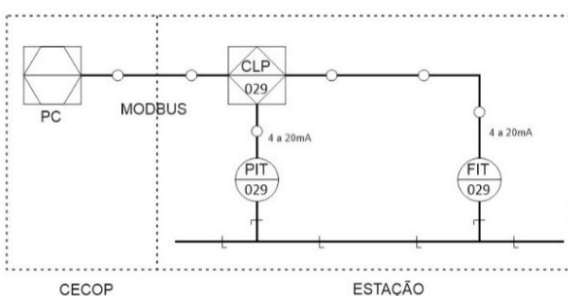
**Figura 4:** Mapa com a localização das UTR no sistema de abastecimento da região metropolitana de Fortaleza e sua abrangência.  
Fonte: Autor (2017).



**Figura 5:** Diagrama ISA da UTR em uma estação tipo *booster*.  
Fonte: Autor (2017).



**Figura 7:** Diagrama ISA da UTR em uma estação tipo VRP.  
Fonte: Autor (2017).



**Figura 6:** Diagrama ISA da UTR em uma estação pitométrica.  
Fonte: Autor (2017).



**Figura 8:** Visão geral do modelo LC700-E3 da Smar.  
Fonte: (SMAR, 2011).

### 3.8.2 Modelo MPC4004 (Atos)

O Controlador Programável MCP4004 tem uma estrutura modular flexível, dando ao cliente a opção de selecionar os mais variados tipos de módulos, encaixando-se perfeitamente às suas necessidades, em praticamente qualquer planta de automação. Mesmo sendo modular, este CLP já possui no módulo da CPU 8 entradas e 8 saídas digitais, uma saída para um display da Interface Homem-Máquina (IHM), 2 portas de comunicação serial, memória FLASH para programa de usuário, além de memórias RAM (ou NVRAM) com relógio de tempo real. Sua alimentação é 24Vcc, assim como suas entradas e saídas digitais (ATOS, 2006).

Uma visão geral do modelo MPC4004, da Atos, é apresentada na Figura 9.



**Figura 9:** Visão geral do modelo MPC4004 da Atos.  
Fonte: ATOS (2006, p.11).

### 3.8.3 Modelo S7-1200 (Siemens)

O controlador S7-1200 oferece a flexibilidade e potência para controlar uma grande variedade de equipamentos e dar suporte às necessidades de automação. A CPU contém um microprocessador, uma fonte de alimentação integrada, entradas e saídas digitais, uma porta PROFINET incorporada, entradas analógicas integradas em uma caixa compacta para criar um controlador poderoso. O controlador monitora as entradas e muda as saídas de acordo com a lógica do programa feito pelo usuário, que pode incluir lógica booleana, contagem, sincronização, operações matemáticas complexas e comunicações com outros dispositivos da mesma rede. Além das entradas e saídas contidas no controlador, pode-se aumentar o número de ambas, acrescentando módulos existentes neste modelo. Também estão disponíveis módulos adicionais para comunicação PROFIBUS, GPRS, RS485 ou RS232 (SIEMENS, 2012).

Uma visão geral do modelo S7-1200, da Siemens, é apresentada na Figura 10.



**Figura 10:** Visão geral do modelo S7-1200 da Siemens.  
Fonte: SIEMENS (2012, p.19).

## 3.9 Instrumentação

Na automação do sistema de tratamento e distribuição de água da Região Metropolitana de Fortaleza, a instrumentação é representada por sensores e atuadores.

Os sensores são os dispositivos que captam as informações do sistema em campo e transmitem esses dados ao CLP. São os transmissores de pressão, vazão, nível e analisador de cloro.

Enquanto os sensores coletam informações para o funcionamento do sistema, os atuadores são responsáveis por agir no sistema, quando necessário. São os atuadores elétricos acoplados às válvulas e os conjuntos motor bomba.

### 3.9.1 Transmissor de pressão

O transmissor de pressão utilizado é do tipo capacitivo. Sua escala é padronizada de 0 a 10 kgf/cm<sup>2</sup> e ele é integrado ao sistema por seu sinal de 4 a 20mA conectado à entrada analógica do CLP.

O transmissor de pressão, modelo LD290, da Smar, instalado na automação do sistema é ilustrado na Figura 11.

### 3.9.2 Transmissor de vazão

Os transmissores de vazão são de extrema importância para o monitoramento da automação do sistema estudado. Através deles, é possível mensurar a quantidade de água que está sendo consumida pelas diversas sub-regiões. Os transmissores instalados são ultrassônicos e sua integração ao sistema também é feita através de sinal de 4 a 20mA conectado à entrada analógica do CLP.

O transmissor de vazão, modelo IFC300, da Krohne, instalado na automação do sistema citado é apresentado na Figura 12.



**Figura 11:** Transmissor de pressão.  
Fonte: SMAR (2015).

### 3.9.3 Transmissor de Nível

Os transmissores de nível também são bastante importantes para o monitoramento do nível de alguns reservatórios ainda existentes na RMF. Devido ao controle de pressão através das válvulas, muitos reservatórios foram desativados, mas ainda existem reservatórios que é de extrema importância seu monitoramento. Na automação do sistema desse estudo, são usados dois tipos de transmissores de nível: ultrassônico e hidrostático, ambos com sinal de 4 a 20mA que são conectados às entradas analógicas do CLP.

O transmissor de nível ultrassônico, modelo Echo-TREK ST/SB-400, da Nivetec, instalado na automação do sistema citado é mostrado na Figura 13.



**Figura 13:** Transmissor de nível ultrassônico.  
Fonte: NIVETEC ().

O transmissor de nível hidrostático, modelo LS-10, da Wika, instalado na automação do sistema citado é mostrado na Figura 14.



**Figura 12:** Transmissor de vazão ultrassônico.  
Fonte: CONAUT (2017).



**Figura 14:** Transmissor de nível hidrostático.  
Fonte: WIKA (2013).

### 3.9.4 Analisador de cloro

Como o próprio nome indica, os analisadores de cloro fazem o monitoramento do cloro presente na água, realizando a dosagem do produto caso seja necessário, para

que a água esteja em conformidade com a norma exigida por lei. Estes dispositivos também monitoram o pH e a temperatura da água. Estão presentes em estações estratégicas para esse fim, totalizando treze unidades, ao longo de toda distribuição de água. Dos sensores existentes, são os únicos que têm uma porta de comunicação *Modbus* integrada, ou seja, sua integração ao sistema é diretamente na rede, através de sua porta RS485.

O analisador de cloro, modelo TW-54, da Digimed, instalado no sistema citado é exibido na Figura 15.



**Figura 15:** Analisador de cloro.  
Fonte: DIGIMED (2011).

### 3.9.5 Atuadores

Os atuadores agem no sistema de acordo com o sinal recebido pelo controlador. Na automação do sistema de tratamento e distribuição de água da RMF, eles podem ser atuadores elétricos em válvulas e/ou conjuntos motor-bomba.

Os atuadores elétricos das válvulas são responsáveis por manter a pressão no sistema, de acordo com o valor pré-estabelecido. Eles recebem o comando elétrico, oriundo do controlador, e abrem ou fecham as válvulas, conforme solicitado pelo controlador do sistema. Podem ser acionados remotamente (via supervisão, pelo CECOP) ou localmente, no quadro de comando do atuador existente na estação.

Já os conjuntos motor-bomba, presentes nos *boosters*, são responsáveis por pressurizar a rede para o abastecimento de regiões mais distantes ou mais altas, onde não existe pressão de água suficiente para abastecer a área. São acionados remotamente (Pelo CECOP) ou no próprio local, através de botoeiras dos quadros de comando dos conjuntos motor-bomba.

## 4 RESULTADOS

Apesar de ter sido implantada no final dos anos 1990, a automação vem sendo constantemente atualizada ao longo dos anos, moldando-se ao que há de mais moderno conhecido até hoje.

A automação permite a supervisão, em tempo real, de equipamentos que medem a pressão, vazão, níveis, cloro, bombas, entre outras variáveis e equipamentos automatizados.

É possível monitorar o volume diário de água que foi distribuído a uma sub-região, em um intervalo de tempo qualquer, de acordo com o desejo do operador. Através de um histograma gráfico é revelado como a água foi utilizada em cada um dos dias deste período, fazendo uma comparação entre as quantidades que foram distribuídas e a média de consumo histórico, algo impossível anteriormente.

Também é possível a análise e dosagem de cloro ao longo de toda a distribuição de água na RMF, garantindo a adequação da qualidade da água conforme os parâmetros estabelecidos pela Portaria nº 2914/2011, do Ministério da Saúde.

A coleta dos dados realizada pela automação favoreceu a padronização de operações e proporcionou mais agilidade ao atendimento de ocorrências, permitindo efetuar melhorias na manutenção.

No último ano, a automação permitiu à CAGECE uma redução de perdas considerável, fazendo com que a RMF diminuísse para 34,15% o percentual de desperdício, ficando abaixo da média nacional, que é de 37% de desperdício de água (MENDES, 2017).

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho destacou a importância da automação em um sistema de tratamento e distribuição de água de uma região metropolitana.

Nesse sentido, evidenciou-se a finalidade do sistema SCADA, usado para a supervisão de todos os parâmetros medidos pelas UTR, sendo ainda observados o meio de transmissão e a topologia da rede por onde trafegam os dados.

Na descrição de seus componentes, foram especificados e quantificados os CLP usados em todo o sistema, além de serem mencionados os instrumentos e atuadores no processo de abastecimento da região.

Ressalta-se que todos os equipamentos e instrumentos desse sistema de automação são instalados com a intenção de distribuir a melhor qualidade de água e na maior quantidade possível de forma a atender toda a população das cidades contidas na região, evitando qualquer forma de desperdício, já que água é um recurso

natural muito escasso atualmente.

Esses equipamentos e instrumentos instalados em campo e integrados no sistema através do CLP que, por sua vez, transmite para a central de controle as informações colhidas em campo, dão ao operador poder para monitorar e controlar as vazões requeridas nas diversas regiões das cidades inseridas no sistema.

Com isso, é possível monitorar o nível dos reservatórios e manter a população abastecida conforme a demanda. E, caso tenha algum vazamento de água, é viável detectá-lo e, em pouco tempo, fazer o isolamento da região atingida para manutenção.

Além disso, também é possível o controle de pressão nas tubulações, o que aumenta a vida útil das adutoras e diminui as despesas com manutenção, trazendo maior confiabilidade ao sistema.

Considerando, então, o que foi analisado no estudo, pode-se afirmar que a automação desse sistema é eficiente para o que se propõe (distribuição de água com qualidade e redução de desperdícios) e ecologicamente sustentável para o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. NBR 6022: Informação e documentação. Artigo em publicação periódica científica impressa – Apresentação, Rio de Janeiro, 2003.
- ALBUQUERQUE, P. U. B.; ALEXANDRIA, A. R. de. **Redes Industriais: aplicações em sistemas digitais de controle distribuído**. 2. ed. Brasil: Ensino Profissional, 2009.
- ANA. Conjuntura dos recursos Hídricos no Brasil: Informe 2014. Encarte especial sobre a crise hídrica, Brasília, 2015.
- ATOS. Curso Básico de Controladores Programáveis. 2006.
- AZEVEDO, M. N. de; OLIVEIRA, L. J. C. Educação Ambiental Infantil: A Importância Da Água. Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, v. 7, n. 3, 2016.
- BRANQUINHO, M. A.; MORAIS, L. C. de; SEIDL, J.; AZEVEDO, J. J. de; BRANQUINHO, T. B. **Segurança de Automação Industrial e SCADA**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2014.
- BRASIL. Casa Civil. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.
- \_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Mananciais, Brasília, DF, 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/aguas-urbanas/mananciais>>. Acesso em: 25 de maio de 2017.
- CAGECE. História. 2017. Disponível em: <<https://www.cagece.com.br/a-empresa/historia>>. Acesso em: 27 de maio de 2017.
- CMMAD. **Nosso Futuro Comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.
- CONAUT. Site da Empresa. 2017. Disponível em: <<https://www.conaut.com.br/>>. Acesso em: 09 de junho de 2017.
- COSTA, M. A. O.; TSUKUMO, I. T. L. O. 40 anos de regiões metropolitanas no Brasil. 2013. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livro\\_40\\_anos\\_regioes\\_metropolitanas\\_vol01.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livro_40_anos_regioes_metropolitanas_vol01.pdf)>. Acesso em: 11 de setembro de 2018.
- CRCWQT. A consumer's guide to drinking water. Australia, 2006.
- DF. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Programa de águas de usos diversos: Plano de gestão integrada da qualidade ambiental no Distrito Federal, Distrito Federal, 2012.
- DIGIMED. Manual de instruções TW-54. 2011. Disponível em: <[https://www.digimed.ind.br/br/produtos/tw\\_-\\_cloro/monitoramento\\_e\\_controle\\_de\\_qualidade\\_de\\_aguas/TW-54#](https://www.digimed.ind.br/br/produtos/tw_-_cloro/monitoramento_e_controle_de_qualidade_de_aguas/TW-54#)>. Acesso em: 09 de junho de 2017.
- ELEOTERO, B. C. Redução dos custos com energia elétrica em sistemas de bombeamento – Estudo de caso sistema de abastecimento de água de Capinzal/Ouro. Santa Catarina, 2008.
- ELETROBRÁS. Fupai/Efficientia. Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento. Eletrobrás, Rio de Janeiro, 2005.
- ELIPSE. Manual do usuário do E3. 2017. Disponível em: <<https://www.elipse.com.br/downloads/>>. Acesso em: 13 de maio de 2017.
- FEITOSA, N. B. de; MEDEIROS, C. F. F. Treinamento de curta duração saneamento rural (abastecimento d'água). 2013. Disponível em:

<<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/A0.html>>.  
Acesso em: 27 de maio de 2017.

FONSECA, F. R. **Modelo de sistema de automação aplicado à setorização de redes de abastecimento hídrico**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

GALVÃO, J. R. B. **Avaliação da relação pressão x consumo, em áreas controladas por válvulas redutoras de pressão (VRPs). Estudo de caso: rede de distribuição de água da Região Metropolitana de São Paulo**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOMES, J. R. R. Automação Industrial com recurso a ferramentas "Open Source". 2014.

GROOVER, M. P. **Automação industrial e sistemas de manufatura**. 3. ed. Brasil: Editora Pearson, 2011.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. Redes de Computadores e a Internet. Person, São Paulo, p. 28, 2006.

LAMB, F. **Automação Industrial na Prática**. 1. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2015.

MAMEDE, F. J. **Instalações Elétricas Industriais**. 6. ed. Brasil: Editora LTC, 2001.

MARIO, F. Automação no saneamento básico: diferentes necessidades para um mesmo objetivo. **Revista Controle & Instrumentação**, São Paulo, 2001.

MARODIN, J. K.; C, S. L.; TRAUTWEIN, B. Impactos da automação em sistemas de abastecimento de água: aspectos de gestão do conhecimento. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Brasil: ABES, 2005. p. 1–10.

MARTINS, R. X. Introdução A Redes De Computadores. Centro Universitário do Sul de Minas–UNIS, 2000.

MARTINS, T. J. C. **Sistemas de abastecimento de água para consumo humano—desenvolvimento e aplicação de ferramenta informática para a sua gestão integrada**. Tese (Doutorado) — Instituto Politécnico de Bragança, 2014.

MELLO, N. **Automação Digital de Subestações de Energia Elétrica**. Dissertação (Grau de Engenheiro Eletricista, Departamento de Engenharia Elétrica da

Escola Politécnica) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MENDES, F. A. R. Elipse E3 permitiu à Cagece reduzir as perdas de água, fazendo com que fortaleza atingisse 34,15% de desperdício, 3% abaixo da média nacional. 2017. Disponível em: <[https://www.elipse.com.br/wp-content/uploads/2017/03/Case\\_cagece\\_ptb.pdf](https://www.elipse.com.br/wp-content/uploads/2017/03/Case_cagece_ptb.pdf)>. Acesso em: 25 de agosto de 2018.

MORAES, A. Supervisão a distância de um processo automatizado. 2000. Disponível em: <[http://www.instii.fr/projets/platform/Elorn/MATERIEL/MODBUS/pag\\_01.html](http://www.instii.fr/projets/platform/Elorn/MATERIEL/MODBUS/pag_01.html)>. Acesso em: 17 de maio de 2017.

NIVETEC. Instrumentação e Controle. Transmissor de nível e volume ultrassônico — Série EasyTrek. Disponível em: <[https://nivetec.com.br/wp-content/uploads/2017/01/Folder\\_Nivelco\\_EasyTrek.pdf](https://nivetec.com.br/wp-content/uploads/2017/01/Folder_Nivelco_EasyTrek.pdf)>. Acesso em: 15 de junho de 2017.

NOVAES, L. F. de; BRESSANI, F. Importância da pitometria no sistema de abastecimento de Água. XVIII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, Campo Grande, MS, 2009.

OLIVEIRA, O. C.; MORAIS, S. C. Desafios para a sustentabilidade na gestão dos serviços de abastecimento de água na amazônia: aspectos socioambientais e econômicos do sistema de abastecimento de água na cidade de Macapá - AP. *Revista Espacios*, v. 38, n. 22, 2017.

PEREIRA, R. M.; SPRITZER, I. M. P. A. Automação e digitalização em subestações de energia elétrica: um estudo de caso. *Revista Gestão Industrial*, v. 3, n. 04, p. 147–160, 2007.

RIGHETTO, A. M. Operação ótima de sistema urbano de distribuição de água. Seminário de planejamento, projeto e operação de redes de abastecimento de água: o estado da arte e questões avançadas, João Pessoa, p. 16, 2002.

ROSA, M. J.; VIEIRA, P.; MENAIA, J. O. O tratamento de água para consumo humano face à qualidade da água de origem. *Guia Técnico*, v. 13, 2009.

ROSS, J. Redes de computadores. LVTEC, 2008.

SCHOENY, R. Disinfection by products: a question of balance. *Environmental health perspectives*, v. 118, n. 11, p. A466, 2010.

- SIEMENS, A. G. Manual do Sistema. Nurembergue, Alemanha, 2012. Disponível em: <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att\\_106119/v1/s71200\\_system\\_manual\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att_106119/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf)>. Acesso em: 17 de maio de 2017.
- SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.
- SILVEIRA, P. R. **Automação e controle discreto**. 2. ed. Brasil: Editora Érica, 1998.
- SMAR. Equipamentos Industriais. Guia do usuário, 2011. Disponível em: <<http://smar.com/PDFs/Manuals/LC700HWMP.pdf>>. Acesso em: 17 de maio de 2017.
- \_\_\_\_\_. Equipamentos Industriais. LD290 Series, 2015. Disponível em: <<http://www.smar.com/PDFs/manuals/LD290MP.pdf>>. Acesso em: 9 de junho de 2017.
- SOUSA, E. **Sistemas de Abastecimento de Água**. Dissertação (Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura) — Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2001.
- SOUSA, R. de. **Uso de Válvulas Redutoras de Pressão na otimização de rede setorizada de distribuição de água**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2017.
- SOUZA, R. B. de. **Uma arquitetura para sistemas supervisórios industriais e sua aplicação em processos de elevação artificial de petróleo**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2005.
- TANENBAUM, A. S. Redes de computadores. Elsevier Brasil, 2003.
- TROJAN, F.; KOVALESKI, J. L. Automação no abastecimento de água: Uma ferramenta para redução de perdas e melhoria nas condições de trabalho. XII SIMPEP, Bauru, SP, 2005.
- TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: Problemas e soluções. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 7–16, 2008.
- TUROLLA, F. A. Política de saneamento básico: avanços recentes e opções futuras de políticas públicas. 2002.
- UNESCO. Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: Água para um mundo sustentável. Sumário executivo, Colombella, 2015.
- VICTORINO, C. J. A. **laneta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos**. EDIPUCRS, 2007.
- VIEIRA, C. H. Automação de bancada didática para realização de ensaios em motores de indução. 2011.
- WEG. Modbus rtu - manual do usuário. 2013. Disponível em: <[http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-plc300-comunicacao-modbus-rtu\\_10000850708-manual-portugues-br.pdf](http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-plc300-comunicacao-modbus-rtu_10000850708-manual-portugues-br.pdf)>. Acesso em: 13 de maio de 2017.
- WIKA. Manual de instruções. 2013. Disponível em: <[http://www.wika.com.br/upload/OI\\_LS\\_10\\_pt\\_56977.pdf](http://www.wika.com.br/upload/OI_LS_10_pt_56977.pdf)>. Acesso em: 15 de junho de 2017.
- XIMENES F L ANS DA SILVA, F. A. B.; ALBUQUERQUE, P. U. B. de. Instrumentação e Controle. Fortaleza, CE, 2001.
- ZANCAN, M. D. Controladores Programáveis. Santa Maria, RS, 2011.