



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

ROSIBERTO DOS SANTOS GONÇALVES

**REFlex WATER: UM FRAMEWORK DE IOT PARA GERENCIAMENTO
INTELIGENTE DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Recife

2022

ROSIBERTO DOS SANTOS GONÇALVES

**REFlex WATER: UM FRAMEWORK DE IOT PARA GERENCIAMENTO
INTELIGENTE DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação do Centro de Informática da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação. Área de concentração: Engenharia de Software e Linguagens de Programação

Orientador (a): Prof. Dr. Ricardo Massa Ferreira Lima

Recife

2022

Catálogo na fonte
Bibliotecária Nataly Soares Leite Moro, CRB4-1722

G635r Gonçalves, Rosiberto dos Santos
REFlex Water: um framework de IoT para gerenciamento inteligente de sistemas de abastecimento de água / Rosiberto dos Santos Gonçalves. – 2022. 135 f.: il., fig., tab.

Orientador: Ricardo Massa Ferreira Lima.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CIn, Ciência da Computação, Recife, 2022.
Inclui referências e apêndices.

1. Engenharia de software e linguagens de programação. 2. Cidades inteligentes. 3. Processo declarativo. 4. Internet das coisas. 5. Processamento de eventos complexos. I. Lima, Ricardo Massa Ferreira (orientador). II. Título

005.1

CDD (23. ed.)

UFPE - CCEN 2022 – 198

Rosiberto dos Santos Gonçalves

“REFlex WATER – UM FRAMEWORK DE IOT PARA GERENCIAMENTO INTELIGENTE DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA”

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Ciência da Computação. Área de Concentração: Engenharia de Software e Linguagens de Programação.

Aprovado em: 14/09/2022.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Massa Ferreira Lima

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Sergio Castelo Branco Soares
Centro de Informática / UFPE

Prof. Dr. Márcio Lopes Cornélio
Centro de Informática / UFPE

Profa. Dra. Thais Vasconcelos Batista
Departamento de Informática e Matemática Aplicada / UFRN

Prof. Dr. Fábio Henrique Cabrini
Escola Politécnica / USP

Prof. Dr. Fernando Antonio Aires Lins
Departamento de Estatística e Informática / UFRPE

*Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais **Roberto Gonçalves** (in memoriam) e **Lusinete Alves** (in memoriam), Lusiana Gonçalves (irmã), Josenildo Jr. (sobrinho), Josenildo Batista (cunhado), que foram porto seguro perante as dificuldades durante este percurso.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, o prof. Dr. Ricardo Massa Ferreira Lima, um ser humano iluminado que a vida me apresentou e presenteou. Com sua grande inteligência, empatia, gentileza e educação, foi fundamental para que esta pesquisa fosse concluída com êxito. Obrigado por todos os ensinamentos, paciência, parceria e por “acreditar em mim”! Você jamais largou a minha mão. Conte sempre COMIGO!

A essa honrosa BANCA examinadora, em especial aos profs. Dra. Thaís Batista (DIMAp/UFRN), Dr. Márcio Lopes (CIn/UFPE), Dr. Sérgio Soares (CIn/UFPE), que qualificaram esta tese; Dr. Fernando Aires (UFRPE), Dr. Fábio Cabrini (POLI/USP). Meus AGRADECIMENTOS!

Aos amigos, profs. Afonso Reis, Neiton Carvalho, Cíntya Jiminni, Claudemir Lima, Jamesson Cruz, pela parceria na ETEMB e fora dela. Meus AGRADECIMENTOS!

A profa. Maria de Fátima (**novinha**) em especial, pela parceria na ETEMB e fora dela. Que esteve ao meu lado durante o período mais difícil da minha vida. O seu tempo e atenção dispensados à mim. As sábias palavras de força, o ombro e o carinho, a companhia e os momentos de descontração. Sem sombra de dúvidas, você é um presente de Deus em minha vida, essencial para que eu conseguisse lidar com esse momento tão delicado. Meus AGRADECIMENTOS! Conte sempre COMIGO!

Aos amigos, profs. Walter Felipe, Leandro Marques, Milton Moraes, Robson Godoi, Anderson Elias, Rosângela Melo; Alexsandro Marques, Lubnnia Moraes e Ilane Barros, vocês são incríveis!! obrigado pela compreensão, pela força e carinho. Gratidão!

A TODOS os participantes da concessionária de água entrevistados nesta pesquisa. Essenciais para a conclusão desta tese. Gratidão!

A meu pai Roberto Gonçalves (*in memoriam*), mais uma vítima da COVID-19. Quiseram o destino que eu não pudesse reunir TODA a família neste momento ímpar. *Pai, você foi meu herói, meu bandido. Você faz parte desse caminho, que hoje eu sigo EM PAZ. Eu não faço questão de ser tudo. Eu só não quero e não vou ficar mudo. Pra falar de amor pra VOCÊ. Honrado* em ser seu FILHO!!!! Descanse em PAZ! OBRIGADO por TUDO.

À minha irmã e amiga, Lusiana Gonçalves, meu SOBRILO (sobrinho/filho), Jose-nildo Jr. (Nuno), agradeço pelo apoio constante na vida. Esses anos de pandemia não

foram nada fáceis. Gratidão por toda vida a você minha irmã, por ter sido tão rápida no socorro. Você foi decisiva para que hoje eu estivesse aqui tecendo essas palavras. Gratidão e um pedido de desculpas a você Nuno, por ter lhe dado tantas responsabilidades. Mas você é a única pessoa em que tenho confiança para passar os cuidados de minha mãe, sua avó. Sem dúvidas, você cuidou melhor do que eu, que ORGULHO! Ao meu cunhado, Josenildo Batista (Nildo), que esteve disponível sempre que precisei. Gratidão à VOCÊS!!!

O meu mais sincero e terno agradecimento à minha mãe, Lusinete Alves, minha **MULHER MARAVILHA**, meu alicerce pela vida que me deu, pelo apoio incondicional nas decisões que eu tomei, pelo carinho, atenção, pela sólida formação dada até minha juventude e estendida até os dias de hoje, que me proporcionou a continuidade nos estudos até a chegada a este doutorado. Os últimos dois anos foram difíceis para nós. Aqui, eternizo o meu pedido de desculpas, pelo jeito atrapalhado em procurar lhe proteger nessa pandemia de COVID-19. Foi necessário, para que hoje, a senhora pudesse estar sã e salva assistindo a minha defesa. Muito embora, quisera o destino que neste momento de correções da minha tese, após a realização da minha defesa de doutorado, a senhora minha mãe, Lusinete Alves (*in memoriam*) veio a nos deixar...
*...De repente a dor. Vi o tempo passar. Nem sei porque você se foi. Quantas saudades eu senti. E de tristezas vou viver. E aquele adeus, não pude dar. Você marcou em minha vida. Viveu, morreu na minha história. Chego a ter medo do futuro. E da solidão, que em minha porta bate, AGORA. Você partiu, partiu. E nunca mais vai voltar. Estou cansado, magoado, exausto. Me dê motivo pra ir embora. A dor é forte demais pra mim. Mas quem sofre sempre tem que procurar. Pelo menos vir a achar razão para viver. Ver na vida algum motivo pra sonhar. Ter um sonho todo azul, azul da cor do mar. Você MÃE, é mais do que sei. É mais que pensei. É mais que esperava. Mãe, você é algo assim. É tudo pra mim. É como eu sonhava. Mãe, não não vá embora. Vou morrer de saudade. Vou morrer de saudade. Vou morrer de saudade. Meus eternos agradecimentos. **Honrado** em ser seu FILHO!!!! Descanse em PAZ minha! **AMO VOCÊ**, minha MÃE!!, minha **MULHER MARAVILHA!! SEMPRE JUNTOS!!***

Por fim, agradeço, acima de tudo, a Deus, pois é Ele quem me dá força para superar os mais difíceis momentos, e nos permite estar VIVOS. Obrigado Deus, por essa nova oportunidade, pela superação e perseverança! ESTOU DE VOLTA! Obrigado a **TODOS!**

“As nuvens mudam sempre de posição, mas são sempre nuvens no céu. Assim devemos ser todo dia, mutantes, porém leais com o que pensamos e sonhamos; lembre-se, tudo se desmancha no ar, menos os pensamentos.” (BALEKI, 2015)

“Por isso, jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.” (CALAPRICE, 2011)

“Pois, não pode chover o tempo todo. O céu não pode cair para sempre. E embora a noite pareça longa, suas lágrimas não podem cair para sempre.” (PROYAS, 1994)

RESUMO

O crescimento da população mundial e as mudanças climáticas aumentam a demanda por água de alta qualidade. Este fato força a humanidade a criar novas estratégias de gestão da água. A utilização generalizada de Tecnologias da Informação e da Comunicação (*Information and Communication Technologies* (TICs)) nos espaços urbanos criou, na década de 90, uma nova era denominada Cidades Inteligentes (*Smart Cities*), que conceitua o desenvolvimento urbano dependente da tecnologia, da inovação e da globalização em diversas áreas de gestão e se baseia no paradigma tecnológico conhecido como Internet das Coisas (*Internet of Things* (IoT)). Com a utilização da IoT e diversas tecnologias aplicadas às Cidades Inteligentes, diversos setores (e.g., saneamento), possuem acesso às informações de contexto (e.g., umidade) de maneira facilitada e em tempo real, possibilitando uma ação mais eficaz e integrada. Na atualidade, pesquisadores estão criando Sistemas de Água Inteligente (*Smart Water System* (SWS)) que usa sensor, dispositivos e sistemas, com a capacidade de gerenciar a água com mais eficiência fornecendo monitoramento em tempo real de dados (e.g., vazão de água) com a capacidade de detectar quaisquer anormalidades. No entanto, para analisar e processar grandes conjuntos de dados produzidos por sensores da IoT e expressar o comportamento dinâmico dos sistemas de abastecimento de água é necessário a utilização de tecnologias de ponta que auxiliem na gestão do trabalho. Diante do exposto, esta tese reúne as tecnologias IoT, Processamento de Eventos Complexos (*Complex Event Processing* (CEP)) e Processos Declarativos para criar uma arquitetura eficiente e flexível (REFlex Water) inspirada no FIWARE, que impulsiona o desenvolvimento de soluções inteligentes interoperáveis e orientado a inovação para gerenciar sistemas de abastecimento de água. Para o conhecimento do autor, REFlex Water é a primeira solução que combina estas tecnologias no contexto de sistemas de abastecimento de água. O trabalho descreve a arquitetura REFlex Water e demonstra seu funcionamento através de uma *Proof of Concept* (PoC). Os componentes da arquitetura do REFlex Water foram avaliados em laboratório através da ferramenta computacional de simulação hidráulica de sistemas de abastecimento de água, a EPANET. Largamente aplicada no campo do planejamento, projeto e do diagnóstico de funcionamento de sistemas de abastecimento, EPANET é um complemento na tomada de decisão do projetista e gestores de água.

O EPANET permite o desenvolvimento de modelos de simulação confiáveis. Sendo útil o modelo de simulação EPANET, para a exploração e diagnóstico desses sistemas, melhoria no planejamento de expansões hidráulicas e/ou outras intervenções nas redes de abastecimento. EPANET na sua forma original não dispõe de integração com infraestrutura de IoT. Para isso, foi desenvolvida a extensão EPANET-RWX para EPANET que permite integrá-lo ao REFlex Water, e possibilita a avaliação da arquitetura proposta antes de implantar no sistema real. Por fim, o REFlex Water foi submetido a avaliação por especialistas do setor de água, realizado por meio de entrevistas individuais. Na discussão dos resultados, demonstra-se que o REFlex Water se mostra promissor para ser aplicado a sistemas de abastecimento de água, segundo análise dos especialistas que apresentaram percepção positiva na sua utilização, corroborando, assim, com o nível de desenvolvimento de novas soluções tecnológicas para sistemas de abastecimento de água.

Palavras-chaves: cidades inteligentes; processo declarativo; internet das coisas; processamento de eventos complexos; sistemas de abastecimento de água; reflex water.

ABSTRACT

World population growth and climate change increase the demand for high quality water. This fact forces humanity to create new water management strategies. The widespread use of Information and Communication Technologies (ICTs) in urban spaces created in the 1990s a new era called Smart Cities, which conceptualizes urban development dependent on technology, innovation and of globalization in several areas of management and is based on the technological paradigm known as the Internet of Things (IoT). With the use of IoT and various technologies applied to Smart Cities, several sectors (e.g., sanitation) have access to context information (e.g., humidity) in an easier and real-time way, enabling more effective action and integrated. Currently, researchers are creating Smart Water Systems (SWS) that use sensors, devices and systems, with the ability to manage water more efficiently by providing real-time monitoring of data (e.g., flow of water) with the ability to detect any abnormalities. However, to analyze and process large sets of data produced by IoT sensors and express the dynamic behavior of water supply systems, it is necessary to use cutting-edge technologies that help in the management of the work. Given the above, this thesis brings together IoT technologies, Complex Event Processing (CEP) and Declarative Processes to create an efficient and flexible architecture (REFlex Water) inspired by FIWARE, which drives the development of interoperable intelligent solutions and innovation-oriented to manage water supply systems. To the author's knowledge, REFlex Water is the first solution that combines these technologies in the context of water supply systems. The work describes the REFlex Water architecture and demonstrates its operation through a Proof of Concept (PoC). The components of the REFlex Water architecture were evaluated in the laboratory using the computational tool for hydraulic simulation of water supply systems, EPANET. Widely applied in the field of planning, design and diagnosis of the operation of supply systems, EPANET is a complement in the decision-making process of designers and water managers. EPANET allows the development of reliable simulation models. The EPANET simulation model is useful for exploring and diagnosing these systems, improving the planning of hydraulic expansions and/or other interventions in the supply networks. EPANET in its original form does not have integration with IoT infrastructure. For this, the EPANET-RWX extension for EPANET was developed, which allows integrating it with REFlex Water, and makes

it possible to evaluate the proposed architecture before deploying it in the real system. Finally, REFlex Water was submitted to evaluation by specialists in the water sector, carried out through individual interviews. In the discussion of the results, it is demonstrated that the REFlex Water shows promise to be applied to water supply systems, according to the analysis of the specialists who presented a positive perception in its use, thus corroborating with the level of development of new technological solutions for water supply systems.

Keywords: smart cities; declarative process; internet of things; complex event processing; water supply systems; reflex water.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – (a) Coleta de dados; (b) Análise de dados; (c) Monitoramento (alarmes); (d) Ações.	25
Figura 2 – Águas no Brasil - total de água retirada (média anual 2018).	41
Figura 3 – Ciclo de Vida da Água.	42
Figura 4 – FIWARE - arquitetura.	50
Figura 5 – Arquitetura FIWARE para aplicações de IoT de <i>Smart Water</i>	51
Figura 6 – <i>DECLARE</i> - acionamento de uma bomba.	56
Figura 7 – <i>DCR Graphs</i> - acionamento de uma bomba.	57
Figura 8 – <i>REFlex</i> - acionamento de uma bomba.	58
Figura 9 – Arquitetura de um sistema CEP.	59
Figura 10 – <i>EPANET</i> - tela inicial.	62
Figura 11 – Metodologia.	65
Figura 12 – <i>REFlex Water</i> - arquitetura.	69
Figura 13 – Componente <i>Broker</i> (baseado no Orion Context Broker).	71
Figura 14 – Componente <i>Agent</i>	71
Figura 15 – Componente <i>Rules</i>	72
Figura 16 – Componente <i>Statistic</i>	73
Figura 17 – Exemplo de assinatura - (a) <i>Storage</i> ; (b) <i>Rules</i>	74
Figura 18 – Exemplo de regra <i>Perseo</i>	75
Figura 19 – <i>REFlex Water Web</i> - tela inicial.	76
Figura 20 – Representação Visual - evento.	77
Figura 21 – <i>REFlex Water Mobile</i>	79
Figura 22 – Diagrama de Sequência - definição das regras do processo de negócio.	80
Figura 23 – <i>REFlex Water Web</i> - regra CEP.	81
Figura 24 – Diagrama de Sequência - definição das políticas de gestão.	81
Figura 25 – Diagrama de Sequência - monitoramento das políticas de gestão e envio de alertas - (a) Email; (b) Notificação.	83
Figura 26 – <i>EPANET-RWX</i> - (a) Itens monitorados; (b) Configuração da API.	84
Figura 27 – <i>EPANET-RWX</i> - ativar envio de dados.	85

Figura 28 – Distrito A1 - mapa.	87
Figura 29 – Integração EPANET - estrutura.	90
Figura 30 – REFlex Water Web - <i>dashboard</i> de monitoramento.	91
Figura 31 – REFlex Water Web - resumo diário estatístico.	91
Figura 32 – REFlex Water Web - <i>dashboard</i> notificação.	93

LISTA DE CÓDIGOS

Código Fonte 1 – Regra CEP - pressão nível crítico.	60
Código Fonte 2 – Políticas Operacionais REFlex - nível e vazão de água. . . .	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – <i>Engine</i> de busca.	29
Quadro 2 – Blocos do Questionário.	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – <i>String</i> de busca.	29
Tabela 2 – Trabalhos Relacionados	38
Tabela 3 – <i>Middlewares</i> de IoT (parte 1) - comparativo.	48
Tabela 4 – <i>Middlewares</i> de IoT (parte 2) - comparativo.	48
Tabela 5 – Descrição dos campos da assinatura.	74
Tabela 6 – Detalhes da regra Perseo.	75
Tabela 7 – Operações disponíveis no REFlex Water.	75
Tabela 8 – Elementos do Editor Visual.	78
Tabela 9 – Resultados Obtidos no Bloco 4 do Questionário.	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMQP	<i>Advanced Message Queuing Protocol</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CEP	<i>Complex Event Processing</i>
DCR	<i>Dynamic Condition Response</i>
DLL	<i>Dynamic-link library</i>
DSEs	<i>Domain Specific Enablers</i>
EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
EPL	<i>Event Processing Language</i>
GE	<i>Generic Enablers</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
JSON	<i>Java Script Object Notation</i>
LTL	<i>Lógica Temporal Linear</i>
MQTT	<i>Message Queue Telemetry Transport</i>
NGSI	<i>Next Generation Service Interfaces</i>
NGSI-LD	<i>NGSI-Linked Data</i>
P2P	<i>Peer-to-peer</i>
PoC	<i>Proof of Concept</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>

RSSF	Redes de Sensores Sem Fio
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SDK	<i>Software Development Kit</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
STH	<i>Short Time History</i>
STH-Comet	<i>Short Time Historic-Comet</i>
STOMP	<i>Simple Text Oriented Messaging Protocol</i>
SWS	<i>Smart Water System</i>
TICs	<i>Information and Communication Technologies</i>
UTAUT	<i>Unified Theory of Acceptance and Use of Technology</i>
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i>
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	CONTEXTO E MOTIVAÇÃO	22
1.1.1	Cenário Motivador	24
1.1.2	Pergunta de Pesquisa	25
1.2	HIPÓTESE	25
1.3	OBJETIVOS	25
1.4	ESCOPO NEGATIVO	26
1.5	CONTRIBUIÇÕES	26
1.6	ESTRUTURA DA TESE	27
2	TRABALHOS RELACIONADOS	28
2.1	CONDUÇÃO DA PESQUISA	28
2.2	MEDIÇÃO INTELIGENTE	30
2.3	GERENCIAMENTO INTELIGENTE DE ÁGUA	32
2.4	PROCESSOS DE NEGÓCIO DECLARATIVOS	34
2.5	COMPARAÇÃO DOS TRABALHOS RELACIONADOS	36
2.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
3	FUNDAMENTOS	40
3.1	ABASTECIMENTO DE ÁGUA	40
3.1.1	Sistema de Abastecimento de Água (SAA)	41
3.2	INTERNET DAS COISAS - IOT	44
3.2.1	Middleware IoT	44
3.2.1.1	<i>Altair SmartWorks</i>	47
3.2.1.2	<i>FIWARE</i>	47
3.2.1.3	<i>LinkSmart</i>	47
3.2.1.4	<i>OpenIoT</i>	47
3.2.1.5	<i>Xively</i>	48
3.2.2	Comparativo das Soluções	48
3.2.3	FIWARE	49
3.2.3.1	<i>Gerenciamento de Informações de Contexto</i>	51
3.2.3.2	<i>Orion Context Broker</i>	52

3.2.3.3	<i>Cygnus</i>	53
3.2.3.4	<i>STH-Comet</i>	54
3.2.3.5	<i>IDAS Backend Device Management</i>	54
3.2.4	Rede de Sensores e Atuadores	54
3.3	PROCESSOS DECLARATIVOS	55
3.3.1	Comparativo das Soluções	58
3.4	PROCESSAMENTO DE EVENTOS COMPLEXOS (CEP)	58
3.5	RABBITMQ	60
3.6	EPANET	61
3.7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
4	PROPOSTA	65
4.1	METODOLOGIA APLICADA	65
4.2	ARQUITETURA REFLEX WATER	68
4.2.1	<i>Physical Layer</i>	69
4.2.2	<i>Middleware IoT Layer</i>	70
4.2.3	<i>Application Layer</i>	76
4.2.3.1	<i>REFlex Water Web</i>	76
4.2.3.2	<i>REFlex Water Mobile</i>	78
4.3	FUNCIONAMENTO DO REFLEX WATER	79
4.3.1	Definição das Regras do Processo de Negócio	79
4.3.2	Definição das Políticas de Gestão	80
4.3.3	Monitoramento das Políticas de Gestão e Envio de Alertas	82
4.4	EXTENSÃO EPANET-RWX	83
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	85
5	AVALIAÇÃO	86
5.1	ETAPA 1: ANÁLISE DOS COMPONENTES DA ARQUITETURA	86
5.1.1	Caracterização do Distrito	87
5.1.2	Base cadastral	88
5.1.3	Monitoramento do Sistema de Abastecimento de Água e Envio de Notificações de Alertas	88
5.1.3.1	<i>Cenário 1: Integração com EPANET</i>	89
5.1.3.2	<i>Cenário 2: Definição de Políticas Operacionais, Regras CEP e Envio de Alertas</i>	92

5.1.3.3	<i>Análise e Discussão dos Cenários 1 e 2</i>	93
5.2	ETAPA 2: ANÁLISE QUALITATIVA	94
5.2.1	Método	94
5.2.1.1	<i>Tipo da Pesquisa</i>	94
5.2.1.2	<i>Método Escolhido</i>	95
5.2.1.3	<i>Instrumento de Coleta de Dados</i>	95
5.2.1.4	<i>Técnica de Análise dos Dados</i>	97
5.3	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	97
5.3.1	Perfil dos Participantes da Pesquisa	97
5.3.2	Análises dos Participantes	98
5.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	107
6	CONCLUSÕES	109
6.1	LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS	111
6.2	PUBLICAÇÕES	112
	REFERÊNCIAS	114
	APÊNDICE A – CARTA DE APRESENTAÇÃO	122
	APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLA- RECIDO	123
	APÊNDICE C – TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA GRAVAÇÃO DE VOZ	125
	APÊNDICE D – ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA	126
	APÊNDICE E – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO DO REFLEX WA- TER	129
	APÊNDICE F – RECURSOS ADICIONAIS	132
	APÊNDICE G – ROTEIRO DE INSTALAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO FIWARE E MONGODB - MANUALMENTE	133

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta uma breve contextualização e motivação sobre os problemas e desafios encontrados em sistemas de abastecimento de água, além de destacar o emprego da Internet das Coisas (IoT) numa gestão inteligente com possibilidade de utilizar a tecnologia de processamento de eventos complexos (CEP) e processos declarativos nesses sistemas. Por fim, são apresentados os objetivos, contribuições e a forma como está estruturada esta tese.

1.1 CONTEXTO E MOTIVAÇÃO

O território brasileiro detém cerca de 12% da água doce total do mundo (LIMA, 2018; SALVINO, 2009). Um bem tão precioso necessita de uma gestão preventiva na preservação e qualidade evitando desperdícios nos sistemas de abastecimento de água.

No entanto, cerca de 40% da água que flui pelos sistemas brasileiros de abastecimento de água no Brasil é perdida (BRASIL, 2021). As perdas representam 7.144 piscinas olímpicas¹ de água potável por dia, gerando uma perda financeira acima de R\$ 12 bilhões a cada ano (BRASIL, 2021). Os motivos dessas perdas são diversos: vazamentos, erros de medição ou até mesmo furto de água.

Os sistemas de distribuição de água são desenvolvidos e operados para aprovisionar água suficiente para atender à demanda existente, além de fornecer operação contínua e estável. Portanto, é fundamental gerenciar cuidadosamente a transferência de água (KUSTERKO et al., 2018; ROSADO et al., 2020).

A Internet das Coisas (IoT) é uma tecnologia emergente, dinâmica, que utiliza a internet e integra várias tecnologias e soluções de comunicação para permitir a conectividade entre dispositivos físicos, pessoas e coisas/objetos (KIANI; SEYYEDABBASI, 2018; MOTLAGH et al., 2020; SINGH et al., 2020). Esta notável tecnologia abre oportunidades para o desenvolvimento de aplicações distintas para as chamadas Cidades Inteligentes (*Smart Cities*) (LAI et al., 2020).

Nesse contexto, a IoT pode ser uma ferramenta valiosa, pois permite a integração de múltiplas tecnologias, armazenando e analisando dados de diferentes fontes, e

¹ Uma piscina olímpica tem o equivalente a 1.890.000 litros de água (volume: $1.890m^3$)

coletando informações de contexto essenciais para otimizar e gerenciar o uso dos recursos hídricos e a qualidade do serviço.

A IoT, apesar de viabilizar novas oportunidades, traz também desafios, como heterogeneidade de dispositivos, escalabilidade, segurança e gerenciamento dos dados (PIRES et al., 2015). Alguns desses desafios já estão sendo superados com o reforço de ferramentas, como *frameworks*.

A literatura está repleta de definições de *framework*. Num âmbito entre teóricos o conceito se dá como, uma aplicação semiacabada que, muitas vezes, pode ser um sistema inteiro ou, às vezes, um subsistema (WIRFS-BROCK; JOHNSON, 1990; FAYAD; SCHMIDT, 1997). *Frameworks* podem ser classificados de diversas formas. Nesta tese, é adotada a classificação *Frameworks*² de aplicação proposta por Fayad e Schmidt (1997).

No que tange ao desafio do gerenciamento dos dados, o poder computacional para sistemas de análise de dados, pode não ser satisfatório, uma vez que os dados são disponibilizados através da rede. Nesse contexto, o grande fluxo de conjuntos de dados gerados por sensores IoT no sistema de abastecimento de água pode ser analisado e processado por Processamento de Eventos Complexos (CEP).

Além disso, lidar com o dinamismo da execução dos processos e atividades envolvidos no sistema de abastecimento de água, é uma tarefa complexa e desafiadora. Às vezes, o aumento imprevisto do volume de chuvas causa flutuações na execução das atividades operacionais do sistema de água. Tradicionalmente, os sistemas de abastecimento de água são fundamentados em processos de negócios imperativos (e.g., *Business Process Model and Notation* (BPMN) (OMG, 2020)). Assim, minimizando a resiliência frente a situações imprevistas, os gerentes devem prever todas as situações antecipadamente. Da mesma forma, a adaptabilidade que é essencial para os processos de gestão da água ficam comprometidos.

Nessa situação, a flexibilidade proporcionada pelos processos declarativos pode ser uma solução adequada para lidar com sistemas hídricos. O paradigma declarativo permite a execução de todas as atividades, desde que não seja explicitamente proibida na especificação do processo (PESIC, 2008). Dessa forma, garante que somente as atividades que não violem as políticas de gestão serão executadas. Em outras palavras, a execução das atividades do processo poderão ser alteradas de acordo com

² Neste trabalho o termo *framework* é usado como sinônimo de plataforma

a necessidade específica do sistema de abastecimento de água.

Esta pesquisa propõem o uso de CEP, que é capaz de lidar com a análise de grandes quantidades de dados em tempo real (GREZ; RIVEROS; UGARTE, 2019; RAHMANI; BABAEI; SOURI, 2021), identificando padrões e relacionamentos entre eventos distintos e processos declarativos, que proporciona maior liberdade na escolha das decisões operacionais.

Portanto, uma solução de IoT para gestão de água é essencial para monitorar regularmente parâmetros cruciais específicos do sistema de abastecimento de água, na identificação de potenciais problemas e auxiliando na condução de potenciais ações para reduzir o impacto sobre o sistema hídrico.

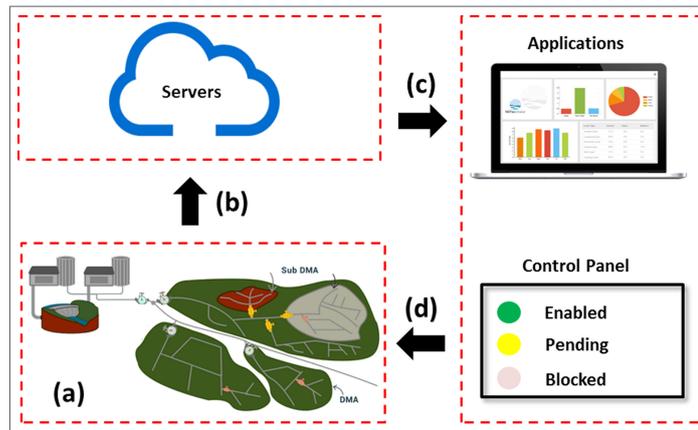
1.1.1 Cenário Motivador

Este trabalho ilustra parte de um sistema real de abastecimento de água (SAA) em funcionamento na cidade brasileira de Teresina como *real-world testbed*³. Contudo, em cenários reais pode ser aplicado em um contexto maior, isto é, em toda rede da operadora de água. O monitoramento das informações críticas como pressão, vazão e níveis de água nos tanques. Um conjunto de dispositivos de IoT instalados em tanques de abastecimento presentes na rede de água criam um fluxo contínuo de dados que são capturados. Os servidores processam os dados analisando o risco de perdas e interrupções no abastecimento de água. Caso essa possibilidade ocorra, os gestores de águas são notificados através de um alerta informando a situação. Além de que, problemas na rede de abastecimento podem acontecer em um curto espaço de tempo. Contextualizando o SAA para a proposta desta tese, a coleta, análise/processamento dos dados dos dispositivos de IoT e a tomada de decisão podem ser realizados, como ilustrado na Figura 1.

No cenário (a), sensores instalados no sistema de abastecimento de água coletam dados e enviam a plataforma de monitoramento. Em (b), os servidores na nuvem analisam e processam os dados dos sensores, a fim de identificar padrões recorrentes de anormalidades na rede de água. Em (c), os alarmes são acionados ao identificar anomalias; e em (d), os gestores de água atuam para resolver o problema, executando ações através do painel central de controle.

³ São ambientes controlados ou limitados para testar inovação em condições do mundo real

Figura 1 – (a) Coleta de dados; (b) Análise de dados; (c) Monitoramento (alarmes); (d) Ações.



Fonte: Do autor

1.1.2 Pergunta de Pesquisa

Baseado no cenário apresentado, pretende-se responder à seguinte pergunta de pesquisa (PP):

Como auxiliar no processo de gestão de sistemas de abastecimento de água para detecção de eventuais problemas que contribua na condução de iminentes ações para reduzir o impacto sobre o sistema hídrico com base nas tecnologias IoT, CEP e Processos Declarativos?

1.2 HIPÓTESE

Para responder a essa pergunta, foi feito um estudo na literatura para identificar trabalhos existentes que visassem o gerenciamento de sistemas de abastecimento de água e que utilizassem as tecnologias IoT, CEP e Processos Declarativos. Essa investigação teve intuito de buscar concepções que legitimassem a construção da proposta deste trabalho, conforme será discutido no capítulo seguinte.

1.3 OBJETIVOS

A atividade de coleta de dados realizada em uma cidade inteligente utiliza vários dispositivos eletrônicos e sensores. A manipulação eficiente de bens, recursos e servi-

ços é consequência do conhecimento obtido a partir desses dados. O conceito primário de IoT é estabelecido no desenvolvimento sustentável, conectando vários sistemas e participantes nas cadeias de abastecimento de água, como estações de tratamento, sistemas industriais de gerenciamento de água, instalações de distribuição. Nesse contexto, este trabalho propõe uma solução de IoT, chamado REFlex Water para auxiliar no processo de gestão de sistemas de abastecimento de água.

No que concerne aos objetivos específicos, apontam-se os seguintes:

- Propor uma arquitetura que reúne as tecnologias IoT, CEP e Processos Declarativos para gerenciar sistemas de abastecimento de água;
- Implementar uma *Proof of Concept* (PoC) de acordo com as definições arquiteturais proposta;
- Desenvolver um protótipo para avaliar cenários utilizando a PoC como base para demonstrar a aplicabilidade do REFlex Water;
- Avaliar, conjuntamente com os especialistas do setor de água, a adequação do REFlex Water ao sistema de abastecimento de água.

1.4 ESCOPO NEGATIVO

Embora o campo de aplicação de Internet das Coisas seja grande, não fizeram parte do escopo investigado desta pesquisa analisar ou resolver por questões restritivas de tempo os itens:

1. Questões sobre segurança de exploração de informações a dispositivos e sistemas de IoT.
2. Questões específicas de ataques a infraestrutura de IoT.

1.5 CONTRIBUIÇÕES

A principal contribuição desta tese é fornecer uma plataforma para gestão da água baseada em uma infraestrutura de IoT. Uma contribuição adicional é o uso de processos declarativos para representar as políticas de gestão da água. Esse paradigma de

modelagem de processos permite a implementação de políticas de controle comuns, mas também oferece a flexibilidade necessária para lidar com situações imprevistas. Outra contribuição é a integração com o simulador de redes de água pressurizada EPANET, que permite avaliar cenários em ambiente simulado antes de serem empregados na rede real.

1.6 ESTRUTURA DA TESE

No Capítulo 2, são apresentados os trabalhos relacionados a esta tese. Este capítulo está dividido em trabalhos relacionados que discorrem sobre medição inteligente, gerenciamento inteligente de água e processos de negócio declarativos, além da comparação dos trabalhos relacionados. O Capítulo 3 apresenta a fundamentação teórica relacionada a Sistemas de Abastecimento de Água (SAA), Internet das Coisas (IoT), Processos Declarativos, Processamento de Eventos Complexos (CEP) e as ferramentas RabbitMQ (mensageria) e EPANET (simulação de redes de água pressurizada). O Capítulo 4 apresenta a Metodologia e a Arquitetura proposta para criação do REFlex Water, descrevendo seus componentes e seu funcionamento e demais itens que o compõe. O Capítulo 5 apresenta a *Proof of Concept* (PoC) construída e as avaliações realizadas para avaliar o protótipo desenvolvido, visando os aspectos mais relevantes para serem observados nesta arquitetura, tais como: envio de alertas, definição de políticas de água, além disso, realiza uma análise qualitativa da percepção dos especialistas no uso do REFlex Water, tendo como base o modelo *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* (UTAUT). Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas Considerações Finais, Limitações, Trabalhos Futuros e Publicações alcançadas com essa pesquisa.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

O presente capítulo foi categorizado em quatro seções para facilitar a leitura. As seções Medição Inteligente, Gerenciamento Inteligente de Água e Processos de Negócio Declarativos agrupam alguns dos trabalhos presentes na literatura, relacionados à pesquisa desenvolvida e à seção que compara esses trabalhos.

Uma revisão da literatura sobre o uso de tecnologias IoT para gestão de água confirma que este tema tem sido o foco de uma série de trabalhos recentes. No entanto, esses trabalhos de pesquisa são, em grande parte, trabalhos de engenharia. Eles se concentram na própria infraestrutura de IoT para demonstrar e avaliar algumas possibilidades de implementação. Outros trabalhos abordam estratégias inovadoras para analisar a grande quantidade de dados gerados pelos sensores. Eles querem identificar padrões (e.g., vazamentos de água) por meio de tecnologias de *big data*, que geralmente apresentam um tempo de resposta elevado no contexto de sistemas de água. Portanto, mecanismos eficientes são necessários para controlar e operar esses sistemas, evitando incidentes indesejáveis.

O comportamento dinâmico dos sistemas de abastecimento de água exige flexibilidade para lidar com situações imprevisíveis. Ao mesmo tempo, é necessário manter um controle rígido para respeitar as políticas operacionais e estratégicas definidas pelas empresas gestoras de recursos hídricos. Este trabalho sugere o uso de processos de negócios declarativos para fornecer flexibilidade e controle nas operações dos sistemas de abastecimento de água. Para confirmar esses fatos, são apresentados a seguir as fases do processo de busca e seleção dos artigos relevantes da área de interesse baseado em [Garousi, Felderer e Mäntylä \(2019\)](#), segundo um protocolo, e um resumo dos principais trabalhos relacionados ao tema abordado nesta tese.

2.1 CONDUÇÃO DA PESQUISA

O passo inicial foi a formulação das questões de pesquisa, uma *string* inicial baseada nos artigos científicos do passo anterior, a definição de questões de qualidade e itens para extração.

Apoiando o objetivo principal desta pesquisa, a questão QP1 foi definida junta-

mente com itens a serem analisados.

QP1: Quais as principais características das técnicas (linguagens, ferramentas, frameworks, entre outros) que são utilizadas no apoio ao domínio de sistemas de abastecimento de água, IoT, CEP e processos declarativos?

Esta questão permite classificar os estudos por características. Foi obtido um conjunto de evidências sobre sistemas de abastecimento de água, processos declarativos, CEP e IoT, fomentando fundamentos e meios para seleção de estudos, indicando tendências na criação de novos estudos.

A *string* de busca é apresentada na Tabela 1. Essa *string* foi aplicada de acordo com o formato exigido por cada *engine* utilizada (Quadro 1), podendo sofrer adaptações em atendimento a execução do mecanismo de busca.

Tabela 1 – *String* de busca.

String de Busca
iot* AND (“smart water”OR “smart water metering”OR “smart water supply systems”OR “internet of things”OR “smart water distribution”OR framework OR middleware OR “Complex event processing”OR “smart cities”OR “reference architecture”OR “declarative process”OR “declarative business processes” OR “declarative process modelling”)

Fonte: Do autor

Quadro 1 – *Engine* de busca.

Engine de busca	Site
ACM	http://dl.acm.org
IEEE Xplore	http://ieeexplore.org
Science Direct	http://www.sciencedirect.com
Scopus	http://www.scopus.com

Fonte: Do autor

Para a seleção dos estudos foram considerados artigos relacionados a estudos primários, no idioma Inglês. Os critérios de inclusão e exclusão estão descritos adiante. São considerados artigos publicados em jornais, revistas, conferências e congressos, disponíveis nas bases científicas selecionadas e manualmente por indicação de autores.

Neste ponto, os artigos foram incluídos e/ou excluídos de acordo com os critérios abaixo:

- Estudos primários publicados a partir de 2015;
- Artigos que exponham resultados sem esclarecer os métodos utilizados;
- Artigos disponíveis apenas como resumos;
- Artigos incompletos;
- Artigos duplicados. Se identificado publicação mais de uma vez de um mesmo artigo, será considerada a versão mais completa.

As questões a seguir foram usadas para avaliar a qualidade dos estudos.

- Existe uma motivação para a realização do estudo?
- Os objetivos do estudo estão claramente apresentados?
- A abordagem, técnica ou tecnologia está especificada?
- Os resultados são apresentados e/ou debatidos?
- É criada uma plataforma, infraestrutura ou *framework*?
- A publicação apresenta exemplo ou caso de uso de aplicação?

As informações foram extraídas e guardadas em formulários. As informações armazenadas nestes formulários foram: título; ano; problemática do estudo e a solução proposta; resultados e referências pertinentes. Nas seções que seguem, os estudos selecionados são apresentados.

2.2 MEDIÇÃO INTELIGENTE

Esta seção apresenta os trabalhos relacionados à medição inteligente (*Smart Metering*). O conceito de medição inteligente compreende basicamente dois elementos: medidores para captura da informação e sistemas que permitem transmitir essas informações.

Tem-se verificado que o desperdício de água aumentou com o passar do anos. Como consequência, o abastecimento de água tem sido impactado. Nesse contexto, a busca por soluções de medição inteligente que promovam o gerenciamento do uso da água, a redução do desperdício e a identificação de quebras e vazamentos tem se intensificado.

Conforme apresentado em [Ray e Goswami \(2020\)](#), os autores propuseram um medidor inteligente de água baseado em IoT, computação em nuvem e algoritmos de aprendizagem de máquina, que integra sensor de fluxo de água e a plataforma *open-source* de IoT *ThingSpeak*, NodeMCU. Segundo os autores, a infraestrutura da solução é de baixo custo e os componentes utilizados são responsáveis por registrar, visualizar e analisar os padrões de fluxo de água. Os autores sinalizam que a solução pode ser aplicada em larga escala, os sensores fornecerão monitoramento em tempo real dos dados hidráulicos, controle automatizado, o modelo de aprendizado de máquina permite análises específicas para cada hidrômetro e geração de alarmes da plataforma em nuvem em caso de eventos como vazamentos de água ou uso excessivo. Na solução proposta nesta tese, coleta, visualização e análise de fluxo de água são contemplados. Além disso, é coberto também o monitoramento de bombas, válvulas, reservatórios e tanques de abastecimento, o que não é considerado na proposta dos autores.

Em [Slaný et al. \(2020\)](#), os autores criaram uma plataforma de medição inteligente do consumo de água e detecção de crises. O sistema implementado consiste em uma plataforma IoT modular baseada em um projeto de *Printed Circuit Board* (PCB), usando o padrão M2.COM, um modem LoraWAN e um gateway LoraWAN baseado na plataforma Raspberry Pi. Os autores destacam que a solução é de baixo custo, baixo consumo de energia, baixa complexidade e reflete os requisitos tecnológicos estratégicos das Cidades Inteligentes e Indústria 4.0. Os resultados demonstraram que, no teste realizado em laboratório, o método empregado para detecção de vazamento de água “fluxo noturno mínimo (MNF)” obteve uma taxa de acurácia de 95%.

[Luciani et al. \(2019\)](#) implementaram um sistema de monitoramento e processamento de consumo de água doméstico em tempo real, visando a identificação de vazamentos no nível do usuário. Um algoritmo baseado no método *Minimum Noise Fraction* (MNF) proposto, é capaz de identificar vazamentos e os dados são enviados por um medidor inteligente para a plataforma em nuvem. Segundo os autores, os re-

sultados obtidos mostraram que o algoritmo foi capaz de detectar vazamentos com precisão de 90%. Esses trabalhos focam o monitoramento de residências.

[Anandhavalli et al. \(2018\)](#) apresentaram uma solução para medição inteligente que calcula a taxa do fluxo e a quantidade de água consumida pelos clientes. O dispositivo transmite via conexão *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) os dados para nuvem que possibilita o monitoramento pela concessionária. Para concepção do dispositivo, foram utilizados o sensor de fluxo de água e o microcontrolador *NodeMCU* que permite a prototipagem de aplicações de IoT. Apesar da contribuição relevante do trabalho, este limitou-se à coleta do fluxo de água em apartamentos sem aprofundar em questões de análise de dados e/ou padrões de consumo.

Em [Suresh, Muthukumar e Chandapillai \(2017\)](#), foi proposto um sistema de medição inteligente de baixo custo e um aplicativo de leitura e diagnóstico para *smartphone*. Para os autores, com o emprego do sistema é possível reduzir despesas com manuseio de medidores, além de evitar o risco de adulteração dos contadores de água pré-pagos. No entanto, nada foi proposto considerando identificação de vazamentos. Em [Tzagkarakis et al. \(2020\)](#), foi implementado um mecanismo para compressão de dados aplicado a sistemas de gestão de água. Os resultados apresentados demonstram que a solução foi capaz de melhorar a eficiência energética em infraestruturas inteligentes de água.

[Kumar et al. \(2019\)](#) propuseram um sistema inteligente que liga e desliga automaticamente bomba de água residencial. O sistema monitora o nível de água do tanque residencial, coletando dados e enviando para nuvem. O foco do trabalho é monitorar continuamente o tanque de água, a fim de identificar vazamentos. Toda transferência de dados é realizada através do módulo GSM/GPRS (*Global System for Mobile Communications* (GSM)/*General Packet Radio Service* (GPRS)).

2.3 GERENCIAMENTO INTELIGENTE DE ÁGUA

A gestão de processos orientada à obtenção de resultados ([HUANG et al., 2018](#)) representa um instrumento que permite aproximar as diretrizes estratégicas para uma gestão eficiente. A Internet das Coisas surge nesse cenário como um paradigma inovador, que possibilita unir as diretrizes estratégicas com a obtenção dos resultados.

Alguns estudos se propõem a alcançar esses objetivos, como em [Kartakis, Abraham](#)

e McCann (2015), que desenvolveram um simulador de bancada de testes em pequena escala capaz de simular redes de água inteligentes. A solução permite a implantação de algoritmos de controle que detectam anomalias na rede (e.g., vazamentos). A fim de simular uma rede real de água, a estrutura criada combina componentes hidráulicos, hardware e software que, juntos, permitem a representação de cenários de vazamentos. Apesar do trabalho propor uma gestão e controle inteligente para redes de água, não é adotada nenhuma plataforma de *middleware* de IoT, como a utilizada nesta tese.

Panagiotakopoulos et al. (2021) propuseram uma estrutura de IoT baseada em FIWARE que visa realizar uma solução de software de código aberto baseada em padrões altamente flexível para o desenvolvimento de sistemas de água inteligentes. Os autores projetaram uma arquitetura composta por vários componentes de software FIWARE e dois *dashboard*. Eles avaliaram a estrutura por meio de um modelo digital de uma parte de uma rede de distribuição de água e utilizaram um conjunto de dados de simulação para mostrar a funcionalidade da proposta e os aspectos de visualização de dados. No contexto dos sistemas de abastecimento de água, é essencial compreender e identificar padrões de comportamento. Infelizmente, na avaliação realizada, isto não foi considerado.

Gade (2021) desenvolveu uma plataforma chamada *Intelligent Water Management System* (iWMS) de gerenciamento de água inteligente para as cidades inteligentes. A arquitetura do iWMS é modular e fornece uma camada de segurança baseada em *Blockchain*. Segundo o autor, a solução iWMS suporta todo o ciclo de funcionamento da gestão de água e reciclagem e pode ser facilmente integrada com outros serviços de Smart Cities. Os resultados revelam que o iWMS atende aos objetivos de economia de água por meio de operação automatizada e também por meio de reciclagem controlada de água. Nesta tese o monitoramento do processo de reciclagem de água não é considerado.

Shah (2017) implementou uma infraestrutura de IoT que inclui sensores de fluxo de água, válvulas de controle de água e um controlador de núcleo raspberry PI. Eles usam uma interface da *web* para monitorar e controlar o sistema de água para garantir uma distribuição igual de água para cada ponto de conexão. Esta solução é um típico trabalho de engenharia que demonstra a implementação prática da infraestrutura em um contexto específico.

Jadhav e Pingle (2016) desenvolveram um sistema automático para medir a qualidade da água em tempo real. O sistema usa os níveis de pH, turbidez e temperatura da água para determinar a qualidade da água. Os dados coletados são enviados para a central de monitoramento do GSM na forma de *Short Message Service* (SMS). Se a água não apresentar o nível de qualidade esperado, ela envia dados para a central de gerenciamento e dispositivos móveis. A solução é de baixo custo e não requer pessoal de plantão. No entanto, o trabalho se limita à medição da qualidade da água. Não aborda outros aspectos dos sistemas de abastecimento de água, como vazamento de água ou interrupção do abastecimento de água.

Karn et al. (2021) propuseram um sistema em tempo real usando IoT que usa regras CEP para monitorar regularmente parâmetros cruciais específicos de uma estação de tratamento de águas residuais e informa qualquer disfunção da estação ao operador. O estudo foi experimentado com a arquitetura *Smart Treatment* (SMARTreat) e sua aplicação em um sistema de água simples de uma propriedade industrial no sul da Índia. O trabalho é baseado em processos imperativos para controlar o comportamento da estação de tratamento. Portanto, os operadores devem antecipar todos os cenários operacionais, reduzindo a flexibilidade da solução.

Yang et al. (2016) propuseram uma aplicação inteligente para monitoramento em tempo real de sistemas de abastecimento de água baseado na tecnologia CEP para antecipar riscos e controlar dispositivos remotamente. Apesar de ter o objetivo de monitorar em tempo real, o trabalho não leva em consideração as características dos processos de gestão de água.

Em Miry e Aramice (2020), os autores propuseram um modelo de monitoramento da qualidade da água que é usado para testar amostras de água usando técnicas de fusão de sensores. Os dados são enviados e monitorados pelo *middleware* ThingSpeak. Quando são detectadas alterações nos parâmetros de qualidade da água, o sistema notifica às autoridades.

2.4 PROCESSOS DE NEGÓCIO DECLARATIVOS

Pesic et al. (2007) argumentam que substituir o paradigma imperativo pelo declarativo é essencial para tornar o gerenciamento de processos de negócios mais flexível. Os autores demonstraram que a adoção do paradigma declarativo pode (a) evitar

mudanças no processo de negócios para relaxar regras estritas, (b) fornecer suporte para mudanças no nível da instância (mudança *ad-hoc*) e tipo (mudança evolutiva), e (c) simplificar a distinção entre restrições obrigatórias e opcionais. O foco de seu trabalho não são os sistemas de gestão da água.

Em [Aa et al. \(2019\)](#), os autores propuseram uma abordagem automatizada para a extração de modelos de processos declarativos de linguagem natural. Destacam que outros processos de negócios, geralmente chamados de processos de negócios intensivos em conhecimento, são mais complexos. Suas ordens de execução não podem ser totalmente especificadas com antecedência. É o que ocorre nos sistemas de abastecimento de água. Por essa razão, tais processos são muito melhor capturados usando modelos de processos declarativos, uma vez que estes não dependem de uma definição explícita do comportamento permitido. Em vez disso, eles adotam restrições para definir os limites do comportamento do processo. Isso permite que modelos declarativos representem processos complexos de forma compacta.

[Leno et al. \(2020\)](#) aplicaram as técnicas de agrupamento em conjunto e de redescritção para resolver o problema de descobrir restrições que envolvam duas atividades do processo de modo que cada uma dessas duas atividades esteja associada a uma condição que deve ocorrer quando a atividade ocorrer. O trabalho demonstra que técnicas declarativas produzem modelos mais simples, particularmente para processos com alta variabilidade. Como contraponto, os modelos imperativos resultantes geralmente são muito complexos para serem usados na prática.

[Bocewicz et al. \(2022\)](#) propuseram uma metodologia baseada em modelagem declarativa para avaliar redes de distribuição em malha realizando fluxo de processos multimodais. Os autores empregaram o conceito de topologia de rede em grade para modelar, analisar e projetar redes de distribuição de suprimentos incorporando o paradigma de processos multimodais. O trabalho reforça os argumentos apresentados nesta tese: os processos empresariais de gestão da água devem proporcionar controle suficiente para respeitar as políticas definidas e flexibilidade para permitir que todas as ações não sejam restringidas por essas políticas.

No trabalho de [Smedt et al. \(2018\)](#), foi implementada uma solução automatizada para a extração de modelos de processos declarativos a partir de descrições textuais do processo. Os autores destacam a grande importância da solução, modelos de processos são um meio importante para capturar informações sobre as operações or-

organizacionais e muitas vezes representam o ponto de partida para a análise. Eles destacam que essa é a primeira abordagem que permite capturar efetivamente o comportamento de processos complexos de forma compacta. No cenário de abastecimento de água, em que esse sistema por natureza é complexo, isto se torna imprescindível. Os resultados alcançados no trabalho endossam o que esta tese propõe: o emprego do paradigma declarativo no contexto de sistemas de abastecimento de água.

2.5 COMPARAÇÃO DOS TRABALHOS RELACIONADOS

Esta seção apresenta um comparativo dos trabalhos correlatos apresentados em relação a esta tese. Os trabalhos relacionados tratam de medição inteligente, gerenciamento inteligente de água. A Tabela 2 apresenta a comparação dos principais trabalhos relacionados a esta tese, considerando plataforma adotada, aspectos monitorados, modelagem de políticas de gestão e tratamento de fluxos de eventos.

Os trabalhos abaixo, foram analisados em relação a esta tese sobre os aspectos já mencionados.

1. *IoT and Cloud Computing based Smart Water Metering System* (RAY; GOSWAMI, 2020).
2. *An Integrated IoT Architecture for Smart Metering Using Next Generation Sensor for Water Management Based on LoRaWAN Technology: A Pilot Study* (SLANÏ et al., 2020).
3. *Smart meter for water utilization using IoT* (ANANDHAVALLI et al., 2018).
4. *A novel smart water-meter based on IoT and smartphone app for city distribution management* (SURESH; MUTHUKUMAR; CHANDAPILLAI, 2017).
5. *An IoT-Based Smart Water Microgrid and Smart Water Tank Management System* (KUMAR et al., 2019).
6. *Waterbox: A testbed for monitoring and controlling smart water networks* (KARTAKIS; ABRAHAM; MCCANN, 2015).
7. *A FIWARE-based IoT Framework for Smart Water Distribution Management* (PANAGIOTAKOPOULOS et al., 2021).

8. *Reinventing Smart Water Management System through ICT and IoT Driven Solution for Smart Cities* (GADE, 2021).
9. *An internet of things based model for smart water distribution with quality monitoring* (SHAH, 2017).
10. *Automatic measurement and reporting system of water quality based on GSM* (JADHAV; PINGLE, 2016).
11. *An integrated approach for sustainable development of wastewater treatment and management system using IoT in Smart Cities* (KARN et al., 2021).
12. *Edge-centric Computing for Smart Water Supply: Management and Service* (YANG et al., 2016).
13. *Water monitoring and analytic based ThingSpeak* (MIRY; ARAMICE, 2020).
14. *Green smart technology for water (GST4Water): water loss identification at user level by using smart metering system* (LUCIANI et al., 2019).
15. *Quantifying the Computational Efficiency of Compressive Sensing in Smart Water Network Infrastructures* (TZAGKARAKIS et al., 2020).

Conforme pode ser visto, a Tabela 2 apresenta as características dos quinze trabalhos relacionados mais semelhantes a esta tese. As características de cada trabalho foram agrupadas quanto ao uso de *middleware*, métricas, modelagem e fluxo de eventos.

Dos quinze trabalhos elencados, três trabalhos relacionados adotaram regras CEP para monitorar a rede de abastecimento de água, nenhum trabalho descreveu o uso de um padrão para representação do processo de negócio, seis trabalhos adotaram plataformas de *middleware*, dois trabalhos relacionados destoaram nos aspectos monitorados. O trabalho proposto visa à criação de uma solução para gerenciar sistemas de abastecimento de água, que adota regras CEP em uma infraestrutura de IoT. Além disso, uma ferramenta de modelagem declarativa foi adotada para representar as políticas de gestão de água. Assim, após a revisão da literatura e com o melhor de nosso conhecimento, este é o primeiro trabalho a propor a aplicação de processos declarativos de negócios para a gestão de sistemas hídricos com base em uma infraestrutura IoT.

Tabela 2 – Trabalhos Relacionados

Trabalhos	Middleware	Métricas	Modelagem	Fluxos de eventos
(RAY; GOSWAMI, 2020)	sim	vazão, vazamento	não	triggers
(SLANÏ et al., 2020)	não	consumo, vazamento	não	não
(ANANDHAVALLI et al., 2018)	não	vazão	não	não
(SURESH; MUTHUKUMAR; CHANDAPILLAI, 2017)	não	vazão, vazamento	não	não
(KUMAR et al., 2019)	sim	nível, vazão, vazamento	não	não
(KARTAKIS; ABRAHAM; MCCANN, 2015)	não	nível, pressão, vazão, vazamento, energia	não	não
(PANAGIOTAKOPOULOS et al., 2021)	sim	nível, temperatura, pressão, vazão	não	não
(GADE, 2021)	não	pressão, pH, teor oxigênio, temperatura	não	SCADA
(SHAH, 2017)	não	vazão, pH, temperatura	não	não
(JADHAV; PINGLE, 2016)	não	vazão, pH, temperatura, turbidez	não	não
(KARN et al., 2021)	não	vazão, vazamento	não	CEP
(YANG et al., 2016)	não	nível, pressão, vazão, vazamento	não	CEP
(MIRY; ARAMICE, 2020)	sim	turbidez, sólidos solúveis	não	triggers
(LUCIANI et al., 2019)	sim	vazão, vazamento	não	não
(TZAGKARAKIS et al., 2020)	sim	energia	não	não
REFlex Water	sim	nível, pressão, vazão, vazamento	declarativa	CEP

Fonte: Do autor

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese utiliza IoT, CEP e Processos de Negócio Declarativos para desenvolvimento do REFlex Water. Através deste, foi criada uma solução que permita o gerenciamento inteligente de sistemas de abastecimento de água. Foi observado que os trabalhos relacionados propõem-se a criar soluções para gerenciamento inteligente de água, mas alguns focam apenas na coleta de dados, outros no processamento de dados e, ainda, aqueles que coletam e monitoram os dados. Porém, uma solução que contemplasse todos esses aspectos não foi identificada. Ademais, não foi verificada a utilização de processos declarativos em nenhum deles. Saliente-se que a união dessas tecnologias para gerenciamento de sistemas de abastecimento de água, proposta nesta tese, ocorreu porque cada uma delas apresenta propriedades de interesse (e.g. vazamentos, vazão, pressão, nível de água) para o setor de abastecimento de água e despertou o interesse em investigar com rigor científico os benefícios que a junção dessas tecnologias em uma solução única traria para o setor.

3 FUNDAMENTOS

Este capítulo apresenta os principais conceitos utilizados nesta tese. Inicialmente, abastecimento de água é introduzido, destacando Sistema de Abastecimento de Água (SAA), seus elementos, ciclo de vida da água e tipos de redes. Em seguida, expomos os fundamentos básicos da Internet das Coisas (IoT), *middleware* de IoT e processos declarativos utilizados nesta tese. Logo após, os conceitos sobre processamento de eventos complexos (CEP) e a linguagem *Event Processing Language* (EPL), que permite especificar padrões de eventos e inferir eventos mais abstratos a partir de eventos mais simples. Por fim, o serviço de mensageria RabbitMQ e o software de modelagem e simulação para redes de água pressurizada EPANET são apresentados.

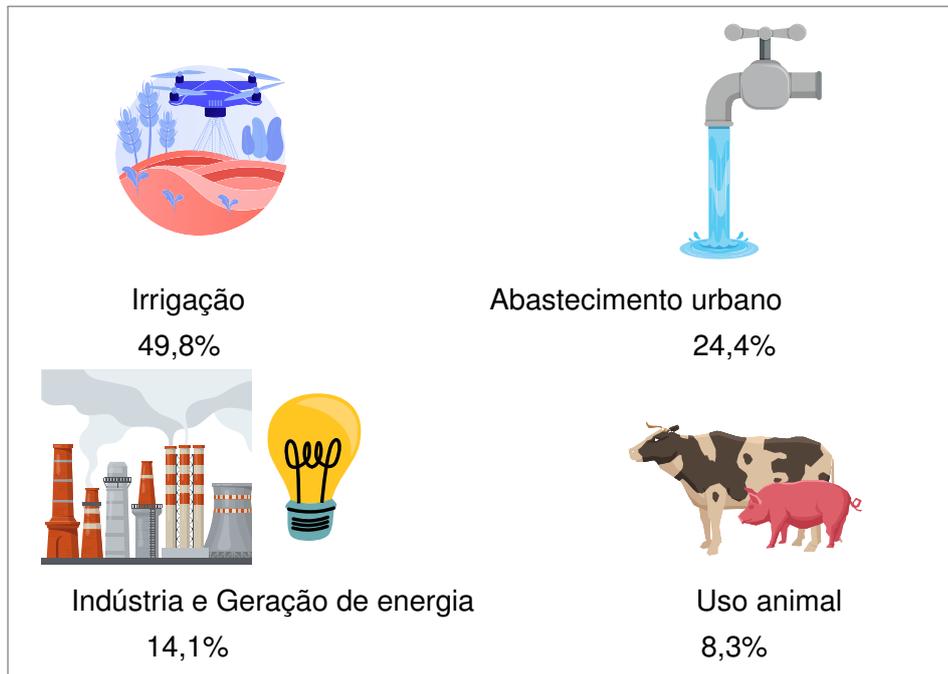
3.1 ABASTECIMENTO DE ÁGUA

No Brasil, a água é utilizada especialmente na irrigação, uso animal, geração de energia elétrica e indústria, abastecimento urbano e rural, mineração (ANA, 2019). Essa água utilizada é classificada em:

- Retirada: é o total de água captada na natureza para uso.
- Consumo: é a água que depois de retirada não retorna para a natureza.
- Retorno: por sua vez, é a porção da água retirada e usada que retorna para a natureza.

A Figura 2 apresenta o total de água retirada no País por segmento. Em termos de uso de água no Brasil, os maiores consumidores são irrigação (66,1%), uso animal (11,6%), indústria e geração de energia que, juntos, perfazem (9,8%) e abastecimento urbano (9,1%). Estima-se que a retirada de água tenha um incremento de 26% até 2030, consequência do desenvolvimento econômico e da urbanização que tem contribuído para o estresse hídrico ao longo dos anos (ANA, 2019).

Figura 2 – Águas no Brasil - total de água retirada (média anual 2018).



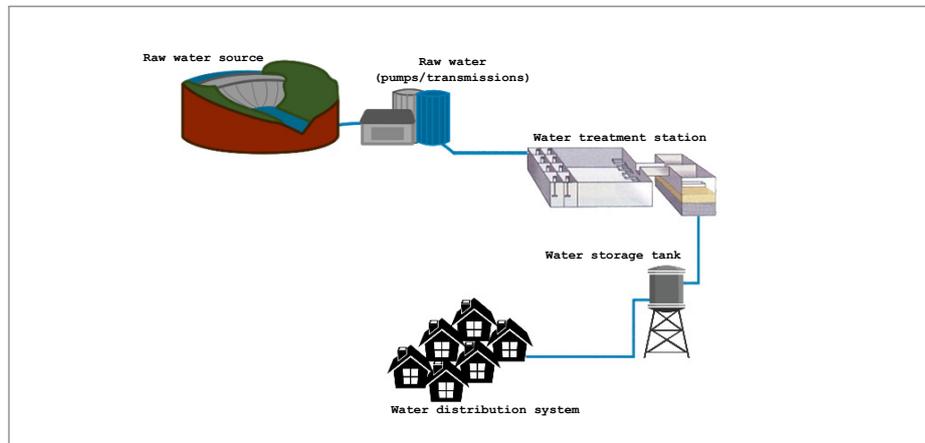
Fonte: ANA (2019). Imagens desenhadas por brgfx/Freepik.

Adicionalmente, antes de gerir os recursos hídricos, é preciso compreender o funcionamento dos Sistema de Abastecimento de Água (SAA).

3.1.1 Sistema de Abastecimento de Água (SAA)

O termo sistema de abastecimento de água denota um conjunto de componentes hidráulicos interligados para coletar água de rios e lagos, para aplicar procedimentos de tratamento de água e distribuí-la aos consumidores finais (SALVINO, 2009). A Figura 3 mostra um sistema de abastecimento de água.

Figura 3 – Ciclo de Vida da Água.



Fonte: Do autor

Um sistema de abastecimento de água convencional inclui os seguintes elementos:

- **Raw water source** (Fonte de água bruta): água encontrada no meio ambiente. Podem ser:
 - Superficial: constituído pelos corpos de água superficiais. São os rios, riachos, lagos, represas.
 - Subterrâneo: são os lençóis freáticos e artesianos. A água pode subir à superfície, sob a forma de fontes ou nascentes, ou ser elevada artificialmente por meio de bombas.
- **Raw water pumps** (Bombas de água bruta): conjunto de equipamentos e instalações para captação de água de rios e lagos.
- **Raw water transmissions** (Transmissões de água bruta): transporte de água bruta até as estações de tratamento de água. Podem ser classificadas em três tipos:
 - *por gravidade em conduto livre*: a água escoar sempre em declive, com superfície livre sob o efeito da gravidade. As tubulações não funcionam totalmente cheias.
 - *por gravidade em conduto forçado*: a pressão interna mantém-se permanentemente superior à pressão imposta pela gravidade para permitir que a água se mova em sentido descendente ou ascendente.

- *de recalque*: o local onde a água é captada está em um nível inferior, que não possibilita o escoamento da água por gravidade, sendo necessário o emprego de equipamento de recalque (i.e., conjunto moto-bomba e acessórios).
- **Water treatment station** (Estação de tratamento de água): infraestrutura para purificação de água instalada próxima aos pontos finais de entrega, para reduzir custos de bombeamento e diminuir a chance de nova contaminação após o tratamento.
- **Water storage tank** (Tanque de água): é um tanque de água instalado no topo de uma estrutura, a uma altura suficiente para pressurizar o sistema de distribuição de água.
- **Water distribution system** (Sistema de distribuição de água): conjunto de tubulações e válvulas interligadas para distribuição de água a eventuais consumidores.

Considerando o sentido de escoamento nos condutos e o desenho da rede de distribuição de água, as redes podem ser categorizadas como: **Redes Ramificadas, Malhadas e Mistas.**

- A rede é classificada como **ramificada** quando o abastecimento se faz a partir de uma tubulação tronco, alimentada por um reservatório ou através de uma estação de bombeamento, e a distribuição é feita diretamente para os condutos secundários, sendo conhecido o sentido da vazão em cada trecho. Usualmente, emprega-se esse tipo de rede de abastecimento para sistemas de irrigação e para pequenas comunidades.
- As redes **malhadas** são constituídas por tubulações principais que formam anéis ou blocos (malhas), de modo que, pode-se abastecer qualquer ponto do sistema por mais de um caminho, permitindo uma maior flexibilidade em satisfazer a demanda e manutenção da rede, com o mínimo de interrupção possível no fornecimento de água. Isto é possível devido à reversibilidade aplicável no sentido das vazões, em função da demanda.

- Uma rede é considerada **mista** quando une características presente nas redes ramificadas e malhadas.

3.2 INTERNET DAS COISAS - IOT

Na última década, o paradigma “Internet das Coisas (*Internet of Things* - IoT)” ganhou destaque no cenário de tecnologias de comunicação sem fio (PERERA et al., 2014; ATZORI; IERA; MORABITO, 2010). A ideia principal deste paradigma é a presença de uma variedade de objetos físicos à nossa volta, tais como sensores, atuadores que são incorporados na rede, carros, eletrodomésticos capazes de interagir e cooperar entre si e compartilhar dados (YASIN et al., 2021).

Os conceitos de computação pervasiva e ubíqua estão relacionados à IoT, na direção de que enfatiza a infraestrutura de rede dinâmica baseada em protocolos de comunicação (ALAM et al., 2021). Além disso, facilita o acesso e interação com uma grande variedade de dispositivos como, por exemplo, veículos, sensores de monitoramento, *displays*. O desenvolvimento de novas aplicações é fomentado pela IoT, gerando novos serviços personalizados para a sociedade.

A Internet das Coisas aplica-se em diversos domínios, como logística, agricultura, medição, cidades inteligentes, energia, transporte, saúde, devido à sua capacidade de sensoriamento que proporciona o desenvolvimento de tecnologias adaptáveis (RAMADHAN, 2020; ALAM et al., 2021). As características da IoT incluem uma grande rede de coisas, heterogeneidade de dispositivos e um grande número de eventos gerados por esses elementos (RAZZAQUE et al., 2016). Gerenciar tudo isso é um enorme desafio que a IoT precisa lidar. A IoT permitirá que todos os objetos em nossa volta estejam conectados à internet e que estarão em constante interação com outros objetos com o mínimo de intervenção humana, quiçá, nenhuma intervenção humana.

3.2.1 Middleware IoT

Um *middleware* é composto por uma camada abstrata de software que conecta as aplicações com a infraestrutura de TI (sensoriamento, comunicação e processamento) (AGARWAL; ALAM, 2020; BANDYOPADHYAY et al., 2011). A essência da Internet das Coisas é possibilitar que praticamente qualquer coisa esteja conectada e comu-

nique dados através de uma rede. O *middleware* é o responsável por permitir essa interação entre um grande número de dispositivos, fornecendo uma camada de conectividade para sensores e também para as camadas de aplicação, serviços que garantem a comunicação efetiva entre os softwares.

O desafio das plataformas de *middleware* de IoT é permitir que aplicações criadas possam combinar recursos do mundo físico e disponibilizá-los na web (PIRES et al., 2014). Para isso, alguns requisitos são fundamentais, conforme citados nos trabalhos de (BANDYOPADHYAY et al., 2011; CHAQFEH; MOHAMED, 2012; AGARWAL; ALAM, 2020; VAZ, 2017):

- **Gerenciamento e Descoberta de dispositivos:** refere-se à capacidade de identificar dinamicamente todos os dispositivos presentes no ambiente e os torne conhecidos para cada vizinho na rede. Ademais, faz-se necessário que o *middleware* possua mecanismos para gerenciar esses dispositivos, isto é, provê funcionalidades para alterar configurações, localizar e desconectar dispositivos.
- **Segurança:** o *middleware* deve garantir a segurança e a privacidade dos dados gerados pelos dispositivos e do próprio dispositivo. Dentre outros mecanismos, a utilização de protocolos de autenticação e permissões são empregados para atender esses aspectos.
- **Ciência de Contexto:** o contexto é responsável por caracterizar uma entidade que pode ser uma pessoa, um objeto ou um local, desde que seja identificado como relevante para a interação entre um usuário e uma aplicação. O *middleware* deve estar ciente do contexto, uma vez que é de sua responsabilidade coletar, gerenciar e processar informações advindas de diversas fontes.
- **Interoperabilidade:** refere-se à capacidade do *middleware* em compartilhar informações e usá-las em diversos domínios de aplicações através de diferentes interfaces de comunicação, arquiteturas e linguagens. A integração de dispositivos no contexto de IoT é um dos principais desafios encontrados pelas plataformas de *middleware*, uma vez que, diante do grande número de dispositivos encontrados, suas heterogeneidades perpassam em termos de *hardware*, *software*, formatos de dados e protocolos. Este último, em alguns casos, sendo proprietários. Terziyan, Kaykova e Zhovtobryukh (2010) apresentam uma classi-

ficação para a interoperabilidade em três categorias: rede, sintática e semântica. Na interoperabilidade de rede, são definidos os protocolos para troca de informações entre os diferentes dispositivos nas diferentes redes de comunicações. Já a interoperabilidade sintática trata do formato e estrutura da informação trocada entre os dispositivos. Por fim, a interoperabilidade semântica define as regras de entendimento do significado do conteúdo da informação, criando um modelo de informação específico do domínio.

- **Gerenciar grandes volumes de dados e Escalabilidade:** é parte que integra o *middleware* de IoT. Com o crescimento da quantidade de dispositivos que estarão presentes na rede e o enorme volume de dados que serão armazenados e/ou trocados entre dispositivos, é preciso que o *middleware* consiga atender à demanda de requisições que envolvam consultas, persistência, indexação, modelagem de processos e que consiga absorver de forma satisfatória em momentos de grande exigências de recursos. Esses dados podem ser, por exemplo, dados de identificação, ambientais ou históricos. Soluções baseadas em *Cloud Computing* e *Big Data* são tecnologias que apresentam-se como adequadas a serem empregadas para tratar esse volume gigantesco de dados.

No âmbito da IoT, existem diversas plataformas de *middleware* que vêm sendo utilizadas para criar aplicações inteligentes. Um grande conjunto desses *middlewares* foi exaustivamente analisado por diversos autores (VAZ, 2017; MINERAUD et al., 2016; PIRES et al., 2015; CRUZ et al., 2018; PALADE et al., 2018; GUTH et al., 2016) em relação aos requisitos supracitado para a IoT. Vaz (2017) analisou dez plataformas; Mineraud et al. (2016) realizaram uma compilação com trinta e nove plataformas de IoT; Pires et al. (2015) avaliaram onze *middlewares*; em Cruz et al. (2018), trinta e três plataformas foram analisadas; Palade et al. (2018) analisaram dez plataformas de IoT; e Guth et al. (2016) avaliaram quatro plataformas. Nos estudos, foram consideradas soluções *open source* e comerciais. Dentre o extenso conjunto avaliado, selecionamos cinco *middlewares* que são bastante citados na literatura: Altair SmartWorks (antigo Carriots), FIWARE, LinkSmart, OpenIoT e Xively.

3.2.1.1 *Altair SmartWorks*

É uma plataforma em nuvem (PaaS), que oferece serviços e recursos integrados que permitem conectar de forma simples coisas ao mundo digital. REST API (*Representational State Transfer (REST) Application Programming Interface (API)*) e Groovy SDK (*Software Development Kit (SDK)*) estão disponíveis para desenvolvimento de aplicativos da web. Suporta comunicação nos formatos de dados *Java Script Object Notation (JSON)* e *eXtensible Markup Language (XML)* com seu servidor.

3.2.1.2 *FIWARE*

É uma plataforma de código aberto baseada em nuvem para acelerar o desenvolvimento de aplicações inteligentes para a IoT ([GUTH et al., 2016](#)). A FIWARE visa estabelecer um ecossistema aberto de padrões públicos e livres de *royalties*. Sua API promove a integração de componentes e fornece a base para a interoperabilidade e replicação de soluções inteligentes ([FIWARE, 2021](#)). Além de usar modelos de dados padronizados *Smart Data Models* em combinação com APIs padrão para gerenciamento de dados *Next Generation Service Interfaces (NGSI)* e *NGSI-Linked Data (NGSI-LD)* e interoperabilidade de garantia de troca.

3.2.1.3 *LinkSmart*

É uma plataforma de *middleware* de código aberto, com infraestrutura distribuída orientada a serviços. Sua arquitetura distribuída permitiu a rede *Peer-to-peer (P2P)* fornecer interoperabilidade e segurança para as aplicações de IoT desenvolvidas. Disponibiliza uma interface web para gerenciamento dos dispositivos ([ZIVKOVIC, 2020](#)).

3.2.1.4 *OpenIoT*

É um *middleware* de código aberto, adaptável, que suporta configuração e implantação que permite obter informações de nuvens de sensores, sem ter que se preocupar com quais sensores são usados. OpenIoT explora maneiras eficientes de uso e gerenciamento de ambientes de nuvem e recursos de IoT (e.g., sensores e atuadores),

oferecendo serviços de IoT sob demanda (OPENIOT, 2021; ZIVKOVIC, 2020).

3.2.1.5 Xively

É uma plataforma de IoT desenvolvida pela LogMeIn e comprada pela Google em 2018. São fornecidos habilitação de aplicações e gerenciamento de dispositivos, além de fornecer suporte a comunicação com seu servidor (MINERAUD et al., 2016).

3.2.2 Comparativo das Soluções

As Tabelas 3 e 4 apresentam a aderência dos *middlewares* em relação aos requisitos da IoT. O marcador “●” refere-se às características suportadas, enquanto “⊖” indica que é parcialmente suportada e o “⊗” que não é suportada.

Tabela 3 – *Middlewares* de IoT (parte 1) - comparativo.

Middleware	Gerência de dados	Escalável	Interoperável
Altair SmartWorks	●	●	●
FIWARE	●	●	●
Linksmart	●	⊗	●
OpenIoT	●	●	●
Xively	●	●	●

Fonte: Do autor

Tabela 4 – *Middlewares* de IoT (parte 2) - comparativo.

Middleware	Ciência de Contexto	Segurança	Descoberta
Altair SmartWorks	⊖	●	●
FIWARE	●	●	●
LinkSmart	●	●	●
OpenIoT	⊗	●	⊗
Xively	⊖	●	●

Fonte: Do autor

Analisando as Tabelas 3 e 4, dentre as soluções apresentadas, todas atenderam aos requisitos de gestão de grandes volumes de dados, interoperabilidade e segurança. Ao contrário das demais soluções, LinkSmart não é escalável. Outras duas soluções, Altair SmartWorks e Xively, mostraram que atendem parcialmente ao requisito

ciência de contexto, enquanto a OpenIoT não dá suporte a esse requisito, além de não suportar descoberta de dispositivo. Como contraponto, a FIWARE foi a única solução que demonstrou atender aos requisitos essenciais da IoT (gerenciamento e descoberta de requisitos, segurança, ciência de contexto, interoperabilidade, gerenciamento de grandes volumes de dados e escalabilidade). Além disso, os componentes FIWARE possuem implementações que adotam os principais padrões abertos e interoperáveis através de modelos de dados padronizados formando assim, um ecossistema de negócios sustentável e orientado para a inovação. Nesta tese, FIWARE é adotada como plataforma de *middleware*. Na seção que segue, FIWARE será detalhada.

3.2.3 FIWARE

A plataforma FIWARE é um ecossistema sustentável aberto, construído em torno de padrões de software que fornece um conjunto de API bastante simples, que facilita o desenvolvimento de *Smart Applications* em vários setores verticais. As especificações dessas APIs são públicas e livres de *royalties*. Além disso, uma implementação de referência de código aberto de cada um dos componentes do FIWARE está disponível ao público para que vários provedores de FIWARE possam emergir mais rapidamente no mercado com uma proposta de baixo custo (FIWARE, 2018b).

A comunidade FIWARE não é formada apenas por colaboradores da tecnologia (a plataforma FIWARE), mas também por aqueles que contribuem para a construção do ecossistema FIWARE e para torná-lo sustentável ao longo do tempo. Dessa forma, indivíduos e organizações que assumem papéis relevantes nas atividades do FIWARE Lab ou atividades dos programas: *Lab*, *Accelerator*, *Mundus* ou *iHubs* (FIWARE, 2018b).

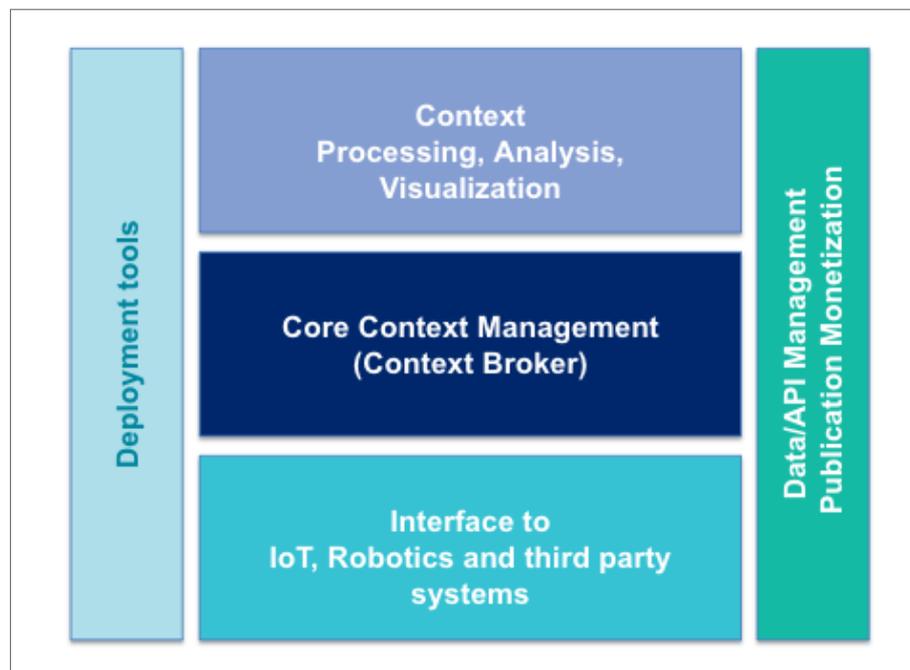
- *Lab*: é um ambiente de sandbox não comercial, em que a inovação e a experimentação baseadas em tecnologias FIWARE ocorrem. Empresários e indivíduos podem testar a tecnologia e seus aplicativos no FIWARE Lab, explorando o *Open Data* publicado por cidades e outras organizações. O FIWARE Lab é implantado em uma rede geograficamente distribuída de nós federados, aproveitando uma ampla gama de infraestruturas experimentais.
- *Accelerator*: o programa visa promover a adoção de tecnologias FIWARE entre integradores de soluções e desenvolvedores de aplicativos, com foco especial

em PMEs e *start-ups*.

- *Mundus*: o programa foi projetado para trazer cobertura a esse esforço, engajando atores locais de TICs e interessados no domínio, e eventualmente estabelecendo contatos com governos locais em diferentes partes do mundo, incluindo América do Norte, América Latina, África e Ásia.
- *iHubs*: o programa visa apoiar a criação e as operações dos nós iHubs em todo o mundo.

A Figura 4 descreve a arquitetura por trás da plataforma FIWARE que apresenta como elemento central o Orion Context Broker, na parte superior os sistemas de análise, processamento e visualização de informações de contexto. Além de na parte inferior provê a camada de interface com os dispositivos heterogêneos.

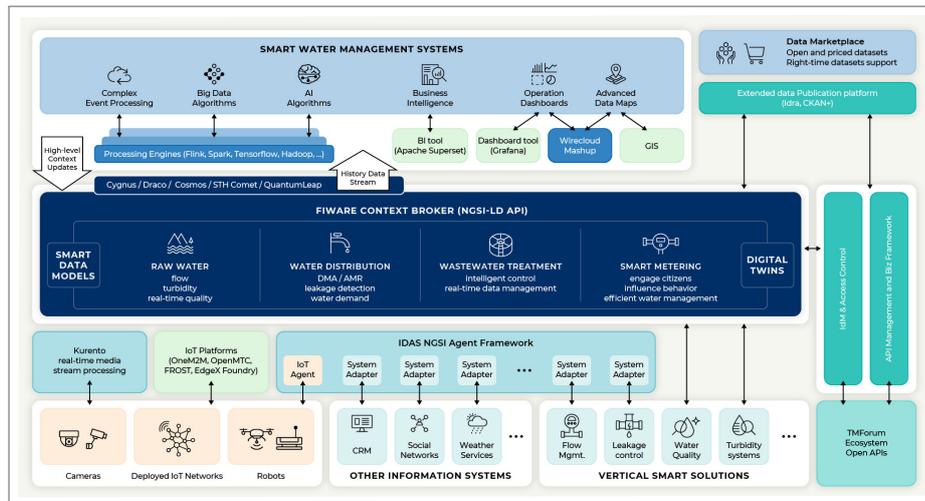
Figura 4 – FIWARE - arquitetura.



Fonte: FIWARE (2021)

No âmbito do gerenciamento de água, a FIWARE apresenta uma proposta de arquitetura para soluções de *Smart Water* baseada na arquitetura FIWARE conforme Figura 5.

Figura 5 – Arquitetura FIWARE para aplicações de IoT de *Smart Water*.



Fonte: FIWARE (2022)

A FIWARE contém uma rica biblioteca de componentes (FIWARE, 2018a) que compõe o núcleo da plataforma com implementações de referência, que permitem aos desenvolvedores colocar em prática funcionalidades como a conexão à Internet das Coisas ou a análise de *Big Data*, facilitando muito a programação.

Existem duas categorias de componentes: *Generic Enablers* (GE) e *Domain Specific Enablers* (DSEs). Os GEs oferecem várias funções de propósito geral (e.g., gerenciamento de informações de contexto), oferecidas por meio de APIs bem definidas, facilitando o desenvolvimento de aplicativos inteligentes em vários setores. Já os DSEs, inclui links para outros catálogos que trazem informações sobre facilitadores de domínio específicos (e.g., *eHealth*) para serem combinados com os GEs.

Os GEs da FIWARE mais utilizados em soluções de IoT são o Orion Context Broker, Cygnus, STH-Comet e IDAS *Backend Device Management*.

3.2.3.1 Gerenciamento de Informações de Contexto

O gerenciamento de informações de contexto garante acesso, uso, compartilhamento e gerenciamento abrangentes e integrados de dados em diferentes soluções. Ele gerencia as informações de contexto provenientes de dispositivos da IoT e outras fontes de dados públicas e privadas, fornecendo dados de contexto transversais e acesso por meio de uma interface uniforme (OASC, 2022).

As informações de contexto contêm informações de status abrangentes sobre en-

tidades do mundo real definidas de maneira estruturada com definições formais e fornecem funcionalidades para permitir o acesso a diferentes fontes de dados e analisar informações de contexto, por exemplo, para detecção de eventos.

Os aplicativos são capazes de descobrir as informações relevantes para seu contexto. Por exemplo, especificando o que é necessário e recuperando ou assinando essas informações solicitadas. Para compartilhar e reutilizar essas informações, existe um acordo sobre os conceitos, que pode ser fornecido por modelos de informações de dados.

É possível a descoberta e consulta de informação, tanto atual como histórica, também de forma geoespacial.

Os aplicativos podem assinar alterações de informações para que estejam sempre cientes do status atual e mais recente.

A implementação em (e até mesmo dentro) da cidade, ou qualquer ecossistema de aplicativos, pode ser muito diversa e heterogênea. Um acordo sobre as interfaces é necessário para poder acessar as informações. Isso é ativado pela API de gerenciamento de contexto e pelos modelos de informações de dados.

3.2.3.2 *Orion Context Broker*

O principal componente e obrigatório de qualquer plataforma ou solução “*Powered by FIWARE*” é o Orion Context Broker, um *broker* de contexto, que fornece funções fundamentais para qualquer solução inteligente: a necessidade de gerenciar informações de contexto, incluindo atualizações, consultas, registros, assinaturas e uma interface do modelo de dados NGSI (FIWARE, 2018a; TELEFÓNICA, 2021).

NGSI é a API exportada pelo *broker* de contexto, usada para a integração de componentes dentro de uma plataforma baseada em FIWARE e por aplicações para atualizar ou consumir informações de contexto (FIWARE, 2018a) definidas pela OMA (*Open Mobile Alliance*) (ALLIANCE, 2022) que provê o uso de mensagens nas especificações NGSI-9 e NGSI-10 (TELEFÓNICA, 2021).

A API recebe as denominações NGSIv1 e NGSIv2, agora alinhadas com o padrão ETSI NGSI-LD (INSTITUTE, 2022) que possibilita o desenvolvimento de aplicações em conformidade com modelos de dados padronizados em domínios distintos, como: *Smart Water, Smart AgriFood, Smart Cities, Smart Energy e Smart Industry* (FIWARE,

2021).

Os modelos de dados são fundamentais porque definem os formatos de representação harmonizados e a semântica que serão usados pelas aplicações para consumir e publicar dados. O conselho de modelos de dados inteligentes formado pela FIWARE Foundation, TM Forum, OASC e IUDX lidera um programa de colaboração conjunta para apoiar a adoção de uma arquitetura de referência e modelos de dados comuns compatíveis que permitam soluções inteligentes interoperáveis e aplicáveis em vários setores (MODELS, 2022).

Assim, o funcionamento básico do Orion é o de consultar no Consumidor de Contexto as informações fornecidas pelo Produtor de Contexto. O Orion cria as entidades de contexto, o Produtor de Contexto atualiza as entidades e atributos, e o Consumidor de Contexto consulta as informações de contexto, podendo subscrever às mudanças de contexto para ser notificado assincronamente sempre que uma informação de contexto sofrer alteração.

Adicionalmente, para que as informações de contexto sejam armazenadas o Orion Context Broker utiliza um banco de dados MongoDB acoplado a ele. Para este propósito, conectores de dados estão disponíveis, como o Cygnus ou o STH-Comet (FIWARE, 2022).

Ademais, Orion implementa um modelo *multitenant/multiservice* para facilitar as políticas de autorização baseadas em serviço/inquilino fornecidas por outros componentes FIWARE ou software de terceiros (FIWARE, 2022).

3.2.3.3 Cygnus

Cygnus (mais especificamente, agente cygnus-ngsi) desempenha o papel de um conector entre o Orion Context Broker (que é uma fonte de dados NGSi) e muitos armazenamentos FIWARE, como CKAN, Cosmos BigData (Hadoop) e STH-Comet, criando uma visão histórica do contexto. Internamente, o Cygnus traz os meios para gerenciar o histórico de contexto que é criado como um fluxo de dados que pode ser injetado em vários coletores de dados, incluindo alguns bancos de dados populares como PostgreSQL, MySQL, MongoDB ou AWS DynamoDB, bem como outras plataformas de BigData como Storm, Spark ou Flink (FIWARE, 2022).

3.2.3.4 *STH-Comet*

É responsável por gerenciar (armazenar e recuperar) informações de contexto de séries temporais brutas e agregadas históricas sobre a evolução no tempo dos dados de contexto (ou seja, valores de atributos de entidade) registrados em uma instância do Orion Context Broker. Todas as comunicações entre o STH e o Orion Context Broker, bem como entre o STH e qualquer terceiro (normalmente para recuperação de dados), usam interfaces NGSIv1 padronizadas. O STH-Comet traz os meios para armazenar um histórico de curto prazo de dados de contexto (normalmente meses) no MongoDB (FIWARE, 2018a; FIWARE, 2022).

3.2.3.5 *IDAS Backend Device Management*

Vários GEs estão disponíveis, facilitando a interface com a IoT, Robôs e sistemas de terceiros com a finalidade de coletar informações valiosas de contexto ou acionar ações em resposta a atualizações de contexto. O GE IDAS oferece uma ampla gama de IoT Agents facilitando a interface com dispositivos usando os protocolos IoT mais amplamente utilizados (LWM2M sobre CoaP, JSON ou *UltraLight* sobre HTTP/MQTT, OPC-UA, Sigfox ou LoRaWAN) (FIWARE, 2022).

3.2.4 **Rede de Sensores e Atuadores**

Sensores são dispositivos autônomos capazes de detectar e monitorar as características do ambiente ou de outros objetos, como temperatura, umidade, movimento, nível e quantidade (AGARWAL; ALAM, 2020). Quando vários sensores são usados juntos e interagem e ainda possuem a capacidade de transmissão sem fio de dados coletados de um meio, eles são chamados de Redes de Sensores Sem Fio (RSSF). As RSSF contêm os próprios sensores e também podem conter *gateways* que coletam dados dos sensores e passam para o servidor (ALAM et al., 2021).

Enquanto os sensores “detectam” o estado de um ambiente ou objeto, os atuadores executam ações para afetar o ambiente ou o objeto de alguma forma. Atuadores podem afetar o ambiente emitindo som, luz, ondas de rádio ou até mesmo desligando equipamentos. Esses recursos são uma maneira que permite os objetos de IoT pode-

rem se comunicar com as pessoas.

Os atuadores são frequentemente usados em combinação com sensores para produzir redes de sensores e atuadores (AGARWAL; ALAM, 2020; RAMADHAN, 2020; ALAM et al., 2021). Um exemplo do uso de sensores e atuadores em um sistema de abastecimento de água seria: uso de um sensor para detectar o nível de água em um reservatório de armazenamento de água e um atuador para acionar o desligamento de uma bomba quando o reservatório atingisse seu nível máximo, prevenindo o transbordo do reservatório. Assim, a combinação de sensores e atuadores pode permitir que os objetos estejam simultaneamente conscientes de seu ambiente e interajam com as pessoas, ambos objetivos da IoT.

3.3 PROCESSOS DECLARATIVOS

Ao contrário dos processos imperativos, o conceito declarativo define um conjunto de regras restritivas. Desde que os usuários respeitem essas regras, eles são livres para escolher como executar o processo (PESIC; AALST, 2006). Na direção oposta, os processos imperativos especificam como os usuários devem executar as regras, informando todas as dependências possíveis entre as tarefas. Essa diferença é fundamental para processos declarativos em ambientes de incerteza e mudança constante como no campo da gestão da água.

Os elementos básicos pertencentes a esta abordagem são: atividades e restrições. Atividade refere-se à ação que atualiza o estado do processo e pode ser executada por recursos (pessoas, um sistema). A restrição, refere-se a uma regra de negócio que deve ser considerada durante toda execução do processo. Assim, a execução de uma atividade está autorizada, a menos que seja proibida pela regra de negócio. Nesse caso, a execução do processo é conduzida pelas restrições: tudo o que não viola uma restrição é habilitado para execução (LAURENT et al., 2014).

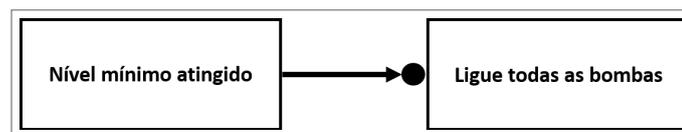
Na literatura, são identificadas propostas de *frameworks* para modelagem e execução de processos declarativos (PESIC, 2008; HILDEBRANDT; MUKKAMALA, 2011; SILVA et al., 2013). Outros trabalhos (SCHÖNIG; JABLONSKI, 2016; BURKHART; LOOS, 2010; GOEDERTIER; VANTHIENEN; CARON, 2015) focam na avaliação da expressividade dessas abordagens. Dentre os estudos, foram observadas citações recorrentes a duas abordagens principais *DECLARE* e *Dynamic Condition Response (DCR) Graphs*. No pre-

sente trabalho outro *framework* é incluído, *REFlex Rule Engine*. A razão da inclusão deve-se ao fato de ter sido desenvolvido e ser mantido pela UFPE, o que nos dá um domínio total da implementação. Ademais, o *REFlex* implementa um mecanismo que identifica regras conflitantes.

A seguir, apresentamos uma visão geral dos três *frameworks* declarativos e comparamos suas abordagens.

- *DECLARE*, proposto por [Pestic, Schonenberg e Aalst \(2007\)](#), é um *framework* para apoiar modelos de processos declarativos que utiliza *ConDec* ([PESIC, 2008](#)) como linguagem declarativa para definir as restrições e o formalismo Lógica Temporal Linear (LTL) para representar internamente os processos de negócio. A interface gráfica do usuário permite o acompanhamento da execução do processo. No *DECLARE*, todos os caminhos possíveis são gerados, ocasionando a limitação do processo de negócio em tamanho e complexidade. Modelos de processo podem ser traduzidos em um formato lógica validada e executável ([SCHÖNIG; JABLONSKI, 2016](#)). Um exemplo é a regra “ligue todas as bombas, se nível mínimo atingido”, capturada pela precedência das atividades “nível mínimo atingido” e “ligue todas as bombas”. Ademais, *DECLARE* provê uma representação gráfica das regras. A precedência é ilustrada por uma seta com um ponto, conforme visualizado na Figura 6.

Figura 6 – *DECLARE* - acionamento de uma bomba.

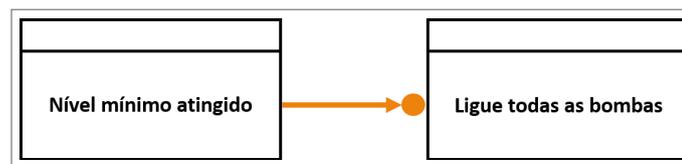


Fonte: Do autor

- *DCR Graphs*, concebido por [Hildebrandt e Mukkamala \(2011\)](#), utiliza uma estrutura baseada em grafos para especificar as regras do processo. O estado do processo é controlado em tempo de execução. O modelo gráfico de eventos e regras está associada a *DECLARE* ([SCHÖNIG; JABLONSKI, 2016](#)). Contudo, pode assumir apenas 4 tipos para representar modelos de regras, quantidade inferior do que em *DECLARE* ([HILDEBRANDT; MUKKAMALA, 2011](#); [SCHÖNIG; JABLONSKI, 2016](#); [SILVA et al., 2013](#)). Porém, a expressividade alcançada pelo *DCR Graphs* nos modelos gráficos é a mesma que no *DECLARE*. Outra característica de

DCR Graphs é não depender da LTL (SCHÖNIG; JABLONSKI, 2016). Assim como em *DECLARE*, *DCR Graphs* não provê um mecanismo para tratar situações indesejadas na execução do processo (e.g., uma atividade pendente ser removida antes de ser executada). No entanto, diferente de *DECLARE*, que gera todos os caminhos possíveis de execução, este atualiza dinamicamente o estado do processo para a próxima execução não necessitando gerar todos os caminhos possíveis (HILDEBRANDT; MUKKAMALA, 2011; SCHÖNIG; JABLONSKI, 2016; SILVA et al., 2013). Além disso, possui uma versão web que permite acompanhar o fluxo de execução do processo. A notação gráfica de *DCR* é apresentada na Figura 7, que modela o acionamento de uma bomba. A dependência existente entre as atividades “nível mínimo atingido” e “ligue todas as bombas” é modelada através da regra de condição equivalente a precedência do *DECLARE*.

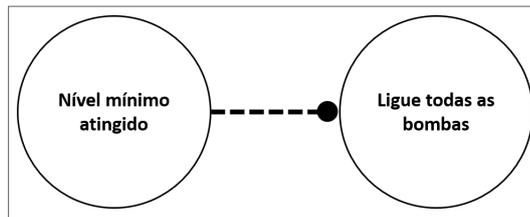
Figura 7 – *DCR Graphs* - acionamento de uma bomba.



Fonte: Do autor

- *REFlex Rule Engine*, criado por Silva et al. (2013), oferece um mecanismo que em tempo de execução é capaz de verificar regras definidas e controlar a execução do processo sem a necessidade de gerar todos os caminhos de execução possíveis. Além disso, provê orquestração de serviços web (COÊLHO, 2017; SILVA et al., 2013). *REFlex* usa *ConDec* como linguagem declarativa. Além disso, implementa um mecanismo capaz de identificar regras conflitantes. Dessa forma, a orientação dinâmica da execução do processo realizado pelo *REFlex* previne a ocorrência das situações de conflito. Todavia, a interface do usuário disponível é simples e limitada. A Figura 8 é a representação gráfica, modelada em *REFlex* do exemplo anterior. A relação de dependência entre as atividades “nível mínimo atingido” e “ligue todas as bombas” se dá através da regra de bloqueio temporário equivalente à regra de condição (*DCR Graphs*) e precedência (*DECLARE*).

Figura 8 – REFlex - acionamento de uma bomba.



Fonte: Do autor

3.3.1 Comparativo das Soluções

Ambos, *DECLARE* e *REFlex*, utilizam *ConDec* para especificar o comportamento do processo. Diferente do *DECLARE*, que gera todos os estados de execução possíveis, tanto *REFlex* quanto *DCR Graphs* lidam com atualizações dinâmicas, dispensando a necessidade de gerar todos estados possíveis. Por outro lado, *DCR Graphs* e *DECLARE* não são capazes de identificar regras conflitantes que podem ocasionar efeitos indesejados no estado global do processo. *REFlex* implementa esse mecanismo, que garante a execução de caminhos seguros, ou seja, o término correto do processo é sempre garantido. O problema da limitação da interface do usuário do *REFlex*, quando comparado com *DCR Graphs* e *DECLARE*, pode ser vencido com uso do Web-REFlex: uma ferramenta web, proposta por [Coêlho \(2017\)](#), que possibilita a utilização de informações contextuais global do processo para enriquecer a tomada de decisão. Adicionalmente, a limitação em modelar processos de grande escala no *DCR Graphs* e *DECLARE* não está presente no *REFlex*.

Com base no exposto, *REFlex Rule Engine* é adotado como ferramenta de modelagem e execução de processos declarativos, visto que consegue lidar com situações imprevisíveis, o que é imprescindível no contexto de gestão de água. Todavia, é possível adotar outra ferramenta de modelagem declarativa para uso com o *REFlex Water* (e.g., *DECLARE*).

3.4 PROCESSAMENTO DE EVENTOS COMPLEXOS (CEP)

O processamento de eventos complexos (CEP) é uma tecnologia de captura e análise de fluxos de eventos de entrada com o objetivo de identificar padrões de comportamento em tempo real ([FARDBASTANI; SHARIFI, 2019](#)). A entrada pode ser o fluxo

de dados (*streams*) produzidos por um sensor ou quaisquer outros dados. Um evento é qualquer dado que entra no sistema ou é detectado por ele (WAGNER et al., 2010; ALVAREZ; MORALES; KRAAK, 2019).

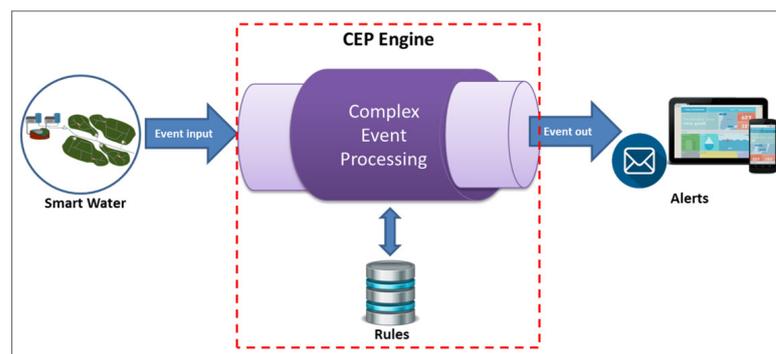
Ao contrário dos sistemas gerenciadores de banco de dados (SGBD), que realizam consultas em dados armazenados, o CEP executa dados em consulta armazenada. Dados sem representatividade para a consulta CEP podem ser descartado no mesmo instante.

No contexto de sistemas de gestão de água, pode-se usar o CEP para analisar fluxos de dados de eventos em (tempo real ou históricos) de pressão e volume de vazão de água em tubulações, para identificar padrões de vazamento de água e antecipar acidentes (BUCHMANN; KOLDEHOFE, 2009).

Um conjunto de regras CEP especifica cada padrão. A função do padrão é determinar como os eventos de entrada serão processados para extrair informações relevantes (MORARU; MLADENIĆ, 2012). Uma regra define filtragem, agregação, correlação e transformação de fluxos de dados.

A Figura 9 ilustra a arquitetura do CEP. O mecanismo CEP recebe os fluxos de eventos de entrada (*Event input*) e aplica as regras CEP para identificar padrões predefinidos. Assim que um padrão é reconhecido, o mecanismo CEP cria um evento composto (*Event out*) e envia um alerta para notificar os operadores humanos ou outros sistemas.

Figura 9 – Arquitetura de um sistema CEP.



Fonte: Do autor

As regras do CEP são consultas para realizar filtragem, agregação, correlação e transformação de fluxos de dados. A linguagem adotada para definir esses padrões deve ter a capacidade de especificar relacionamentos complexos entre eventos envi-

ados para o mecanismo CEP (MORARU; MLADENIĆ, 2012). Os eventos geralmente são categorizados como simples ou compostos. Um evento simples refere-se ao dado enviado para o mecanismo CEP e que não é a combinação de outros eventos. Um evento composto é o resultado do processamento de eventos simples pelo mecanismo CEP.

Este trabalho adota a EPL, uma linguagem SQL-padrão para especificar as regras CEP (ESPERTECH, 2021). Cada regra CEP define uma política de gestão de água existente. Por exemplo, a regra do Código Fonte 1 verifica se a pressão é superior a um limite crítico num intervalo de 15 minutos.

Código Fonte 1 – Regra CEP - pressão nível crítico.

```
1 SELECT *,ev.Pressure? as idPressure, "levelMax" as ruleName
   FROM pattern [every ev=iotEvent(cast(cast(Pressure?,String),float)>=5
3 AND type="Tank")].win:time(15 minute)
```

Fonte: Do autor

Além das regras de gestão de água, este trabalho utiliza as regras do CEP para identificar situações indesejáveis, como redução rápida do nível de água no reservatório de água, ou nível crítico de água (muito alto ou muito baixo), e enviar um alerta para gestores de água para relatar o padrão.

3.5 RABBITMQ

É um agente de mensagens *open-source* que define como as mensagens devem ser enfileiradas, roteadas e entregues de maneira confiável e segura (RABBITMQ, 2021). Desenvolvido na linguagem Erlang (ERLANG, 2021), possui recursos que visam a uma maior escalabilidade, bem como um sistema de cluster que garante uma alta disponibilidade do intermediador de mensagens. Além disso, possui um sistema de plugins que permite estender suas funcionalidades (RABBITMQ, 2021).

RabbitMQ suporta nativamente o protocolo de mensagem *Advanced Message Queuing Protocol* (AMQP) na versão 0-9-1 (RABBITMQ, 2021) e através de plugins a versão AMQP e os protocolos *Simple Text Oriented Messaging Protocol* (STOMP) (STOMP, 2021), *Message Queue Telemetry Transport* (MQTT) (MQTT, 2021), *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) (BELSHE; PEON; THOMSON, 2015).

Para simplificar o desenvolvimento de aplicações, RabbitMQ fornece vários tipos de troca prontos para uso, como segue (TOSHEV, 2015; VIDELA; WILLIAMS, 2012):

- **direct exchange**: entrega uma mensagem com base em uma chave de roteamento fornecida no cabeçalho da mensagem (as ligações já devem estar definidas entre a troca direta e a fila).
- **fanout exchange**: envia uma mensagem a todas as filas que estão vinculadas à troca; pode ser usado para estabelecer um mecanismo de transmissão para a entrega de mensagens às filas.
- **topic exchange**: entrega a mensagem às filas com base em um filtro de roteamento especificado entre a *topic exchange* e as filas; pode ser usado para estabelecer um mecanismo multicast para a entrega de mensagens.
- **headers exchange**: pode ser usado para entregar mensagens às filas com base em outros atributos de cabeçalho de mensagem (e não na chave de roteamento).

Ademais, o RabbitMQ provê uma API com implementação suportada por diversas linguagens de programação, tais quais: C#, Elixir, Go, Java (Android), JavaScript, Objective-C, PHP, Python, Rubby, Swifit, Spring AMQP ([RABBITMQ, 2021](#)).

3.6 EPANET

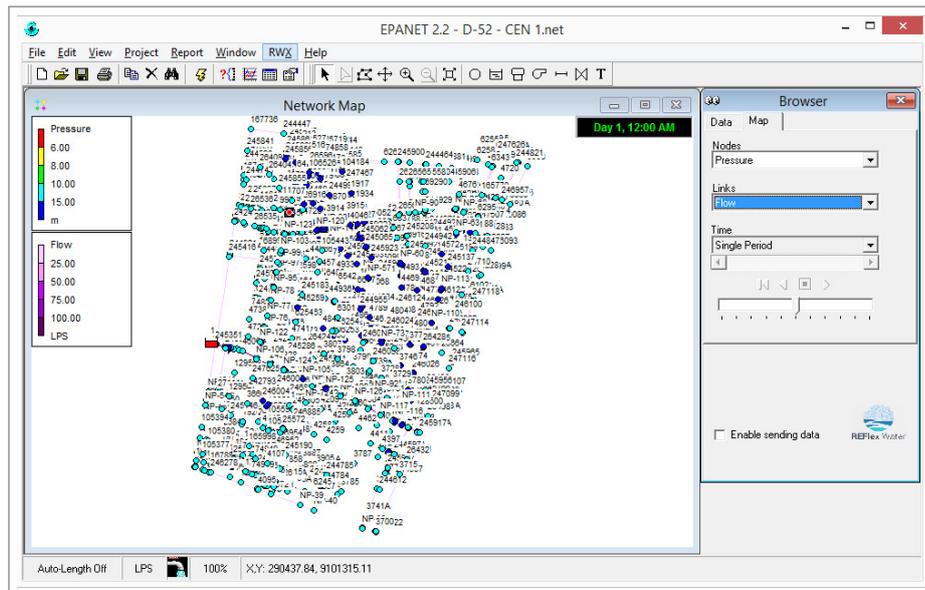
É um software de modelagem hidráulica e da qualidade da água criado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*United States Environmental Protection Agency* (EPA)) para simular diversas condições operacionais durante um determinado período de funcionamento. De código aberto em colaboração com a comunidade *OpenWaterAnalytics*¹, a versão EPANET 2.2 possibilita que qualquer usuário modifique ou estenda suas funcionalidades ([EPA, 2021](#)).

EPANET possui ferramentas que permitem executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e da qualidade da água de redes pressurizadas, edição de dados de entrada e de propriedades da rede, visualização dos resultados de análise em vários formatos, incluindo, um editor de rede visual que simplifica o processo de construção de modelos de rede de distribuição de água ([ROSSMAN et al., 2020](#)).

¹ Open Water Analytics disponível em: <http://wateranalytics.org/>

As redes são formadas por tubos, nós (junções de tubos), bombas, válvulas, tanques e/ou reservatórios de armazenamento de água (Figura 10). O EPANET rastreia o fluxo de água em cada tubulação, a pressão em cada nó, a altura da água em cada tanque ou reservatório de toda a rede durante o período de simulação (ROSSMAN et al., 2020; EPA, 2021).

Figura 10 – EPANET - tela inicial.



Fonte: Do autor

O pacote de análise hidráulica de tempo do EPANET permite:

- Simular sistemas de qualquer tamanho;
- Calcular a perda de carga usando as fórmulas de Hazen-Williams, Darcy Weisbach ou a de Chezy-Manning;
- Incluir pequenas perdas de carga para curvas e alargamento;
- Modelar bombas de velocidade constante ou variável;
- Calcular energia e custo de bombeamento;
- Modelar vários tipos de válvulas, incluindo desligamento, controle, regulação de pressão e controle de fluxo;
- Considerar múltiplas categorias de demanda em nós, cada um com seu próprio padrão de variação de tempo;

- Modelar vazão dependente da pressão de dispositivos emissores (e.g., aspersores de irrigação);
- Operar sistema base no nível simples do tanque, controles temporizados ou controles complexos baseados em regras.

O analisador de qualidade da água da EPANET pode ser usado para o seguinte:

- Modelar o movimento de um material de rastreamento não-reativo através da rede ao longo do tempo;
- Modelar o movimento e o destino de um material reativo à medida que cresce (e.g., um subproduto de desinfecção) ou decaências (e.g., resíduos de cloro) ao longo do tempo;
- Modelar a idade da água em toda a rede;
- Acompanhar a porcentagem de fluxo de um determinado nó, atingindo todos os outros nós ao longo do tempo;
- Reações modelo tanto no fluxo maior quanto na parede do tubo;
- Permitir que as reações de crescimento ou de decaimento prossigam até uma concentração limitante;
- Usar coeficientes de taxa de reação globais que possam ser modificados de acordo com a tubulação;
- Permitir uma concentração ou entradas de massa variáveis no tempo em qualquer local na rede;
- Modelo de tanques de armazenamento como mistura completa, fluxo de conexão ou reatores de dois compartimentos.

O EPANET *Programmer's Toolkit* é uma biblioteca de links dinâmicos (*Dynamic-link library* (DLL)) de funções que permitem aos desenvolvedores personalizar a EPANET para suas próprias necessidades. As funções podem ser incorporadas em aplicativos de 32 bits do Windows escritos em C/C++, Delphi, Pascal, Visual Basic ou qualquer outro idioma que possa chamar de funções dentro de uma DLL do Windows. Existem

mais de 50 funções que podem ser usadas para abrir um arquivo de descrição de rede, ler e modificar vários parâmetros de projeto e operação de rede, executar múltiplas simulações de período prolongado, acessando os resultados como eles são gerados ou salvando-os para o arquivo e escrever os resultados selecionados para um arquivo no formato especificado pelo usuário (ROSSMAN et al., 2020).

O *toolkit* é útil para o desenvolvimento de aplicativos especializados, como otimização ou modelos de calibração automatizados que exigem a execução de muitas análises de rede. Ele pode simplificar a adição de recursos de análise a ambientes integrados de modelagem de rede baseados em design assistido por computador (*Computer Aided Design (CAD)*), sistema de informações geográficas (*Geographic Information System (GIS)*) e pacotes de banco de dados. Um arquivo de Ajuda do Windows está disponível para explicar como usar as várias funções do kit de ferramentas. Ele oferece alguns exemplos simples de programação. O kit de ferramentas também inclui vários arquivos de cabeçalho diferentes, arquivos de definição de função e arquivos .lib, que simplificam a tarefa de interagir com o código (ROSSMAN et al., 2020).

Atualmente, EPANET vem sendo usado para projetar e dimensionar novas infraestruturas de água, reestruturar infraestruturas antigas existentes, otimizar operações de tanques, reservatórios e bombas, reduzir custos com energia, investigar problemas de qualidade da água (EPA, 2021). Em sua forma original o EPANET 2.2, não dispõe de integração com infraestrutura de IoT. No capítulo 4, apresentamos a extensão desenvolvida neste trabalho que permite essa integração entre simulador e infraestrutura de IoT.

3.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo expôs os principais conceitos referentes aos sistemas de abastecimento de água. Em seguida, foram introduzidos os conceitos básicos sobre internet das coisas e adentramos nos processos de negócio declarativos. Por fim, apresentamos processamento de eventos complexos, a linguagem de especificação de regras CEP adotada e finalizamos o capítulo apresentando o serviço de mensageria RabbitMQ e a ferramenta de simulação de redes de água pressurizada EPANET.

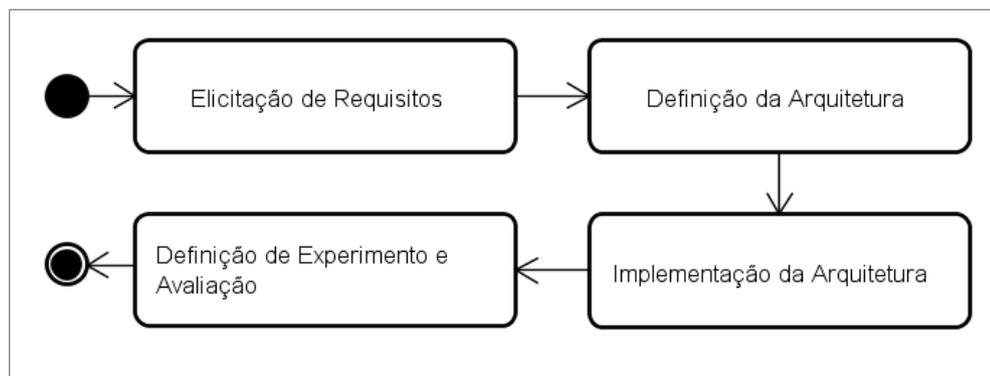
4 PROPOSTA

Neste capítulo, detalharemos o REFlex Water, proposto nesta tese de doutorado. A Seção 4.1 descreve a metodologia adotada e suas atividades. Descrevemos na Seção 4.2 a arquitetura, detalhamos suas camadas e seus componentes. Em seguida, na Seção 4.3 explicamos o funcionamento do REFlex Water de forma dinâmica e separado por blocos para melhor compreensão. Na Seção 4.4, a extensão desenvolvida para o sistema de simulação de redes de abastecimento de água é apresentada. Por fim, na Seção 4.5, fazemos nossas considerações finais do capítulo.

4.1 METODOLOGIA APLICADA

Esta seção apresenta a metodologia adotada para criação do REFlex Water, que é formada por quatro atividades, iniciando na elicitação de requisitos e finalizando na definição de experimento e avaliação. Os passos do método são apresentados levando em consideração a execução sequencial, mas uma abordagem iterativa pode também ser utilizada. A Figura 11 apresenta graficamente como estão organizados as atividades, em seguida, é descrito seu fluxo.

Figura 11 – Metodologia.



Fonte: Do autor

1. **Elicitação de Requisitos:** esta atividade diz respeito ao estudo e compreensão do contexto do sistema de abastecimento de água para melhor compreender as atividades inerentes ao setor e suas respectivas relações, além das tecnologias comumente empregadas nesse tipo de sistema. Ainda nesta etapa, foi realizado um levantamento de pesquisas relevantes dentro da área estudada onde são

identificados os trabalhos relacionados ao estudo (vide Capítulo 2). Além das plataformas de IoT existentes e suas características, é realizado um levantamento de componentes que processam fluxos de dados, que adotam a abordagem de modelagem declarativa, seus requisitos e interações (consultar Capítulo 3). Vinculado a esta etapa, métricas de interesse do sistema de abastecimento foram identificadas, de acordo com o que pretendemos observar. Em direção a uma arquitetura que promova esse processamento, os requisitos funcionais e não funcionais foram definidos.

1.1 Requisitos Funcionais

RF-01 - Coletar dados de contexto

Deve-se capturar os dados oriundo dos sensores conectados ao dispositivo de IoT. Os dados coletados serão encaminhados apenas para o registro, não sendo realizado outras operações.

RF-02 - Processar dados

Deve-se processar fluxos contínuo de dados de contexto em tempo de execução originário de sensores acoplados aos dispositivos.

RF-03 - Análise de dados

Após a coleta e processamento dos dados de contexto, deve-se realizar a análise para detectar padrões de interesse no fluxo de dados. Deve-se previamente ter as regras definidas onde está ocorrendo a análise.

RF-04 - Gerenciamento

O sistema deve abranger funções de gerenciamento de água: gerenciamento remoto de elementos físicos e operação de unidades básicas; identificação de recursos na rede de água, definição de operações e condições na rede.

1.2 Requisitos Não-Funcionais

RNF-01 - Fraco acoplamento

A arquitetura deve possuir componentes com fraco acoplamento entre si. Esses poderão ser ativados ou desativados, dependendo da necessidade de uso do recurso. O mesmo deve suportar a interoperabilidade com outras aplicações, como previsão do tempo.

RNF-02 - Extensível

Deve fornecer uma arquitetura flexível e extensível para a integração de vários sistemas. Para tanto, deve definir interfaces abertas entre as camadas física e aplicação, e também integrar sistemas IoT para acesso direto a dispositivos individuais de gestão de água.

RNF-03 - Portabilidade

A solução deve possuir a capacidade de ser executada em diferentes plataformas de hardware, quanto a um ambiente de software como, por exemplo, um sistema operacional específico. Porém, sua transferência de um ambiente a outro deve ser simples e otimizado.

RNF-04 - Suporte

Deve suportar integração com sistemas legados. As infraestruturas de gestão de água na atualidade consistem em dispositivos interconectados que devem ser gerenciados usando sistemas legados. Eles integram funções de comunicação, modelos de dados e protocolos dependentes de uma tecnologia específica do fabricante. Nem sempre é uma solução viável substituir esses sistemas por novos.

A identificação das características mais importantes do ambiente foi importante, pois proporciona uma visão ampla da área estudada, possibilitando o planejamento e a concepção de uma nova arquitetura, executada na próxima atividade.

2. **Definição da Arquitetura:** como entrada dessa atividade, temos as características identificadas e a compreensão conceitual na atividade anterior. Assim, são definidas as camadas e os principais componentes que compõem a arquitetura. Ademais, é definido como ocorre a conectividade entre as camadas (Seção 4.2).
3. **Implementação da Arquitetura:** após a definição da arquitetura, é selecionada a plataforma de *middleware*. Para seleção do *middleware*, levou-se em consideração os requisitos mandatórios para IoT: (i) gerenciamento e descoberta de requisitos; (ii) segurança; (iii) ciência de contexto; (iv) interoperabilidade e (v) gerenciamento de grandes volumes de dados e escalabilidade. Além disso, facilidade e agilidade no desenvolvimento de soluções. Nesta etapa, dois protótipos

com base nos componentes da arquitetura foram desenvolvidos, que serão utilizados na fase de avaliação.

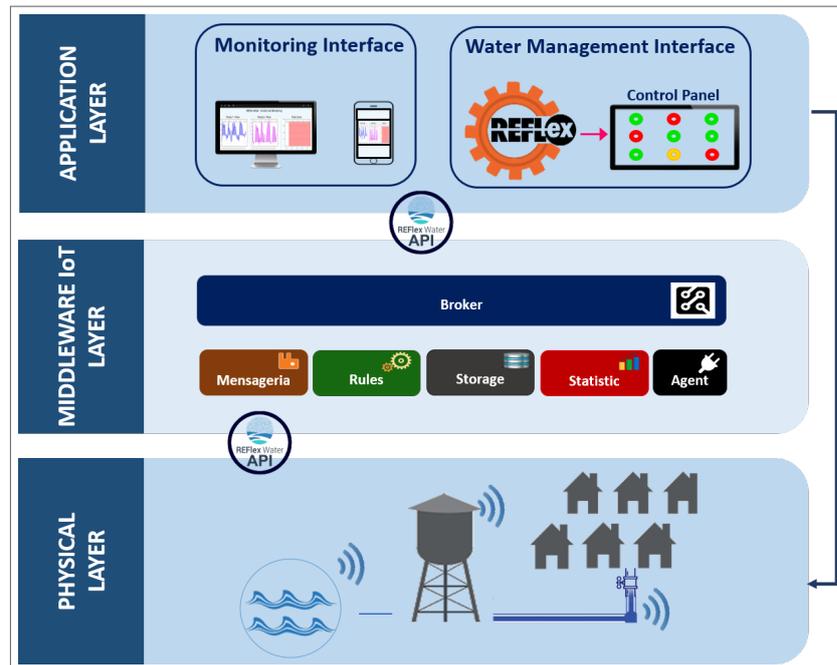
4. **Avaliação:** esta atividade corresponde à definição dos testes aplicados ao contexto da pesquisa. No capítulo 5, a arquitetura é avaliada através de uma PoC que apresenta a viabilidade e aplicabilidade de sua utilização e tem como base os protótipos desenvolvidos na fase anterior. Adicionalmente, são realizadas entrevistas com especialistas que avaliam o uso do REFlex Water.

4.2 ARQUITETURA REFLEX WATER

Com o objetivo de simplificar a implementação e manutenção do REFlex Water, definimos uma arquitetura que permite o desenvolvimento modular e é de fácil extensão, além disso, um processo de implantação simplificado e automatizado que utiliza contêineres Docker para realizar a instanciação de seus componentes construídos baseado em microsserviços. Adicionalmente, o REFlex Water provê uma API que permite a plataforma ser utilizada em qualquer sistema, não ficando, assim, restrito a sistemas de abastecimento de água. Ademais, o REFlex Water gerencia e processa informações contextuais através de modelos de dados padronizados, denominados *Smart Data Models* (MODELS, 2022) baseado na API NGSI.

O REFlex Water adota FIWARE como plataforma de referência para o desenvolvimento de sua arquitetura. Cabe frisar que a arquitetura de IoT do FIWARE é aderente ao modelo de referência IOT-A (PREVENTIS et al., 2016; MUHAMMAD, 2019). A Figura 12 apresenta as três camadas da arquitetura do REFlex Water.

Figura 12 – REFlex Water - arquitetura.



Fonte: Do autor

As camadas da arquitetura do REFlex Water e seus componentes são descritos nas seções a seguir:

4.2.1 *Physical Layer*

Todos os componentes do sistema de abastecimento de água, incluindo fontes de água bruta, bomba de água, tubos de transmissão de água, estações de tratamento de água, tanque de armazenamento de água e sistema de distribuição de água, estão nesta camada. Também contém hidrômetros, dispositivos IoT para medir a pressão nas tubulações e o volume no reservatório de água.

Esta camada oferece uma API que atende ao padrão NGSi para programar o mecanismo que empacota todos os dados coletados em uma mensagem JSON e os envia para o componente *Broker* na camada *Middleware IoT Layer*. Cada mensagem possui um *NODE_ID* e um *PAYLOAD*:

- *NODE_ID*: identifica a entidade monitorada (por exemplo, tanque de armazenamento de água).
- *PAYLOAD*: identifica o sensor (*TAG_SENSOR*), os dados coletados (*VALUE_SENSOR*).

4.2.2 *Middleware IoT Layer*

Fornecer serviços para armazenamento, análise, processamento e orquestração da comunicação entre a *Physical Layer* e *Application Layer* e entre os sensores e atuadores na infraestrutura de IoT. Para a implementação foi escolhida a plataforma FIWARE por ser *open source*, usar padrões abertos, além de oferecer modelos de dados padronizados e um rico conjunto de APIs (TELEFÓNICA, 2021)¹ para o desenvolvimento de aplicações inteligentes (FIWARE, 2021). Esta camada possui seis componentes:

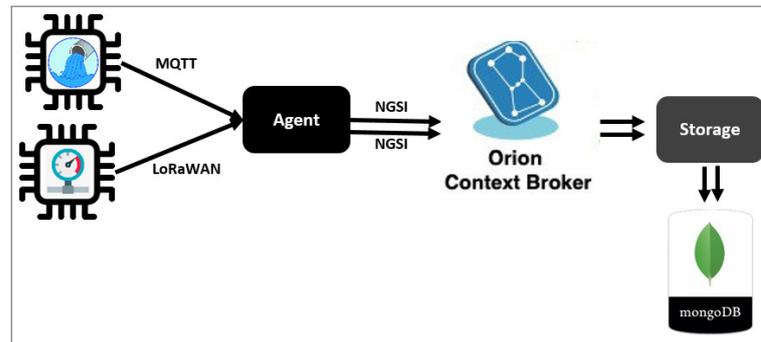
1. *Broker*: é o principal componente da arquitetura do REFlex Water. Sendo responsável pela centralização e gerenciamento das informações de contexto. Realiza a interação com aplicativos que fornecem informações do sensor (produtores de contexto) auxiliado pelos componentes *Agent* e *Storage* e que processa essas informações, por exemplo, para mostrá-las em um *dashboard* (consumidor de contexto).

A operação do *Broker* é realizada sobre contêineres Docker interconectados a banco de dados MongoDB. A utilização de contêineres, reduz consideravelmente os esforços de instalação e configuração desse componente. Adicionalmente, o isolamento característica dessa abordagem impede eventuais conflitos de dependências e reduz o consumo de recurso de hardware.

A capacidade de ser interoperável deste componente é alcançado por ele ser baseado em sua totalidade no Orion Context Broker, permitindo que plataformas distintas que atendam as especificações NGSI e NGSI-LD possam ser integradas, conforme Figura 13.

¹ Os algoritmos e APIs usados para criar o REFlex Water estão disponíveis em <https://github.com/telefonicaid>

Figura 13 – Componente *Broker* (baseado no Orion Context Broker).

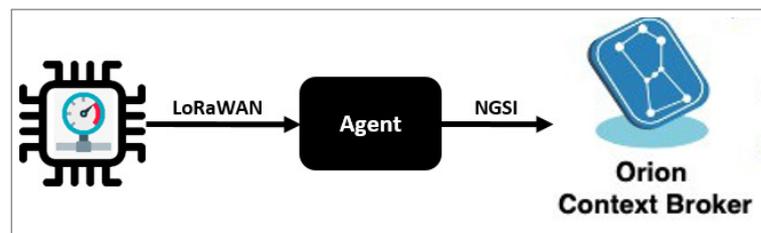


Fonte: Do autor

2. *Agent*: é o componente que permite um conjunto de dispositivos IoT enviar seus dados usando seus próprios protocolos nativos e que sejam gerenciados pelo componente *Broker* que utiliza solicitações baseadas no padrão NGSIv2 (Figura 14). Isso traz uma interface padrão para todas as interações de IoT no nível de gerenciamento de informações de contexto.

Já existem ou estão em desenvolvimento IoT *agents* para vários protocolos de comunicação e modelos de dados. A FIWARE disponibiliza IoT *agents* que suportam tradução para o formato NGSIv2 dos protocolos IoT: JSON, LWM2M, HTTP/MQTT e LoRaWAN (FIWARE, 2022).

Figura 14 – Componente *Agent*.



Fonte: Do autor

3. *Storage*: para o sistema de abastecimento de água, é fundamental manter o histórico dos dados gerados pelos dispositivos da IoT, uma vez que, permite a realização de futuras avaliações através de técnicas de análise de dados. *Storage* é o responsável em garantir a persistência dos dados ao longo do tempo.

O componente *Storage* é baseado no Cygnus que faz parte da FIWARE. Oriundo do projeto Apache Flume, é encarregado de encaminhar dados a diferentes bases de dados, criando assim, uma visão histórica desses dados.

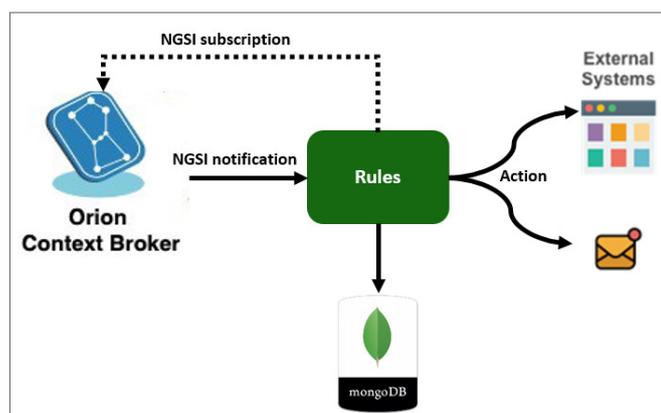
Este componente foi incorporado ao REFlex Water para permitir a persistência histórica dos dados no formato *Short Time History* (STH) em múltiplas bases de dados. Ademais, seu funcionamento se integra ao *Broker* aproveitando o mecanismo de notificação de assinatura do Orion Context Broker. As fontes de dados suportadas são: PostgreSQL, MySQL, MongoDB, AWS DynamoDB, Storm, Spark ou Flink (FIWARE, 2022).

4. *Rules*: este componente analisa eventos provenientes de informações de contexto gerenciadas pelo componente *Broker* para identificar padrões descritos por regras armazenadas na base de dados, a fim de gerar uma visão imediata e permitir uma resposta instantânea (e.g., enviar um e-mail ou alerta) às mudanças nas entidades de interesse para o tomador de decisões de negócios (FIWARE, 2022) para que tenham conhecimento de algo interessante sobre o serviço.

Por exemplo, a regra CEP do Código Fonte 1 verifica se a pressão é maior que o limite crítico de todos os eventos de *Tank* nos últimos 15 minutos. Ele reconhece o padrão quando a condição é verdadeira. Em seguida, emite uma mensagem de alerta, que é colocada na fila de mensagens para ser consumida pelos consumidores cadastrados na camada de Aplicação.

O componente *Rules* (Figura 15) é baseado no Perseo, que é um software de Processamento de Eventos Complexos (CEP) e usa NGSIv2 como o protocolo de comunicação para eventos aproveitando o mecanismo de notificações presente no componente *Broker* e, portanto, é capaz de trabalhar de forma integrada e conjunta com Orion Context Broker (TELEFÓNICA, 2021).

Figura 15 – Componente *Rules*.

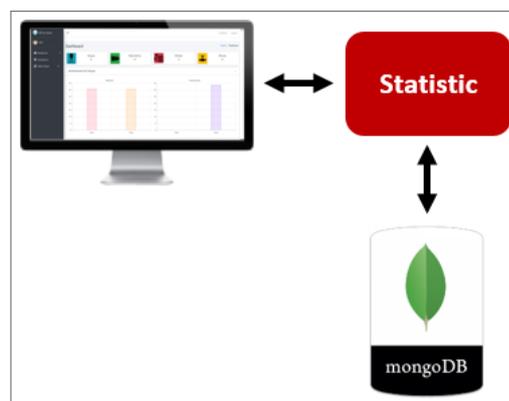


Fonte: Do autor

5. *Mensageria*: é responsável pelo sistema de mensageria que utiliza o RabbitMQ. Perseco ao identificar um padrão, envia requisição para este componente que se encarrega de entregar as mensagens de alertas no *dashboard* de notificação das aplicações *web* e *mobile*.
6. *Statistic*: é responsável em recuperar os dados históricos brutos e agregados do sistema e atualizar os gráficos de tendência da interface de monitoramento na camada de Aplicação sobre a evolução no tempo dos dados de contexto (Figura 16). Este componente foi construído sobre o *Short Time Historic-Comet* (STH-Comet) componente do ecossistema FIWARE encarregado de gerenciar (armazenar e recuperar) informações históricas brutas e agregadas de séries temporais (FIWARE, 2022).

O *Statistic* suporta consultas por unidades de tempo (e.g., ano, mês, dia, hora, minuto e segundo), além dos métodos de agregação: max(valor máximo), min(valor mínimo), sum(soma de todas as amostras). Toda a comunicação entre esse componente e bases de dados usam o padrão NGSI para recuperação de dados (FIWARE, 2022).

Figura 16 – Componente *Statistic*.



Fonte: Do autor

A publicação/assinatura do *Broker* permite a conexão entre os componentes da camada *Middleware IoT*. Os componentes *Rules*, *Statistic* e *Storage* se inscrevem no *Broker* para receber uma notificação sempre que um sensor enviar dados. A Figura 17 mostra dois arquivos JSON com a assinatura de dois componentes: *Storage* (Figura 17a) e *Rules* (Figura 17b). A Tabela 5 detalha cada campo na mensagem JSON. O

componente deve executar o comando POST `/api/v2/subscriptions/` para salvar as assinaturas no banco de dados do REFlex Water (MongoDB (ABBES; GARGOURI, 2018)). Além das assinaturas, são armazenados as regras do CEP e os dados coletados pelos sensores. O *Statistic* acessa o MongoDB para gerar as informações exibidas pelos gráficos de monitoramento e controle.

Figura 17 – Exemplo de assinatura - (a) *Storage*; (b) *Rules*.

<pre>{ "subject": { "entities": [{ "idPattern": ".*" }] }, "notification": { "http": { "url": "http://cygnus:5050/notify" } }, "throttling": 5 }</pre>	<pre>{ "subject": { "entities": [{ "idPattern": ".*" }] }, "notification": { "http": { "url": "http://perseo-fe:9090/notices" } }, "throttling": 5 }</pre>
(a)	(b)

Fonte: Do autor

Tabela 5 – Descrição dos campos da assinatura.

Item	Descrição
subject	Contém os objetos de assinatura
entities	Define o conteúdo das mensagens de notificação
idPattern	Padrão de sensores afetados
notification	Contém subcampos para enviar notificações
http	Protocolo usado para enviar notificações
url	Serviço a ser chamado quando uma notificação é gerada
throttling	Intervalo tempo em segundos entre duas notificações consecutivas

Fonte: Do autor

A Figura 18 mostra um código JSON com uma regra criada no Perseo.

Figura 18 – Exemplo de regra Perseo.

```

{
  "name": "rule_level_above_maximum",
  "text": "select *, ev.level? as Level from pattern
          [every ev=iotEvent (cast (cast (level?,String),float)>600
            and type=\"Tank\")]",
  "action":{
    "type":"email",
    "template":"Level above maximum. Water level in the Tank = ${Level}.",
    "parameters":{
      "to":"central@gmail.com",
      "from":"eta@gmail.com",
      "subject":"REFlex Water Notification: Level Above Maximum"
    }
  }
}

```

Fonte: Do autor

A Tabela 6 detalha os parâmetros utilizados na criação de uma regra no Perseo.

Tabela 6 – Detalhes da regra Perseo.

Item	Descrição
name	Nome da regra
text	Deve ser uma declaração EPL válida
action	Ação a ser realizada pelo Perseo se a regra for disparada
type	Define o tipo de envio (e.g., email, requisições)
template	Usado para construir o corpo da mensagem/solicitação
to	Define o destinatário
from	Define o endereço de e-mail do remetente
subject	Assunto do email

Fonte: Do autor

A Tabela 7 mostra as operações disponíveis no REFlex Water, que adota o protocolo HTTP através do seguinte endereço: <http://<host-address>/{operacao}>.

Tabela 7 – Operações disponíveis no REFlex Water.

Operação	Método HTTP	Descrição
/api/v2/entities	(POST, GET, PATCH, DELETE)	Criar, listar, atualizar ou excluir sensores
/api/v2/subscriptions	(POST, GET, PATCH, DELETE)	Criar, listar, atualizar ou excluir assinaturas
/api/v2/rules	(POST, GET, DELETE)	Criar, listar ou excluir regras
/api/v2/notify	(POST, GET)	Criar ou listar alertas

Fonte: Do autor

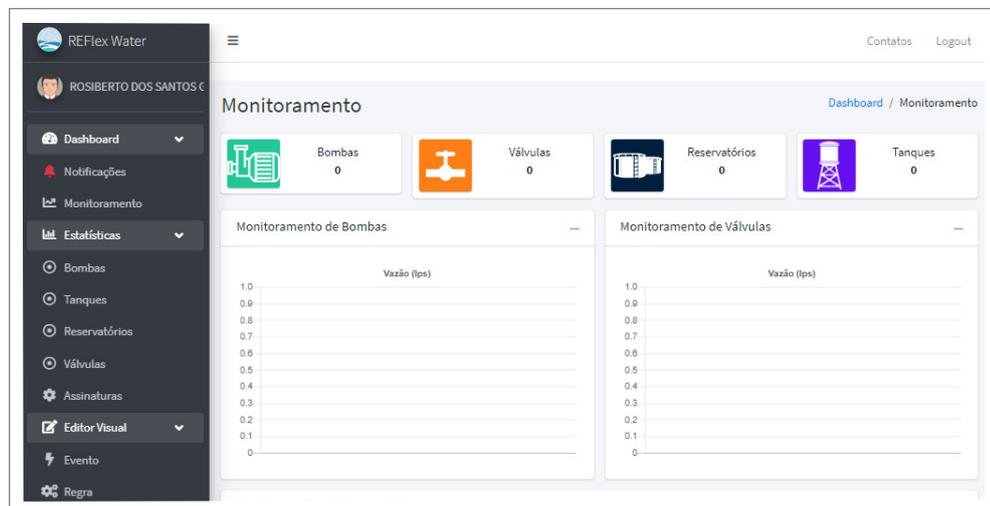
4.2.3 Application Layer

A arquitetura permite o desenvolvimento de diferentes aplicações, incluindo *dashboards* de indicadores de desempenho, aplicações *web/mobile* para gestão do sistema de abastecimento de água. Além disso, nesta camada, o mecanismo de regras REFlex interpreta o processo de negócios declarativo especificando as políticas de gerenciamento de água para controlar as operações do sistema. O painel de controle mostra todas as tarefas habilitadas e proibidas em um determinado momento. Assim que o operador executa uma atividade (e.g., ligar uma bomba), a configuração de tarefas habilitadas e proibidas muda no painel de controle. Assim, o operador é livre para escolher qual tarefa executar na próxima etapa, assim que ele ou ela respeite as políticas de gestão. É importante enfatizar que a arquitetura REFlex Water pode ser adaptada para funcionar com outros sistemas de cidades inteligentes. No entanto, seja qual for o tipo de sistema, não será necessária nenhuma modificação na arquitetura REFlex Water.

4.2.3.1 REFlex Water Web

Para auxiliar no gerenciamento de sistemas de água, foi concebido um protótipo baseado na arquitetura descrita anteriormente. A Figura 19 ilustra a interface gráfica de gerenciamento chamada REFlex Water Web.

Figura 19 – REFlex Water Web - tela inicial.

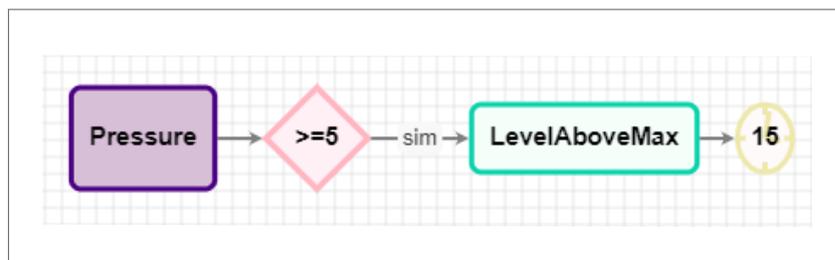


Fonte: Do autor

Ao logar no sistema, é apresentado um menu com as funcionalidades que estão disponíveis para o usuário e são detalhadas a seguir:

- **Notificações:** visualizar alertas em tempo real para apoiar a tomada de decisão;
- **Monitoramento:** facilitar o acompanhamento dos dados da rede de água para apoiar a tomada de decisão;
- **Estatísticas:** mostrar indicadores e métricas de forma objetiva e clara;
- **Assinaturas:** ativar ou desativar o sistema de assinaturas. Quando ativada permite manter o histórico dos dados e o envio de alertas;
- **Editor Visual:** criar eventos e regras, visualizar e excluir regras.
 - *Evento:* um evento no sistema se baseia na ocorrência de eventos no ambiente, sendo identificados, por exemplo, por um sensor que coleta a vazão de água de uma válvula. Uma vez definido, um evento pode estar associado a uma ou mais regras. Portanto, as regras se baseiam em ocorrências de eventos predeterminados. Ademais, uma regra é formada por dois componentes: evento e ação. A ação, descreve o que será executado quando o estado do evento for ativado. A Tabela 8 descreve cada um dos elementos disponíveis no editor visual para criação dos eventos. A Figura 20 é a representação gráfica de um evento que, ao ser associado a uma ação, será transformado na regra CEP do Código Fonte 1, que verifica se a pressão supera o limite crítico dentro de um intervalo de 15 minutos.

Figura 20 – Representação Visual - evento.



Fonte: Do autor

Tabela 8 – Elementos do Editor Visual.

Elemento	Descrição
	Dados de pressão e vazão que são coletados pelos sensores
	São tarefas no ambiente que podem ser detectadas por diversas fontes
	Conector utilizado para combinar eventos
	Condição a ser avaliada
	Intervalo de tempo de busca de dados

Fonte: Do autor

- *Regra:* para visualizar ou excluir regras, é necessário existir pelo menos uma regra cadastrada. Salientando que o estado do evento é monitorado continuamente e, portanto, sempre que o estado do sensor correspondente ao evento for modificado, a regra é reavaliada.

4.2.3.2 REFlex Water Mobile

O protótipo *mobile* facilita o monitoramento do estado dos itens monitorados no sistema de abastecimento de água. Para que o aplicativo funcione corretamente, é necessário que o smartphone esteja conectado à Internet e seja configurado o endereço do servidor onde está implantada a infraestrutura de IoT. Na Figura 21 é possível visualizar a tela principal do protótipo, onde também há o menu de seleção.

Figura 21 – REFlex Water *Mobile*.

Fonte: Do autor

Estão disponíveis na versão *mobile* o acesso aos *dashboards* de notificação e monitoramento, além do resumo diário dos indicadores estatísticos.

4.3 FUNCIONAMENTO DO REFLEX WATER

O comportamento dinâmico do REFlex Water pode ser descrito por meio de uma sequência de ações. A seguir, o relacionamento entre os componentes da arquitetura proposta são apresentados através de três casos de uso executados pelo projetista do processo, especialista e gestor em água: (i) Definição das regras do processo de negócio; (ii) Definição das políticas de gestão; (iii) Monitoramento das políticas de gestão e Envio de alertas.

4.3.1 Definição das Regras do Processo de Negócio

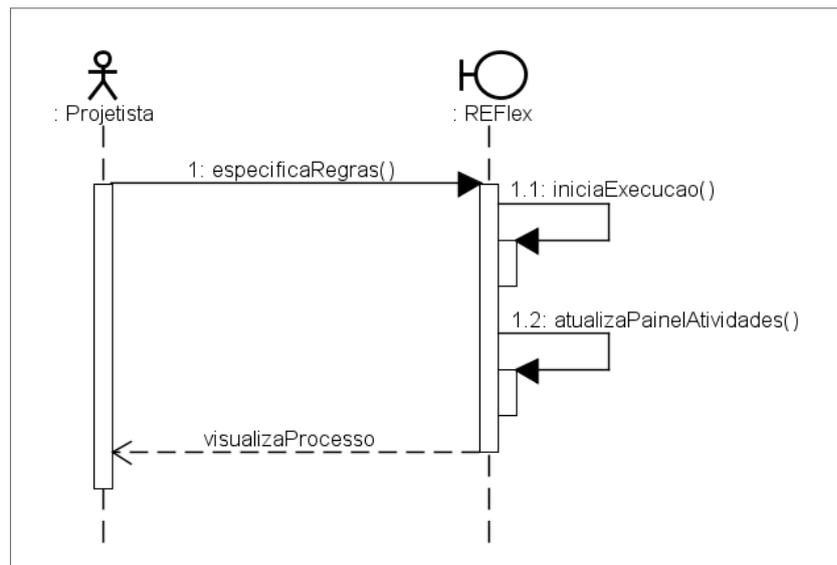
No caso (i), é feita a definição das regras do processo de negócio que regula o comportamento do sistema de gerenciamento de água, descrito na Figura 22.

1. O Projetista de processo especifica as Regras de processo que regula o comportamento do sistema de gerenciamento de água; o REFlex inicia a execução

do processo.

2. Durante toda a execução do processo, o painel de atividades é atualizado a cada nova seleção de uma atividade.
3. O Estado do processo é visualizado no REFlex, que é definido pelo conjunto de estados de atividades (habilitado, desabilitado, suspenso ou bloqueado).

Figura 22 – Diagrama de Sequência - definição das regras do processo de negócio.



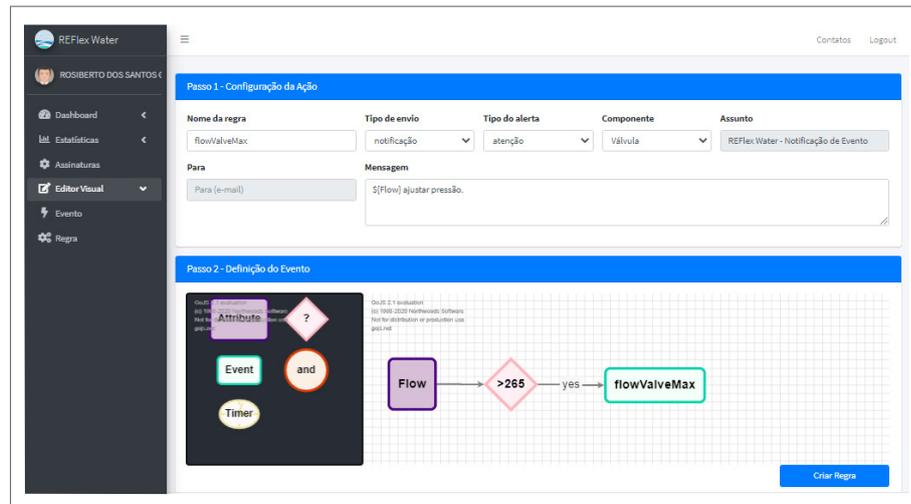
Fonte: Do autor

4.3.2 Definição das Políticas de Gestão

No caso (ii), a definição das políticas de gestão é apresentada através do diagrama de sequência da Figura 24.

1. O Especialista em gestão de águas especifica as políticas de gestão de água definidas no REFlex através do editor visual de regras CEP do REFlex Water Web. A Figura 23 apresenta a ação e o evento que compõe a regra criada.

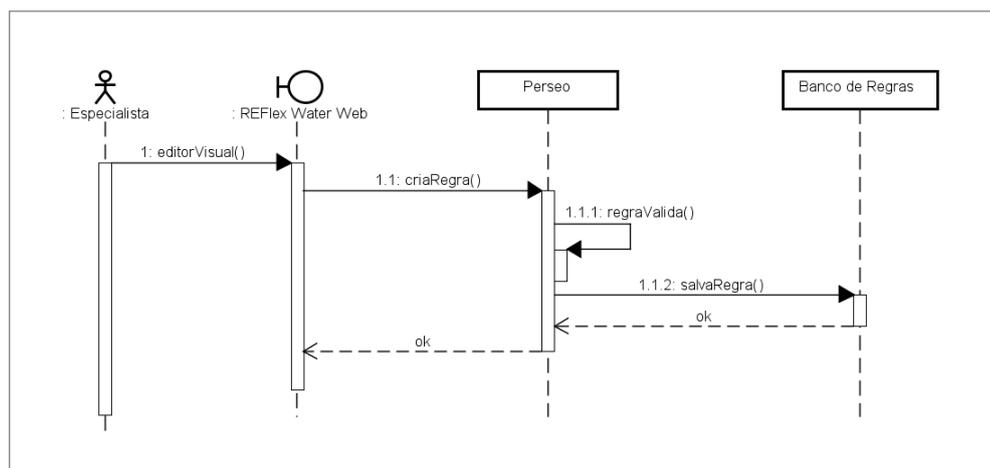
Figura 23 – REFlex Water Web - regra CEP.



Fonte: Do autor

2. É definida a forma de envio que pode ser: **e-mail**, **notificação** ou **ambas**. Além disso, para cada política definida, é informado o grau de severidade do alerta, podendo ser: **atenção**, **crítico** ou **informação**.
3. Perseo recebe as regras CEP para serem criadas e salva no banco de regras.
4. As Regras ficam disponíveis para serem utilizadas.

Figura 24 – Diagrama de Sequência - definição das políticas de gestão.



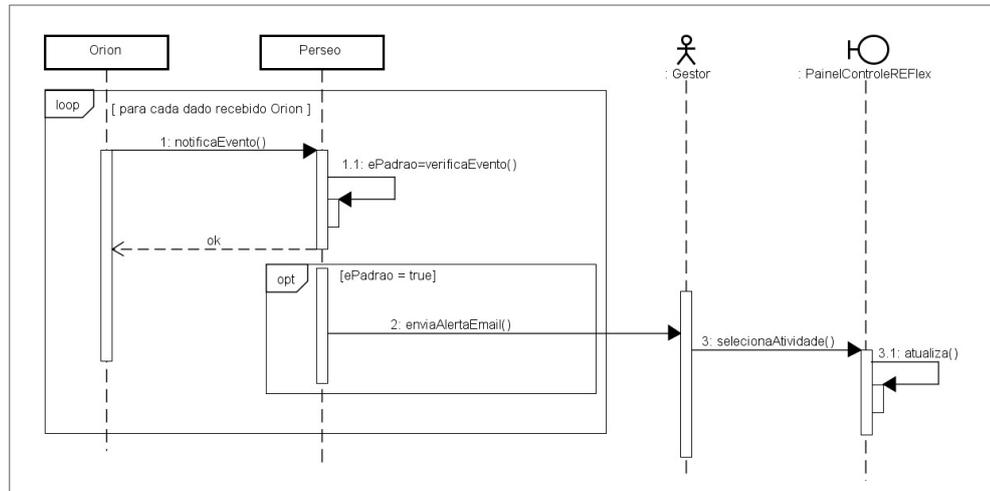
Fonte: Do autor

4.3.3 Monitoramento das Políticas de Gestão e Envio de Alertas

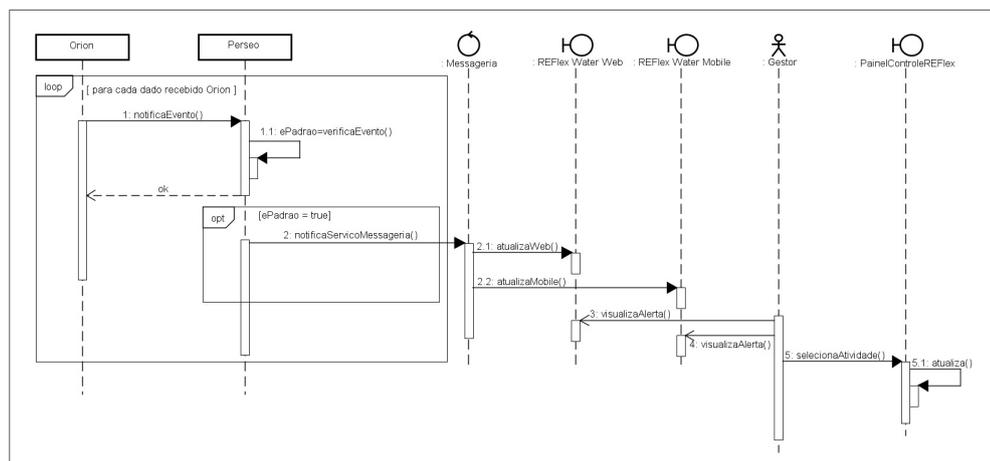
No caso (iii), o monitoramento das políticas de gestão e envio de alertas é apresentada através dos diagramas de sequência da Figura 25, que é a continuidade ao fluxo do diagrama anterior.

1. O Sistema continuamente recebe dados contextuais, como pressão, vazão e nível de água dos componentes do sistema de abastecimento de água. Esses dados são enviados para o Orion que notifica o Perseo.
2. Perseo interpreta, em tempo real, os eventos gerados e identifica padrões relevantes para o sistema de gestão de águas (e.g., vazamentos, mudança do nível de água dos reservatórios), e reporta esses padrões em forma de alertas para o Gestor de águas.
3. Alertas podem ser visualizados por email (Figura 25a) e/ou através do serviço de mensageria, que atualiza o *dashboard* de notificação (Figura 25b) do REFlex Water (Web e *Mobile*). Esses avisos podem afetar as decisões do Gestor de águas sobre qual atividade deve executar.
4. O Gestor de águas, através do REFlex, analisa e escolhe uma atividade habilitada para executar. O efeito dessa ação atualiza o painel de controle.

Figura 25 – Diagrama de Sequência - monitoramento das políticas de gestão e envio de alertas - (a) Email; (b) Notificação.



(a)



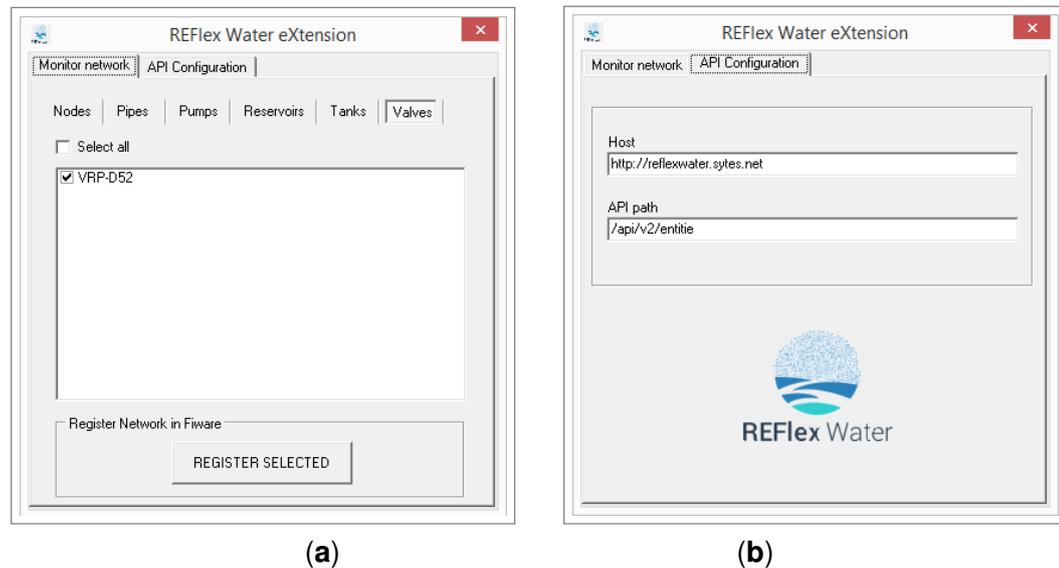
(b)

Fonte: Do autor

4.4 EXTENSÃO EPANET-RWX

O EPANET-RWX (**REFlex Water eXtension**) oferece métodos de interação que permite criar modelos de redes de abastecimento de água em ambiente virtual simulado, integrado a uma infraestrutura de IoT. Dessa forma, os dados operacionais podem ser conectados, analisados e testados em cenários distintos antes de aplicar qualquer mudança na rede real de abastecimento de água. A Figura 26 apresenta a extensão desenvolvida.

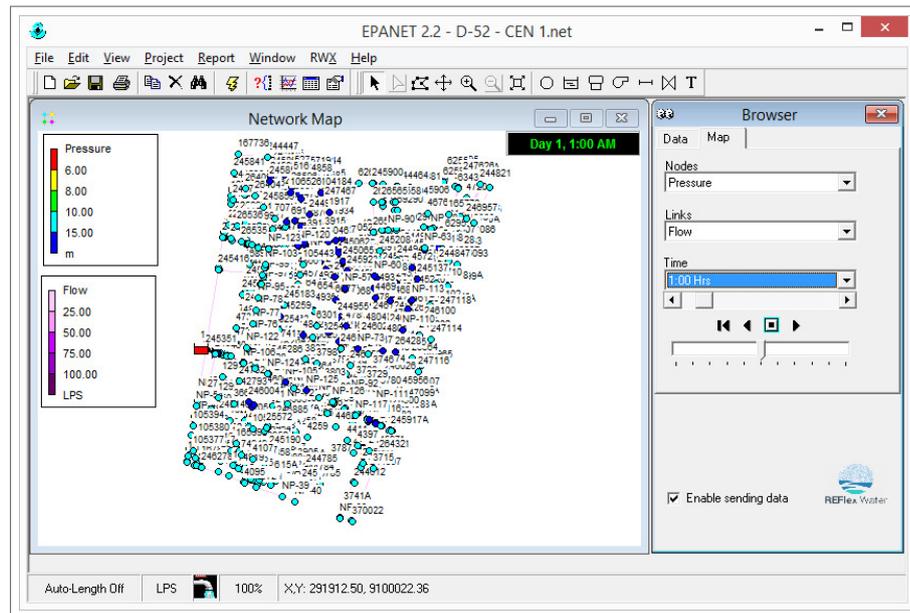
Figura 26 – EPANET-RWX - (a) Itens monitorados; (b) Configuração da API.



Fonte: Do autor

Na Figura 26a, o especialista em gestão de águas registra a rede de abastecimento de água e seleciona quais elementos (e.g., válvula de retenção de água) terão seus dados coletados e enviados para a infraestrutura de IoT. Na Figura 26b, o servidor (host) e a versão da API (API path) são configurados para permitir a comunicação entre EPANET e o REFlex Water. Ademais, a Figura 27, através da opção *Enable sending data*, ativa o envio de dados do EPANET para infraestrutura de IoT durante a simulação. Os dados são acompanhados em tempo real através do *dashboard* de monitoramento presente no REFlex Water Web e *Mobile*.

Figura 27 – EPANET-RWX - ativar envio de dados.



Fonte: Do autor

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou a descrição dos passos da metodologia empregada para criação do REFlex Water. Em seguida, a arquitetura, suas camadas e seu funcionamento foram detalhados. Na sequência, a extensão EPANET-RWX, desenvolvida para o sistema de simulação de redes de abastecimento de água foi apresentado, incluindo como configurar e ativá-lo durante a simulação no EPANET.

5 AVALIAÇÃO

Este capítulo apresenta o estudo que se baseia no relatório do **Projeto de Setorização e Modelagem Hidráulica** do distrito de distribuição, aqui, identificado como A1, de uma empresa brasileira de água, aqui, identificada como Empresa XYZ para salvaguardar sua imagem, atuante há mais de 40 anos, que visa à melhoria do desempenho operacional e comercial. O ambiente usado no estudo foi implantado na nuvem FIWARE usando máquinas virtuais (VMs) no *OpenStack*. A configuração da VM utilizada foi (2GB de RAM, 20GB de disco e 1vCPU) com sistema operacional Ubuntu 18.04 LTS. Nesta VM foram instalados o Docker e o Docker Compose, responsáveis pelo gerenciamento e instanciação dos contêineres essenciais para operação do REFlex Water.

Os cenários desta seção visam permitir a observação e a análise dos componentes da arquitetura. A avaliação consiste em duas etapas. A primeira, avalia dois cenários que levam em consideração vazão e pressão do distrito A1 através de uma PoC, destacando os componentes e camadas da arquitetura. Os protótipos REFlex Water (*Web* e *Mobile*) foram concebidos com base na arquitetura proposta e serão avaliados através desta PoC para validar a arquitetura apresentada na Seção 4.2 e a integração do EPANET com o REFlex Water, através da extensão criada EPANET-RWX, e demonstrar a execução dos seus componentes e suas funcionalidades. A segunda etapa avalia a contribuição do REFlex Water no avanço do desenvolvimento de novas soluções tecnológicas para sistemas de abastecimento de água através de uma avaliação qualitativa, tendo como critérios avaliados a expectativa de desempenho e esforço. Os recursos utilizados são entrevista semiestruturada com adoção do modelo *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT)* - Teoria Unificada de Aceitação e Uso de Tecnologia¹.

5.1 ETAPA 1: ANÁLISE DOS COMPONENTES DA ARQUITETURA

Esta seção detalha a análise dos componentes, descrevendo o sistema de abastecimento de água, ferramentas adotadas e seu resultado.

¹ tradução livre do autor.

5.1.1 Caracterização do Distrito

O distrito A1 dispõe de uma área de aproximadamente 382 hectares, ocupa parte de três bairros, conta com uma população estimada em 47.013 habitantes, para o ano 2010. Para o ano 2030, a estimativa é de 49.215 habitantes.

O distrito dispõe de alimentação direta, a partir de um Sistema de abastecimento de grande porte. O distrito A1 (Figura 28) é abastecido a partir do Sistema G por intermédio das duas linhas de 750 mm e apoiado pelo sistema de distribuição de água abastecido pelo reservatório JD.

Figura 28 – Distrito A1 - mapa.



Fonte: Empresa XYZ

5.1.2 Base cadastral

Para a construção do modelo hidráulico do distrito A1, foram realizadas pelo setor de Cadastro Técnico da própria Empresa XYZ, a atualização e a validação das informações sobre a rede, sendo registradas em uma base CAD. A partir dessas informações, foi realizada a migração para uma base GIS (GeoSan). Com a migração, foi exportada a rede para um arquivo EPANET e realizada a modelagem hidráulica. Os procedimentos de modelagem hidráulica permitem realizar simulações sobre a distribuição das vazões, mais próximas da realidade.

5.1.3 Monitoramento do Sistema de Abastecimento de Água e Envio de Notificações de Alertas

Em sistemas de abastecimento de água, é necessário monitorar diversos componentes da infraestrutura física (e.g., bombas, válvulas, tanques e reservatórios de água) e suas propriedades (e.g., vazão e pressão) para que os gestores de água sejam notificados quando situações inesperadas ocorram durante a operação do sistema.

Nesse cenário, o REFlex Water possibilita notificar, mediante a identificação de anomalias em algum componente da rede de água, e disparar alertas por email e/ou notificações com a causa e o componente afetado. Desse modo, os gestores de água podem tomar conhecimento, em tempo real, do que está acontecendo na rede de abastecimento de água através de notificações sobre eventos relevantes, no momento em que ocorrerem. Como estamos lidando com dispositivos heterogêneos, uma API que atende ao padrão NGSi foi disponibilizada a fim de integrar os dispositivos ao REFlex Water e permitir que os dados coletados estejam disponíveis na plataforma web e *mobile*. A API recebe os dados dos sensores, estrutura esses dados em uma mensagem JSON e os envia para o REFlex Water por meio de requisições HTTP. Todos os dispositivos plugados na rede de água que atendam às especificações do padrão NGSi podem ser integrados ao REFlex Water rapidamente. Ademais, o fluxo de dados gerados por esses sensores são analisados em tempo real para identificar padrões. As políticas de gestão de águas, definidas como regras CEP atuam no fluxo de dados recebido a fim de verificar se houve violação da política, caso seja confirmada

a violação, uma mensagem de alerta é preparada e enviada por email e/ou notificação para os gestores de água sobre a condição atual do sistema de abastecimento de água que pode ter seu funcionamento prejudicado em algum de seus componentes. As notificações são visualizadas através do *dashboard* de notificação do REFlex Water Web.

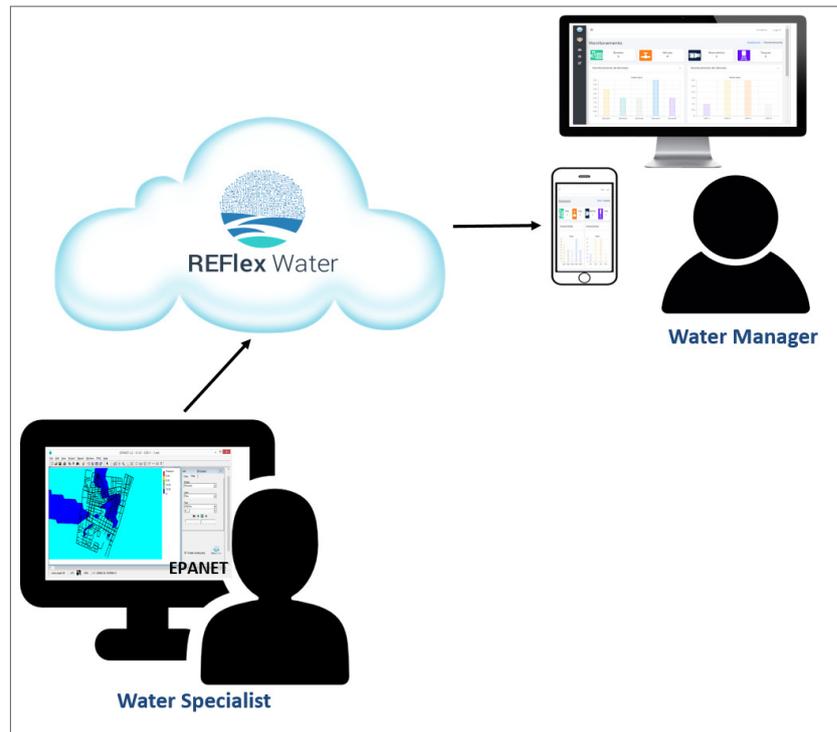
Uma aplicação móvel chamada REFlex Water *Mobile* também foi desenvolvida para visualização rápida do estado da rede de água. O aplicativo realiza requisições à API do REFlex Water para obter esses dados e os exibe aos gestores por meio de gráficos de tendência. Dessa maneira, os gestores de água podem acompanhar o estado do sistema de abastecimento de água, seus componentes e suas propriedades (e.g., vazão e pressão). Além disso, notificações também podem ser visualizadas através do app.

5.1.3.1 *Cenário 1: Integração com EPANET*

Neste primeiro cenário, é apresentada e avaliada a integração do REFlex Water com a ferramenta de simulação de rede de água pressurizada, a EPANET. O objetivo é apresentar uma situação onde seja possível capturar os dados da rede de água através de uma ferramenta de simulação conectada à internet e enviar ao REFlex Water de acordo com a variação dos componentes físicos existentes no sistema de abastecimento de água que estão sendo monitorados. As principais grandezas que refletem o comportamento hidráulico de um sistema de abastecimento de água são a vazão e a pressão. No estudo, vazão e pressão são as variáveis de estado, obtidas através de medições simuladas no EPANET em locais mais representativos da rede em estudo.

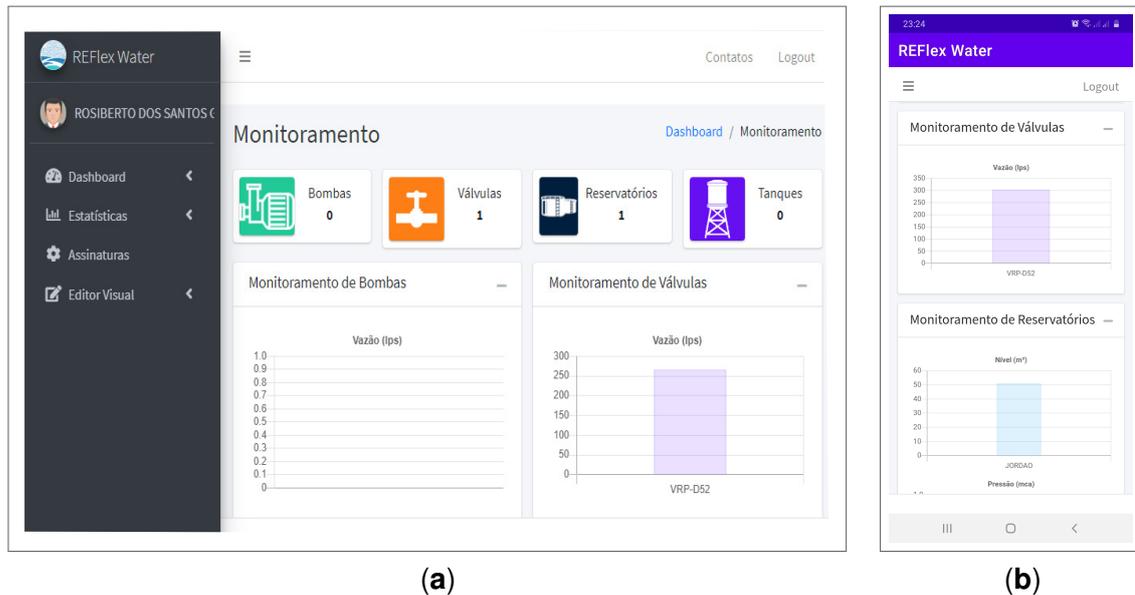
A Figura 29 ilustra a estrutura do cenário 1. Temos o EPANET contendo a rede do distrito A1 com os componentes VRP-A1 (válvula redutora de pressão) e JD (reservatório de água tratada) configurados para serem monitorados. Durante a execução da simulação, os dados oriundos do EPANET são enviados para o REFlex Water, que recebe as vazões e pressões referente a VRP-A1 e JD e armazena em seu banco de dados. O envio das leituras das vazões e pressões entre o EPANET e o REFlex Water é realizada através da extensão EPANET-RWX e conexão com a internet.

Figura 29 – Integração EPANET - estrutura.



Fonte: Do autor

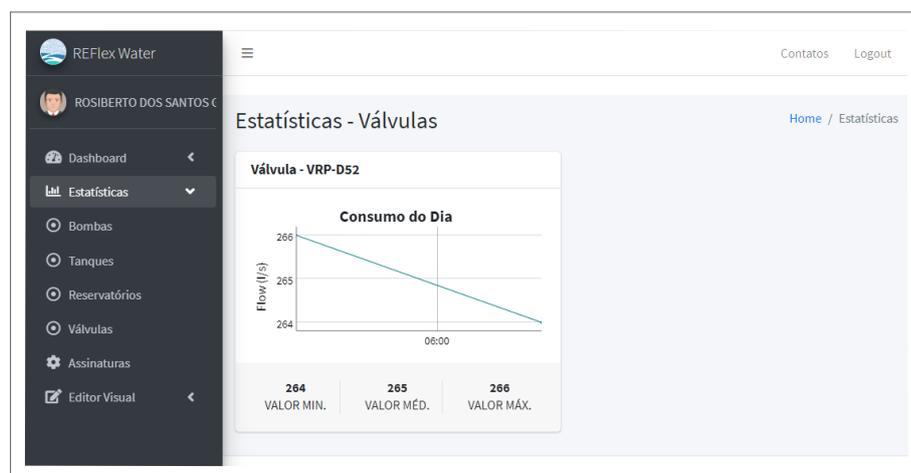
Como resultado da avaliação, foi observado, neste cenário, o uso dos componentes das camadas *Physical*, *Middleware IoT* e de *Application*, representadas, respectivamente, pelo EPANET e a extensão EPANET-RWX, *Statistic*, *Broker*, *Storage*, *Agent* e API REFlex Water e os protótipos REFlex Water (*Web* e *Mobile*). Com os dados armazenados, através do *Dashboard* de monitoramento do REFlex Water (*Web* (Figura 30a) e/ou *Mobile* (Figura 30b)) são apresentados os gráficos que exibem as vazões e pressões de cada componente em tempo real.

Figura 30 – REFlex Water Web - *dashboard* de monitoramento.

Fonte: Do autor

Ademais, para um maior detalhamento do comportamento hidráulico da rede, o REFlex Water Web disponibiliza um resumo diário estatístico que apresenta valores mínimos, médios e máximos das grandezas de cada item monitorado. Adicionalmente, em conjunto com as estatísticas, um gráfico exibe o histórico do consumo geral do componente (Figura 31). Essas funcionalidades estão presentes também na versão *mobile*.

Figura 31 – REFlex Water Web - resumo diário estatístico.



Fonte: Do autor

5.1.3.2 Cenário 2: Definição de Políticas Operacionais, Regras CEP e Envio de Alertas

Neste cenário, foi definido as políticas operacionais através da notação declarativa que descreve o processo de negócio do sistema de abastecimento de água. Essas políticas são traduzidas em regras CEP através do REFlex Water Web e ficam disponíveis para serem utilizadas para identificar padrões de interesse e disparar os alertas.

Como mostrado no Capítulo 3, as políticas operacionais são definidas através do REFlex e são utilizadas durante a execução do sistema de abastecimento, visando garantir o estado correto da execução do processo. Neste cenário, as políticas relacionadas à vazão e pressão dos componentes monitorados são definidas. Esses componentes foram escolhidos por serem determinantes para o comportamento do sistema de abastecimento de água.

O Código Fonte 2 apresenta quatro políticas operacionais definidas no *console* do REFlex. As políticas definem as restrições acerca dos níveis mínimo e máximo de água do reservatório bem como os valores máximo e mínimo de vazão permitidos.

Código Fonte 2 – Políticas Operacionais REFlex - nível e vazão de água.

```
1 Obligation levelReservMin = new Obligation(levelMinReached , CloseValve);
2 Obligation levelReservMax = new Obligation(levelMaxReached , OpenValve);
3 Obligation flowValveMin = new Obligation(increasePressure , AdjustValve);
4 Obligation flowValveMax = new Obligation(decreasePressure , AdjustValve);
```

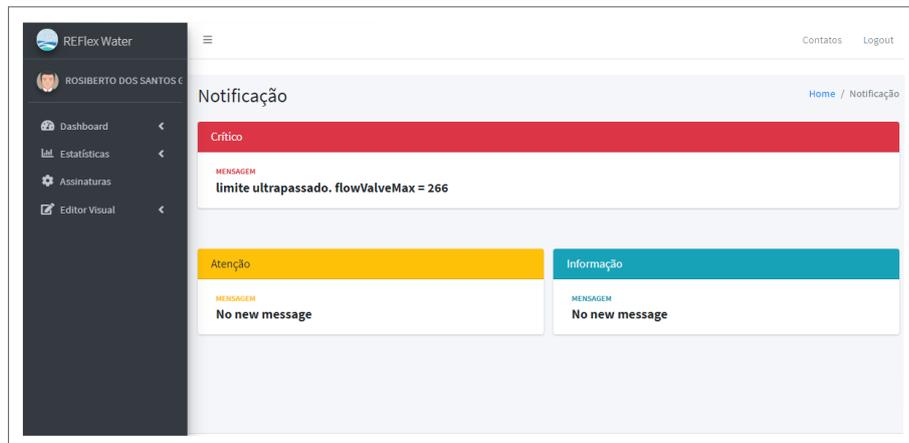
Fonte: Do autor

Neste cenário, foram definidas duas regras que controlam a pressão da válvula. Caso seja detectado, através do sensor de vazão, um valor superior à 265 l/min no volume de água, a pressão mínima da válvula deve ser ajustada (Código Fonte 2, linha 4). Portanto, caso o volume de água aumente, o operador do sistema deverá realizar o ajuste da pressão na válvula. No entanto, caso seja detectado uma queda no volume de água, a pressão da válvula deverá ser aumentada pelo operador de forma a garantir que a água continue escoando (Código Fonte 2, linha 3).

Uma vez definido, o conjunto de regras permitirá identificar padrões predefinidos, e no caso de violação da regra, alertas são gerados para notificar os operadores de água, podendo ser visualizados através do *Dashboard* de Notificação (Figura 32) ou recebidos por e-mail. De acordo com o tipo de alerta definido na ação, a notificação

aparecerá em uma das categorias (crítico, atenção, informação) disponíveis.

Figura 32 – REFlex Water Web - *dashboard* notificação.



Fonte: Do autor

5.1.3.3 Análise e Discussão dos Cenários 1 e 2

No cenário 1, a camada *Physical* foi representada pelo EPANET e pela extensão EPANET-RWX, os componentes empregados da camada *Middleware* foram *Statistic*, *Broker*, *Storage*, *Agent*. No cenário 2, além do EPANET e da extensão EPANET-RWX, foram utilizados os componentes *Rules*, *Mensageria*, *Broker*, *Storage* da camada de *Middleware*. Em ambos os cenários, os protótipos REFlex Water (Web e *Mobile*) da camada *Application* foram utilizados.

Como resultado da avaliação, é possível demonstrar que:

- As tecnologias IoT, CEP e processos declarativos empregadas para criação da solução se mostraram viáveis quando empregadas juntas, proporcionando mais expressividade ao REFlex Water. Ademais, o REFlex Water foi concebido com fraco acoplamento, o que permite usar todos os componentes presentes em sua arquitetura ou parte deles, de acordo com a necessidade avaliada.
- Os protótipos utilizados nos dois cenários conseguiram demonstrar a aplicabilidade do REFlex Water através do EPANET, que modelou uma rede real de água e foi integrada por meio da EPANET-RWX.
- A pergunta de pesquisa *PP*: *Como auxiliar no processo de gestão de sistemas de abastecimento de água para detecção de eventuais problemas que contribua*

na condução de iminentes ações para reduzir o impacto sobre o sistema hídrico com base nas tecnologias IoT, CEP e Processos Declarativos? é respondida positivamente após a realização dos cenários 1 e 2 e obtidos seus resultados através de simulação. Conclui-se, portanto, que a combinação dessas tecnologias envolvidas na criação do REFlex Water é viável e funcional contribuindo no processo de gestão para detecção de problemas no contexto de sistemas de abastecimento de água. Adicionalmente, a forma como ele foi estruturado permite que seja implantado rapidamente a qualquer tipo de sistema e não apenas a sistemas de abastecimento de água.

5.2 ETAPA 2: ANÁLISE QUALITATIVA

Esta seção descreve de forma geral a análise da contribuição do REFlex Water para sistemas de abastecimento de água, destacando a metodologia da pesquisa, o instrumento adotado para levantamento dos dados e realização da entrevista com os especialistas, o perfil dos entrevistados e suas análises.

5.2.1 Método

5.2.1.1 Tipo da Pesquisa

Considerando a natureza da pesquisa, esta tese pode ser classificada como uma pesquisa básica e aplicada. De acordo com [Moresi et al. \(2003\)](#), a pesquisa básica tem como objetivo a geração de novos conhecimentos para o avanço da ciência sem a necessidade de aplicação prática predeterminada e a pesquisa aplicada, gerar conhecimentos a partir da aplicação da abordagem para solucionar problemas específicos.

Considerando sua abordagem, este trabalho adota a abordagem qualitativa, que considera o vínculo dinâmico e indissociável existente entre a objetividade do mundo e a subjetividade do sujeito que não pode ser convertido em números ([MORESI et al., 2003](#)). Não necessita de aplicação de métodos e técnicas estatísticas e se concentra no aprofundamento da compreensão dos fenômenos na visão dos sujeitos do contexto estudado.

Quanto aos fins, esta pesquisa pode ser considerada exploratória e descritiva, pois

busca aprofundar os conhecimentos acerca dos sistemas de abastecimento de água. Por conseguinte, possibilita conhecer sua realidade, situações e problemas. Quanto aos meios, pode ser classificada em pesquisa bibliográfica, de laboratório (referente as simulações em computador realizadas) e estudo de caso (MORRESI et al., 2003).

5.2.1.2 Método Escolhido

O método entrevista foi utilizado com abordagem semiestruturada, que se aproxima mais de um contexto de uma conversa informal, focada em um conjunto de questões definidas antecipadamente (BONI; QUARESMA, 2005). E tem como objetivo compilar dados importantes para a pesquisa, além de estreitar a interação entre entrevistado e entrevistador, favorecendo maior espontaneidade nas respostas (BONI; QUARESMA, 2005).

Diversas medidas foram tomadas pelo pesquisador para realização das entrevistas do estudo:

1. Envio de carta aos participantes, convidando-os a participar da reunião e, posteriormente, envio para assinatura dos termos de consentimento livre e esclarecido para participar da pesquisa e gravação de voz (Apêndice A, B e C).
2. Realização de reunião de apresentação com os entrevistados da empresa para que eles entendessem o objetivo da pesquisa e o como se dá o funcionamento do REFlex Water, incluindo demonstração de uso.
3. Aplicação do questionário no término da apresentação (Apêndice D).

5.2.1.3 Instrumento de Coleta de Dados

Essa etapa tem como objetivo definir um questionário para avaliação do REFlex Water a partir da perspectiva de intenção de uso. Para tal, buscou-se um modelo científico padronizado e validado, amplamente discutido na literatura, que é o *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology UTAUT* - Teoria Unificada de Aceitação e Uso de Tecnologia.

O modelo UTAUT, criado por Venkatesh et al. (2003), é o resultado da síntese de oito teorias/modelos de uso da tecnologia que centraliza os fatores que determinam a

intenção de usar uma tecnologia, principalmente em contextos organizacionais (VENKATESH et al., 2003). O modelo é composto por quatro dimensões: desempenho, expectativa de esforço, influência social e condições facilitadoras. Além desses, o modelo considera mais quatro condições moderadoras das decisões de aceitação e uso da tecnologia: idade, gênero, experiência e voluntariedade de uso. A experiência refere-se ao grau de familiaridade do usuário com o sistema em questão. Esta, adquirida através de uso prévio da tecnologia; e a voluntariedade contempla o grau em que o usuário acredita ser obrigatório ou não o uso do sistema em seu trabalho (VENKATESH et al., 2003).

Como os construtos Influência Social e Condições Facilitadoras afetam apenas o uso efetivo do sistema e este não foi implantado, optou-se por não incluí-los no questionário aplicado, assim como, experiência e voluntariedade de uso. Adicionalmente, nos ambientes organizacionais, a utilização de uma determinada tecnologia é mandatória.

O questionário criado é formado por quatro blocos. O primeiro bloco (formado por sete questões) refere-se à caracterização dos participantes da pesquisa. O segundo bloco (composto por três questões) trata do alinhamento do participante frente à proposta de pesquisa. No terceiro bloco (formado por oito questões), a adequação do RE-Flex Water no processo de abastecimento de água. Por fim, o quarto bloco (formado por oito questões com escala de concordância de cinco pontos tipo Likert (LIKERT, 2017)) tem como base o modelo original UTAUT o qual foi traduzido e adaptado para o contexto desta pesquisa.

Para facilitar a compreensão da estrutura da entrevista, apresenta-se o Quadro 2, no qual se especificam as questões de cada bloco e a convenção adotada para a identificação dos participantes da pesquisa.

O questionário completo utilizado nesta tese e as escalas utilizadas estão no Apêndice D.

Quadro 2 – Blocos do Questionário.

Bloco	Identificador do Bloco	Identificador do Participante
Caracterização do participante	Bloco 1	EE1, EE2, EE3, EE4, EE5, EE6, EE7, EE8, EE9, EE10
Alinhamento sobre a proposta de pesquisa	Bloco 2	
Análise de adequação do RE-Flex Water no processo de abastecimento e distribuição de água	Bloco 3	
Expectativa de desempenho e esforço	Bloco 4	
EE: E specialista E ntrevistado		

Fonte: Do autor

5.2.1.4 Técnica de Análise dos Dados

As técnicas de análises adotadas são análise de conteúdo proposto por [Bardin \(2016\)](#), que descreve como um conjunto de técnicas de análises de comunicação que utiliza procedimentos sistemáticos e perpassa as etapas descrição do conteúdo das mensagens, inferência e interpretação ([BARDIN, 2016](#)) dessas mensagens; e análise de dados da escala de Likert de cinco pontos, proposta por [McClelland \(1976\)](#), que busca identificar padrões de respostas semelhantes e coerentes entre os participantes.

As gravações dos áudios das entrevistas foram utilizadas na análise dos dados qualitativos. Os arquivos de áudio foram transcritos, lidos e, analisados conforme a análise de conteúdo.

5.3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.3.1 Perfil dos Participantes da Pesquisa

Foram obtidas dez respostas do questionário respondido por especialistas da Empresa XYZ brasileira.

A Idade dos entrevistados variou de 20 até 60 anos; com relação ao nível de escolaridade dos entrevistados, 5 (50%) possuíam apenas graduação, 1 (10%) possuía

especialização, 3 (30%) possuíam mestrado, sendo que 1 estava com doutorado em andamento, e 1 (10%) possuía doutorado.

Em relação ao cargo que ocupa na empresa de água, 3 (30%) são engenheiros, 1 (10%) é coordenadora da central de controle operacional, 2 (20%) são técnicos, 4 (40%) ocupam outros cargos (e.g., operador de ETA e analista de saneamento).

As entrevistas foram realizadas no formato remoto e individual entre os meses de fevereiro a maio de 2022 e tiveram duração média de 40 (quarenta) minutos, tendo sido gravados os áudios com o consentimento dos entrevistados e, posteriormente, transcritos para execução da análise.

Após a apresentação do perfil dos participantes da pesquisa, realiza-se a apresentação dos resultados de análise dos dados.

5.3.2 Análises dos Participantes

A seguir os resultados das questões e os pontos relevantes retirados das entrevistas serão apresentados.

O **Bloco 2** iniciou com o questionamento: *O REFlex Water é formado por 3 camadas: PHYSICAL, MIDDLEWARE IOT, APPLICATION. Você compreendeu plenamente cada camada? Em caso negativo, o que gostaria que fosse esclarecido?*

Todos os entrevistados relataram terem compreendido plenamente cada camada do REFlex Water e sua finalidade. Isso demonstra a clareza da proposta em sua exposição durante a reunião, bem como na alusão do funcionamento e aplicação após os entrevistados serem submetidos a utilizar a solução. A maioria dos entrevistados não teceram justificativas que fossem além de mencionar que tinham entendido todas as camadas. Contudo, as colocações do EE3 e EE8 merecem ser salientados:

“então, compreendi sim, plenamente cada camada. Desde o envio dos dados dos sensores de campo até a camada de aplicação para usuário final, que está monitorando e gerenciando o sistema.” (EE3, 2022).

Eu compreendi, compreendi, achei bastante interessante. E essa parte de coleta e análise que você falou. Na minha empresa já se tem uma. É uma equipe responsável por essa coleta. É bastante interessante isso aí, porque ele age de uma forma preventiva. (EE8, 2022).

O segundo questionamento teve a seguinte estrutura: *O REFlex Water prevê 03*

(três) contribuições resultantes da união das tecnologias IoT, Processos Declarativos, CEP: (i) gestão inteligente de água, (ii) representação de políticas de água, e (iii) integração com uma ferramenta de simulação de redes de água. Você compreendeu plenamente cada contribuição? Em caso negativo, o que gostaria que fosse esclarecido?

De igual maneira, todos os entrevistados não apresentaram dúvidas ou quiseram algum tipo de esclarecimento referente a cada contribuição apresentada. Entretanto o EE1, EE4, EE7 e EE8 teceram considerações que merecem destaque:

“tem muita coisa por trás. É muito interessante esse negócio.” (EE1, 2022).

“o que eu gostaria de entender mais a fundo é justamente os equipamentos. Da parte da tecnologia. Vai ser disponibilizado no objeto de estudo ou já vai ser disponibilizado junto quando for implantado?” (EE4, 2022).

Deu pra entender perfeitamente que desenvolveu o software baseado em simulação que a empresa usa. É assim mesmo, a pessoa planeja uma coisa mas no futuro vai aumentar né, ela vai crescer. A pessoa tem que fazer um software parrudo o suficiente que vai comportar todas essas alterações do futuro que vai deixar o sistema mais complexo e mais completo. (EE7, 2022).

No caso eu poderia assim, aplicar pra começo vamos dizer assim, bairros, e cada bairro ter o sistema, e assim eu querendo aplicar por exemplo, nesse bairro em determinadas ruas eu posso aplicar com o passar do tempo e ter esse crescimento? é bastante interessante. (EE8, 2022).

O último questionamento do bloco inquiriu: *De forma geral, em sua opinião, a proposta e a forma que o REFlex Water foi construído estão compreensíveis? Justifique sua resposta.*

Em sua justificativa o EE2 frisou:

Elas estão bem claras, são compreensíveis, sim. Com o objetivo bem claro do passo a passo de tudo o que será feito e será implementado e, com o resultado também, claro que deixa a pesquisa bastante enriquecedora. ...isso ficou bem claro para mim e bastante satisfatório. (EE2, 2022).

O EE3 acrescentou:

“é intuitivo, você observar como o sistema foi montado e como é possível utilizar essas informações para o gerenciamento da rede de água. Entendi que serviria desde a produção até a distribuição de água.” (EE3, 2022).

Reforçado pelas observações feitas pelo EE5, EE7 e pelo EE10:

“foi desenvolvido de forma bem objetiva. eu enxergo também como algo que vai trazer uma grande contribuição para a companhia.” (EE5, 2022).

“É tão compreensivo, e, sim, dá para entender que o tomador de decisão que vai estar lá na frente da tela não é, com o software e com todos esses dados na mão vai ter plena capacidade de gerenciar bem o sistema de água.” (EE7, 2022).

“Sim, não tive problema de entendimento.” (EE10, 2022).

O EE9 apesar de ter compreendido, destacou a necessidade de ser apresentado exemplos de como a proposta iria atuar na redução de perdas de água:

“a forma como foi construído foi bastante compreensível. Mas senti falta de mais exemplos sobre a proposta, como iria reduzir a perda de água por exemplo.” (EE9, 2022).

Com o término do Bloco 2, foi possível comparar os relatos e concluir que a proposta foi plenamente entendida pelos participantes. A ressalva feita pelo EE4 e EE9 evidencia que o tempo dedicado à apresentação foi suficiente para o entendimento do objeto de pesquisa.

Dando continuidade à entrevista, o **Bloco 3** tratou de analisar a adequação do REFlex Water iniciando com a primeira pergunta: *Em sua opinião, quais são os facilitadores para o sistema de água que o REFlex Water provê? E quais as barreiras?*

O especialista EE1 entrevistado foi enfático:

“o que facilita é esse alerta visual. e a barreira é que tem que ter um cadastro técnico atualizado para exatamente pegar essa rede que existe.” (EE1, 2022).

A resposta dada pelo especialista EE2 em detalhes ao se referir aos facilitadores e barreiras:

A proposta de ser em tempo real é chegar nas pessoas que realmente vão poder tomar a atitude. Hoje a gente abre um chamado, aí depois é que o chamado vai chamar a equipe correta para aquela localidade, porque cada localidade é uma equipe diferente para poder realizar o serviço. Então esse tempo real vai é encurtar esse tempo. (EE2, 2022).

“A barreira é se por um acaso o equipamento foi danificado ou faltar energia ou algo desse tipo que possa, estou prevendo algo bem sério que não chegue o dado. Como seria resolvido?” (EE2, 2022).

Já o EE3 relatou o seguinte comentário:

Se você concentrar isso em um único lugar, é algo bastante positivo. Como barreira, a definição dessas regras, porque muitas vezes não é uma coisa trivial. As vezes é dinâmico e muitas vezes, também as medições de campo, elas não seguem um padrão bem comportado. (EE3, 2022).

Os especialistas EE4, EE9 e EE10 em seus comentários foram muito semelhantes tratando das barreiras.

“...a comunicação, porque tem locais ruim de internet, é ruim de rede de telefonia, as vezes só se consegue dados via rádio.” (EE4, 2022).

O EE9 complementa:

“a instalação dos equipamentos de IoT nos pontos em que muitas vezes não tem nem energia perto.” (EE9, 2022).

Corroborando nesse contexto o EE10:

“a barreira estará nas instalações físicas.” (EE10, 2022).

A pergunta seguinte foi: *Você considera que o uso de PROCESSOS DECLARATIVOS do REFlex Water é suficiente para representar as atividades operacionais do sistema de água? Justifique.*

A maioria dos entrevistados não fizeram colocações que fossem além de mencionar que “sim” seria suficiente. No entanto, as colocações do EE6 e EE9 merecem destaque:

“Eu acho que ainda tem que evoluir para começar. Mas com o tempo, com certeza vai. Vai ter que ir se adaptando o sistema ainda mais.” (EE6, 2022).

“Sim, bem intuitivo ao menos para poucos itens. Porém, não consigo visualizar como ficaria em uma empresa como a XYZ que possui várias válvulas/bombas em regiões diferentes.” (EE9, 2022).

Na sequência, foi questionado: *Você considera que o uso de PROCESSAMENTO DE EVENTOS COMPLEXOS do REFlex Water é suficiente para representar padrões de interesse do sistema de água para tomada de decisão? Justifique.*

A maioria dos entrevistados não fizeram colocações além de mencionar que seria suficiente. Alguns especialistas foram detalhistas ao tecerem seus comentários como o EE2 que destacou:

“É, ele realmente funcionando 100% e tendo especialista que realmente saiba ler todos os dados e interpretar de forma correta e em tempo real, com certeza.” (EE2, 2022).

O entrevistado (EE4) fez o seguinte questionamento:

...se é um sistema isolado que a gente consegue ter o controle de todas as entradas e saídas, sim. O CEP vai funcionar muito bem na tomada de decisão, tá. Mas se eu tiver um sistema complexo que eu tenho entradas, por exemplo, que não são medidas, tá. Só um exemplo. Eu não vou conseguir, porque vai ter uma entrada de dados ali que eu não tenho. (EE4, 2022).

E o EE10 em seu relato acrescentou:

“Não. Entendo que seria necessário interagir mais com equipes de campo para entender a prática do negócio.” (EE10, 2022).

O próximo questionamento trouxe a pergunta: *Você considera que a INFRAESTRUTURA DE IOT do REFlex Water é suficiente para ser aplicada em sistemas de água? Justifique.*

A maioria dos entrevistados foram uniformes no julgamento: dizem acreditar que a infraestrutura seria suficiente para ser implantada em um ambiente real. Algumas colocações merecem destaque:

O entrevistado EE2:

“ela é suficiente com tudo funcionando. ...ela vai suprir todas as necessidades.” (EE2, 2022).

O EE3 mencionou:

Sim, sim, é uma coisa que é importante, verificar justamente o tamanho, a complexidade do sistema, porque é uma coisa bem crítica a questão de desempenho. Quanto mais informação a gente tem que trabalhar, maior é carga que a gente vai exigir. Então tem que ser considerado esse tipo de questão também. (EE3, 2022).

Já o EE10 disse:

“Teoricamente, sim. Mas a realidade da empresa pode dificultar a implementação.” (EE10, 2022).

Dando continuidade à entrevista, o quinto questionamento tratou: *Você considera que o PROTÓTIPO do REFlex Water é suficiente para representar essa fase de validação do Projeto? Justifique.*

A opinião dos especialistas entrevistados foram congruentes, relatando que “acreditarem que sim”. Isso demonstra que a forma que o protótipo foi concebido cobre recursos relevantes para gerenciar o sistema de água. Contudo, as colocações do EE3 e EE10 merecem destaque:

Eu acho que sim. Um ponto de prova pra gente tirar um dez, seria a submissão do projeto a um sistema mais complexo a gente poderia validar. Eu acredito que é possível sim, validar com um sistema mais simples e ver o funcionamento dele em sua plenitude em um sistema mais complexo. (EE3, 2022).

“Como validação de projeto, no nível acadêmico sim.” (EE10, 2022).

A pergunta seguinte, a sexta questão, indagou: *Em sua opinião, as contribuições providas pelo REFlex Water se adequam a sistemas de água? Qual (is) dela (s) é mais aderente? Justifique.*

Todos os entrevistados foram unânimes em responder que as contribuições serem adequadas a um sistema de água. Alguns pontos destacados por eles são descritos a seguir:

“Nós inclusive usamos uma estrutura bem parecida aqui. E vemos que esse tipo de estrutura é necessário também em outras companhias de água que já tivemos contato.” (EE3, 2022).

“A gestão inteligente de água.” (EE5, 2022).

“Na realidade, eu acho que todas, né?” (EE6, 2022).

A parte lá de acompanhamento, em tempo real. ...assim, tem alguns locais que tem já esse acompanhamento. Na capital, pelo menos na empresa que trabalho tem esse acompanhamento. Mas assim, no interior poderia ser usado isso aí. (EE8, 2022).

“Gráficos de vazão e alerta de regras.” (EE9, 2022).

Avançando, o sétimo questionamento foi: *De maneira geral, você acha que o REFlex Water consegue ser aplicado em um sistema de abastecimento de água? Justifique.*

De igual maneira, todos os entrevistados foram unânimes em relatar que a nossa proposta poderia ser implantada em um sistema de abastecimento de água.

O EE4 voltou a ressaltar a importância de ser conhecida todas as entradas e saídas para poder ter um monitoramento adequado.

“Sim, é possível. E vou reforçar o que venho dizendo: desde que seja conhecido todas as entradas e saídas, monitorar todas as variáveis, é possível sim.” (EE4, 2022).

O EE9 em seu relato mencionou:

“Sim. mas vai depender do valor, tem que calcular quanto precisaria gastar para atender uma região.” (EE9, 2022).

O EE10 externou que na empresa que trabalha possui uma iniciativa similar à nossa proposta:

“Sim. (na XYZ já temos algo estruturado sendo implantado nesse sentido).” (EE10, 2022).

Por fim, o Bloco 3 é finalizado com o questionamento: *Você sugere alguma alteração/adaptação/adequação ao REFlex Water? Quais?*

Várias sugestões oportunas e relevantes foram feitas pelos especialistas entrevistados e serão relatadas a seguir.

Para EE1, seria importante, na hora de criação da regra, escolher o item a ser monitorado, permitir selecionar um componente específico da rede para receber o alerta. Na versão atual do protótipo, é permitido selecionar o item apenas (e.g., válvula), mas não uma válvula específica. Seu relato:

Eu acho que seria mais um detalhamento só. Ali quando bota, por exemplo, válvula, a gente poder especificar o tipo da válvula, por exemplo. Vamos imaginar que o cara mora numa área que falta muita água, aí tem toda essa rede, daí ele quer saber nessa rua exatamente que horas tem falta água na área. Então poderia dar um alerta daquela rua. (EE1, 2022).

Na visão do EE2, não teria sugestões de mudança para o momento, mas que, a longo prazo, depois de colocar em uso o sistema, é que seria possível avaliar e, de acordo com as necessidades, surgir as mudanças necessárias. Conforme relatou:

...ver na prática se precisaria de mais alguma coisa. Isso a gente diz aqui, uma coisa é a gente ter a teoria e outra é a gente colocar em prática e na prática é que a gente vê realmente o que é que a gente muda e o que a gente não muda. A princípio, nada mudaria, mas na prática é que a gente veria se precisaria ou não de mudança. (EE2, 2022).

A opinião do EE6 é parecida com o relato anterior:

“...eu achei que se houver alguma alteração, é quando você estiver implantando, ver a realidade de cada sistema, entendesse? Mas que são coisas mínimas.” (EE6, 2022).

O EE3 também acrescentou:

O que eu poderia elencar é talvez um estudo estatístico, não sei se isso já é feito, porque eu lembro que houve uma explanação sobre que é feito um estudo estatístico inicial dos dados assim que ele chega na base de dados. Isso seria uma coisa interessante, porque às vezes o dado surge, ele acaba criando um grande problema e, em vez de

ajudar acaba atrapalhando. É sempre uma questão mais voltada para a inteligência do sistema.

Já de acordo com o comportamento, ele recomenda alguma ação? E a questão novamente de desempenho é que é uma grande preocupação. Quão rápido ele consegue dá resposta. (EE3, 2022).

Em suas colocações, o EE7 comparou o protótipo com outros sistemas que já tentaram implantar na empresa XYZ e apontou que o protótipo foi além em sua cobertura:

“acho que ele tá bem completinho. Acho que já foi um sistema que foi além dos outros que já tentaram implantar aqui, que era só para monitorar se o reservatório está transbordando ou não.” (EE7, 2022).

Ao longo da realização da entrevista não foi abordada a questão de custo de implantação da infraestrutura. Contudo, o EE8 levantou essa temática no seu relato:

“...a questão de valor do protótipo que poderia ser mais acessível, não sei o quanto é o gasto. Pelo menos na empresa que eu trabalho se fosse uma coisa assim, mais acessível.” (EE8, 2022).

No ponto de vista do EE9, algumas funcionalidades deveriam ser incorporadas, que vão desde o controle operacional dos ativos da rede de água até a forma que os usuários visualizam as informações gráficas e de regras:

Melhor ainda se tiver um controle de manobras (ligar e desligar das bombas) para definir o curso da água ou rodízio. Ajuste no gráfico por região/local para entender se foi vazamento ou consumo atípico da região. Lista de regras por usuário (usuário X só vê as regras de Recife e o Y só as regras de Olinda, por exemplo). (EE9, 2022).

Os demais não teceram justificativas que fossem além de dizer que não teriam sugestões para o momento.

Após ouvir as sugestões dos especialistas entrevistados, o terceiro bloco, que objetivava investigar a adequação do REFlex Water no processo de abastecimento e distribuição de água, foi finalizado.

Vale salientar que, nesta etapa, a finalidade do protótipo era oferecer uma visão macro de como o REFlex Water se comportaria em um sistema real. Dessa forma, algumas particularidades evidenciadas pelos entrevistados eram esperadas, demonstrando que, embora altamente satisfatório, ainda há espaço para aperfeiçoar a proposta.

O Bloco final da entrevista, **Bloco 4**, aborda a expectativa de desempenho e esforço. A avaliação da percepção dos especialistas se deu a partir dos dados coletados

no questionário e adotou o método proposto por McClelland (1976), que visa analisar os resultados obtidos na forma de escala de Likert.

A Tabela 9 apresenta as respostas dadas pelos participantes para as perguntas (19 a 26) do Bloco 4.

Tabela 9 – Resultados Obtidos no Bloco 4 do Questionário.

Participante	19	20	21	22	23	24	25	26	Total
EE1	1	1	1	1	5	5	5	5	24
EE2	5	4	4	5	5	4	4	4	33
EE3	4	3	2	3	4	5	3	5	29
EE4	5	5	5	5	5	5	5	5	40
EE5	5	3	3	4	5	5	5	5	35
EE6	5	5	5	5	5	5	5	5	40
EE7	5	5	5	5	5	5	5	5	40
EE8	4	4	4	4	5	4	4	4	33
EE9	1	1	1	1	5	5	5	5	24
EE10	5	4	4	4	3	3	3	4	30
Total	40	35	34	37	47	46	44	47	330

Fonte: Do autor

De acordo com o método adotado, para analisar os dados na forma da escala de Likert, calculou-se o nível de concordância (NC), multiplicando a quantidade de perguntas (QP) pelo índice (I) correspondente à resposta ($Neutro = 3$), conforme Equação 5.1.

$$NC = QP * I \quad (5.1)$$

O NC encontrado é igual a 24, ou seja, $NC = 8 * 3$. Analisando as linhas da Tabela 9, os EE1 e EE9 atingiram 24 pontos, exatamente o mesmo valor calculado para o NC , que corresponde a $Neutro$. Em outras palavras, os especialistas EE1 e EE9 demonstram não possuírem opinião definida no que se refere à percepção da expectativa de desempenho e esforço que teriam ao utilizar o REFlex Water. Os demais especialistas entrevistados, revelam, de maneira geral, uma avaliação satisfatória para a expectativa de desempenho e esforço do REFlex Water, pois obtiveram valores superiores a 24 pontos.

A segunda análise tem como objetivo identificar os índices de respostas dos especialistas que avaliaram os aspectos apresentados do REFlex Water positivamente,

negativamente ou não possuíam opinião conclusiva. Para tanto, foi calculado o padrão de concordância (PC), multiplicando a quantidade de especialistas (QE) entrevistados pelo índice (I) correspondente à resposta ($Neutro = 3$), conforme Equação 5.2.

$$PC = QE * I \quad (5.2)$$

O PC encontrado é igual a 30, ou seja, $PC = 10 * 3$. Analisando as colunas da Tabela 9, todos os itens tiveram pontuação acima de 30 pontos. As perguntas 23, 24 e 26 tiveram as maiores pontuações. Portanto, de modo geral, constatamos que os especialistas entrevistados concordam sobre o fato de que: **A maneira de interagir com o REFlex Water é simples e objetiva, que seria fácil para um indivíduo adquirir habilidades para manusear as suas funcionalidades e de que aprender a utilizá-lo seria uma tarefa fácil.** Adicionalmente, apesar de as perguntas 20 e 21 terem as menores pontuações, ainda sim, há uma concordância entre os entrevistados que o REFlex Water impactaria positivamente no desempenho de suas atividades no dia a dia, **usar o sistema poderá permitir realizar tarefas mais rapidamente e usar o sistema aumentará a produtividade.**

Após a realização da segunda etapa, percebe-se que os resultados alcançados seguem na mesma direção dos achados anteriores, corroborando positivamente em responder a pergunta de pesquisa deste trabalho. A partir da análise dos especialistas, sim, o REFlex Water pode ser uma ferramenta valiosa para esses sistemas. Conclui-se, portanto, que em relação aos itens que descrevem expectativas de desempenho (perguntas 19 a 22) e esforço (perguntas 23 a 26), resultou de modo geral, que o REFlex Water foi avaliado positivamente quanto às perspectivas de desempenho e esforço observada pelos especialistas entrevistados.

5.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo apresentou a prova de conceito realizada para demonstrar o potencial do REFlex Water através de dois cenários na etapa 1. Coleta e envio de dados, envio de email com alertas e monitoramento de dados foram considerados. Adicionalmente, a extensão EPANET-RWX, responsável pela integração entre a ferramenta de simulação EPANET e o REFlex Water, demonstrou atender às expectativas para qual

foi concebida. Na etapa 2, foram realizadas entrevistas com especialistas do setor de água para avaliar as expectativas de desempenho e esforço percebida no uso do REFlex Water, tomando como base o modelo UTAUT. A avaliação positiva em relação a perguntas que descrevem expectativas de desempenho (perguntas 19 a 22) e esforço (perguntas 23 a 26) implica que, via geral, o REFlex Water foi bem avaliado. Dessa forma, entende-se que o emprego das tecnologias IoT, CEP e processos declarativos contribuíram para o avanço no desenvolvimento de novas soluções tecnológicas para sistemas de abastecimento de água. Cabe ressaltar, que a adoção do CEP foi capaz de lidar com o volume de dados, identificando padrões de interesse de modo a corroborar na geração de alertas e na tomada de decisão.

6 CONCLUSÕES

A Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) tem atraído o interesse de unidades gestoras que têm adotado soluções tecnológicas para automatizar as operações e seus processos de negócios nos sistemas brasileiros de abastecimento de água. O grande desafio é o desperdício de água, que atinge cerca de 40% do volume total de água que escoar por esses sistemas. Nesse contexto, a *Internet of Things* (IoT) surge como aliada para gerenciar de forma contínua e estável a distribuição de água, pois permite a integração de múltiplas tecnologias.

A pergunta de pesquisa que direcionou o desenvolvimento deste estudo: *Como auxiliar no processo de gestão de sistemas de abastecimento de água para detecção de eventuais problemas que contribua na condução de iminentes ações para reduzir o impacto sobre o sistema hídrico com base nas tecnologias IoT, CEP e Processos Declarativos?* elevou-se do anseio do autor em realizar uma pesquisa que promovesse sua cooperação em gerar novas oportunidades para a sociedade.

Com o intuito de aprofundar o conhecimento sobre o emprego dessa tecnologia pelo sistema de abastecimento de água, a presente pesquisa trouxe como objetivo geral propor uma solução de IoT chamada REFlex Water para gestão de água, fundamentando-se no conceito de *Internet of Things* (IoT), processos declarativos e processamento de eventos complexos (CEP). Com vistas ao alcance do objetivo geral, procuraram-se na literatura estudos (Capítulo 2), plataformas de *middleware* (Seção 3.2.1) e modelos (Seção 5.2.1.3) já estabelecidos para nortear a pesquisa aplicada. A execução dos objetivos específicos foram bem sucedidos e referiam-se a (i) propor uma arquitetura que reúne IoT, CEP e processos declarativos para gerenciar sistemas de abastecimento de água; (ii) implementar uma PoC de acordo com as definições arquiteturas; (iii) desenvolver um protótipo para avaliar cenários utilizando a PoC como base para demonstrar a aplicabilidade do REFlex Water; e a partir dessas informações, (iv) validar, conjuntamente com os especialistas do setor de água, a adequação do REFlex Water ao sistema de abastecimento de água.

Esses itens da literatura propiciaram ao pesquisador desenvolver uma arquitetura de IoT e formatá-la dentro de uma solução denominada REFlex Water. À vista disso, consoante aos resultados auferidos, o primeiro e o segundo objetivos específicos fo-

ram alcançados. A avaliação do REFlex Water foi realizada em duas etapas. Na primeira, foram concebidos dois protótipos e aplicados em dois cenários que demonstraram a aplicabilidade do REFlex Water. Dessa forma, com os resultados alcançados, o terceiro objetivo específico foi atingido. Ou seja, os achados respondem à pergunta de pesquisa positivamente, a utilização de forma integrada das tecnologias de IoT, CEP e processos declarativos auxilia no processo de gestão de sistemas de abastecimento de água. Portanto, a combinação dessas tecnologias tornam o REFlex Water uma ferramenta promissora no contexto de gerenciamento de sistemas de água: os dispositivos IoT representam uma solução eficiente e de baixo custo para monitoramento contínuo e controle de muitos aspectos da distribuição de água em tempo de execução; linguagens declarativas de processos de negócios fornecem o rigor e a flexibilidade necessários para especificar sistemas cujo comportamento é difícil de prever (e.g., sistemas de abastecimento de água); a tecnologia de processamento de eventos complexos (CEP) pode lidar com grandes fluxos de dados produzidos pelos sensores IoT; além disso, a linguagem CEP pode expressar as regras definidas em uma linguagem de processo de negócios declarativa. Na segunda etapa, foram promovidas entrevistas com um grupo de especialistas do setor de água que estão em efetivo exercício num sistema de abastecimento de água. As entrevistas tiveram como meta apurar se a solução proposta nesta tese corroborava no avanço do nível de desenvolvimento de novas soluções tecnológicas para sistemas de abastecimento de água. Nela, foi apresentada ao especialista entrevistado a proposta do REFlex Water, sua arquitetura, tecnologias empregadas, suas funcionalidades e demonstração de uso e, no final, um questionário para ser respondido. De acordo com avaliação feita pelos especialistas entrevistados, os resultados sinalizam que o REFlex Water se mostra como uma ferramenta auspiciosa. Posto isso, o último objetivo específico foi culminado. Portanto, os achados asseguram positivamente, que as tecnologias empregadas na construção do REFlex Water podem contribuir para o desenvolvimento de soluções que auxiliem no gerenciamento de recursos dos sistemas de abastecimento de água. Porém, cabe ressaltar que evidenciou-se a necessidade da implantação do REFlex Water em um sistema físico para avaliação de desempenho, por exemplo, como destacaram alguns entrevistados, sendo necessário considerar algumas particularidades que só é possível no ambiente real. Muito embora, as avaliações realizadas no ambiente simulado permitiram a verificação com precisão da detecção de eventos.

Para o melhor de nosso conhecimento, este é o primeiro trabalho a usar IoT, CEP e tecnologias de processos de negócios declarativos para gerenciar sistemas de abastecimento de água.

Dessa forma, a presente tese salientou contribuições acadêmica e corporativo. Sob a ótica acadêmica, ela combinou tecnologias bem estabelecidas da computação com a multidisciplinaridade do setor de abastecimento de água. Do ponto de vista corporativo, o presente estudo abre oportunidades para o setor de água gerenciar proativamente o recurso hídrico, que tem grande impacto em diversos aspectos da vida humana, como produção de alimentos e saúde.

Ademais, a abordagem apresentada neste trabalho pode ser replicado a serviços diversos (e.g., setor energético, agricultura de precisão) onde seja possível implantar a infraestrutura necessária para o funcionamento do sistema.

Em resumo, foi atingido o desenvolvimento de uma solução para gerenciamento de sistemas de abastecimento de água que consiste na análise e tomada de decisões.

Todavia, durante a realização dessa pesquisa foram encontradas algumas limitações que destacamos na seção seguinte.

6.1 LIMITAÇÕES E TRABALHOS FUTUROS

Durante a concepção desta tese, a delimitação do escopo restringiu a investigação de alguns aspectos. Deste modo, esta seção apresenta os pontos que não foram contemplados em sua plenitude e que poderão ser aludidos em trabalhos futuros.

- O REFlex Water ainda não foi implantado para uso na prática em um sistema de abastecimento de água, antes da escrita dessa tese, devido principalmente aos custos envolvidos com equipe e materiais para instalação e remoção dos sensores por parte da concessionária de água na rede de abastecimento. Afetando, até certo ponto, a avaliação da efetividade da solução proposta. Muito embora após a realização da avaliação da primeira etapa pela simulação através do EPANET e da segunda etapa, os resultados obtidos podem ser considerados um indicativo de uma oportunidade futura para expansão desta pesquisa. Apesar dos indícios logrados, julgamos que avaliações mais profundas devem ser realizadas, a fim de examinar os aspectos que não foram elencados.

- Outra limitação considerada é a não utilização das dimensões “Influência Social” e “Condições Facilitadoras” do modelo UTAUT, já que os especialistas não foram submetidos ao uso aplicado do REFlex Water. Assim, não foi possível analisar a intenção comportamental de uso e o nível de confiança do indivíduo no que se refere à infraestrutura e suporte para uso do sistema.
- O Editor de Regras lida apenas com regras simples. A criação de regras compostas nesta versão não é possível, fazendo com que essa limitação se transforme em proposta de trabalhos futuros. Adicionalmente, incorporar recomendação de políticas de forma automática, através do aprendizado adquirido nos processamentos já realizados.
- Elaboração e avaliação de desempenho do REFlex Water para o provimento de serviços do sistema de abastecimento de água, capaz de listar o impacto da utilização de recursos sobre a disponibilidade do sistema.
- Outra área de pesquisa que pode ser investigada é o estudo do custo financeiro ou operacional para implantação e uso, possibilitando precisar os custos financeiros e operacionais para infraestrutura e tecnologia necessárias para implantação e utilização do REFlex Water.

6.2 PUBLICAÇÕES

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, o aluno obteve publicações em periódicos especializados que são apresentados a seguir.

- Gonçalves, Rosiberto and J. M. Soares, Jesse and M. F. Lima, Ricardo. An IoT-Based Framework for Smart Water Supply Systems Management. *Future Internet* 2020, 12, 114. ISSN:1999-5903, v. 12, p. 1-17, 2020.

Publicado em: 07 Jul. 2020

Edição especial: Internet of Things for Smart City Applications

Link: <https://doi.org/10.3390/fi12070114>

- Gonçalves, Rosiberto S and others. REFlex Water—A Tool for Smart Water Management. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*

2018, 05, 9. ISSN:2395-0056 / 2395-0072, v. 5, i. 9, p. 6-12, 2018.

Publicado em: Set. 2018

Link: <https://www.irjet.net/archives/V5/i9/IRJET-V5I902.pdf>

REFERÊNCIAS

- AA, H. v. d. et al. Extracting declarative process models from natural language. In: SPRINGER. *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*. [S.l.], 2019. p. 365–382.
- ABBES, H.; GARGOURI, F. MongoDB-based modular ontology building for big data integration. *Journal on Data Semantics*, Springer, v. 7, n. 1, p. 1–27, 2018.
- AGARWAL, P.; ALAM, M. Investigating iot middleware platforms for smart application development. In: *Smart Cities—Opportunities and Challenges*. [S.l.]: Springer, 2020. p. 231–244.
- ALAM, M.; SHUFIAN, A.; MASUM, M. A. A.; NOMAN, A. A. Efficient smart water management system using iot technology. In: . [S.l.: s.n.], 2021. p. 1–6.
- ALLIANCE, O. M. *OMA Specifications*. 2022. Disponível em: <<https://technical.openmobilealliance.org/index.html>> (Acesso em: 20 Nov 2022).
- ALVAREZ, M. G.; MORALES, J.; KRAAK, M.-J. Integration and exploitation of sensor data in smart cities through event-driven applications. *Sensors*, v. 19, n. 6, 2019.
- ANA, A. N. d. Á. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual*. 2019. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_anual_2019-versao_web-0212-1.pdf> (Acesso em: 07 Mai 2021).
- ANANDHAVALLI, D.; SANGEETHA, K.; DHARSHINI, V. P.; FATHIMA, B. L. Smart meter for water utilization using iot. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, v. 5, n. 4, p. 1002–1005, 2018.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. *Computer networks*, Elsevier, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.
- BALEKI, P. *O Poder do Otimismo*. 2015. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Poder-Do-Otimismo-Paulo-Baleki/dp/8587678566#detailBullets_feature_div> (Acesso em: 21 Dez 2022).
- BANDYOPADHYAY, S.; SENGUPTA, M.; MAITI, S.; DUTTA, S. Role of middleware for internet of things: A study. v. 2, 08 2011.
- BARDIN, L. Análise de conteúdo. *São Paulo: edições*, v. 70, p. 279, 2016.
- BELSHE, M.; PEON, R.; THOMSON, M. *Hypertext transfer protocol version 2 (HTTP/2)*. [S.l.]: RFC 7540, 2015. Disponível em: <<https://www.hjp.at/doc/rfc/rfc7540.html>> (Acesso em: 30 Jun 2021).
- BOCEWICZ, G.; NIELSEN, I.; WÓJCIK, R.; BANASZAK, Z. Declarative models of periodic distribution processes. In: TROJANOWSKA, J.; KUJAWIŃSKA, A.; MACHADO, J.; PAVLENKO, I. (Ed.). *Advances in Manufacturing III*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 116–129.

BONI, V.; QUARESMA, S. J. Aprendendo a entrevistar: como fazer entrevistas em ciências sociais. *Em tese*, v. 2, n. 1, p. 68–80, 2005.

BRASIL, I. T. *Perdas de Água 2020 (SNIS 2018)*: Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. 2021. Disponível em: <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/Relat%C3%B3rio_Final_-_Estudo_de_Perdas_2020_-_JUNHO_2020.pdf> (Acesso em: 06 Mai 2021).

BUCHMANN, A.; KOLDEHOFE, B. Complex event processing. *IT-Information Technology Methoden und innovative Anwendungen der Informatik und Informationstechnik*, v. 51, n. 5, p. 241–242, 2009.

BURKHART, T.; LOOS, P. Flexible business processes-evaluation of current approaches. *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2010*, p. 243, 2010.

CALAPRICE, A. *The Ultimate Quotable Einstein*. [S.l.]: Princeton University Press, 2011. Disponível em: <<https://www.travessa.com.br/the-ultimate-quotable-einstein-1-ed-2011/artigo/69516841-4744-4a0a-998c-57d93bb32993>> (Acesso em: 21 Dez 2022).

CHAQFEH, M. A.; MOHAMED, N. Challenges in middleware solutions for the internet of things. In: IEEE. *Collaboration Technologies and Systems (CTS), 2012 International Conference on*. [S.l.], 2012. p. 21–26.

COÊLHO, R. I. R. *Web-REFlex: uma solução para evitar Context Tunneling na execução de processos de negócio declarativos*. Dissertação (Dissertação) — Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

CRUZ, M. A. da; RODRIGUES, J. J. P.; AL-MUHTADI, J.; KOROTAEV, V. V.; ALBUQUERQUE, V. H. C. de. A reference model for internet of things middleware. *IEEE Internet of Things Journal*, IEEE, v. 5, n. 2, p. 871–883, 2018.

EPA. *EPANET Repository*. 2021. Disponível em: <<https://github.com/USEPA/EPANET2.2>> (acesso em: 30 Jan 2021).

ERLANG. *Build massively scalable soft real-time systems*. 2021. Disponível em: <<https://www.erlang.org/>> (Acesso em: 30 Jun 2021).

ESPERTECH. *Capítulo 5. Referência EPL: Cláusulas*. 2021. Disponível em: <http://esper.espertech.com/release-8.7.0/reference-esper/html/epl_clauses.html#epl-intro> (acesso em: 28 Jan 2021).

FARDBASTANI, M. A.; SHARIFI, M. Scalable complex event processing using adaptive load balancing. *Journal of Systems and Software*, Elsevier, v. 149, p. 305–317, 2019.

FAYAD, M.; SCHMIDT, D. C. Object-oriented application frameworks. *Communications of the ACM*, ACM New York, NY, USA, v. 40, n. 10, p. 32–38, 1997.

FIWARE. *FIWARE Repository*. 2018. Disponível em: <<https://github.com/Fiware>>.

FIWARE. *What is FIWARE?* 2018. Disponível em: <<https://www.fiware.org>>.

- FIWARE. *FIWARE: The Open Source Platform for Our Smart Digital Future*. 2021. Disponível em: <<https://www.fiware.org/>> (acesso em: 03 Fev 2021).
- FIWARE. *COMPONENTS*. 2022. Disponível em: <<https://www.fiware.org/catalogue/>> (acesso em: 20 Nov 2022).
- GADE, D. S. Reinventing smart water management system through ict and iot driven solution for smart cities. *International Journal of Applied Engineering and Management Letters (IJAEML)*, v. 5, n. 2, p. 132–151, 2021.
- GAROUSI, V.; FELDERER, M.; MÄNTYLÄ, M. V. Guidelines for including grey literature and conducting multivocal literature reviews in software engineering. *Information and Software Technology*, Elsevier, v. 106, p. 101–121, 2019.
- GOEDERTIER, S.; VANTHIENEN, J.; CARON, F. Declarative business process modelling: principles and modelling languages. *Enterprise Information Systems*, Taylor & Francis, v. 9, n. 2, p. 161–185, 2015.
- GREZ, A.; RIVEROS, C.; UGARTE, M. A formal framework for complex event processing. In: SCHLOSS DAGSTUHL-LEIBNIZ-ZENTRUM FUER INFORMATIK. *22nd International Conference on Database Theory (ICDT 2019)*. [S.l.], 2019.
- GUTH, J.; BREITENBÜCHER, U.; FALKENTHAL, M.; LEYMAN, F.; REINFURT, L. Comparison of iot platform architectures: A field study based on a reference architecture. In: IEEE. *2016 Cloudification of the Internet of Things (CIoT)*. [S.l.], 2016. p. 1–6.
- HILDEBRANDT, T. T.; MUKKAMALA, R. R. Declarative event-based workflow as distributed dynamic condition response graphs. *arXiv preprint arXiv:1110.4161*, 2011.
- HUANG, S.; WORTMANN, M.; DUETHMANN, D.; MENZ, C.; SHI, F.; ZHAO, C.; SU, B.; KRYSANOVA, V. Adaptation strategies of agriculture and water management to climate change in the upper tarim river basin, nw china. *Agricultural Water Management*, v. 203, p. 207 – 224, 2018.
- INSTITUTE, E. E. T. S. *INDUSTRY SPECIFICATION GROUP (ISG) CROSS CUTTING CONTEXT INFORMATION MANAGEMENT (CIM)*. 2022. Disponível em: <<https://www.etsi.org/committee/cim>> (Acesso em: 20 Nov 2022).
- JADHAV, S. B.; PINGLE, N. S. Automatic measurement and reporting system of water quality based on gsm. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research*, v. 2, n. 5, 2016.
- KARN, A. L.; PANDYA, S.; MEHBODNIYA, A.; ARSLAN, F.; SHARMA, D. K.; PHASINAM, K.; AFTAB, M. N.; RAJAN, R.; BOMMISSETTI, R. K.; SENGAN, S. An integrated approach for sustainable development of wastewater treatment and management system using iot in smart cities. *Soft Computing*, Springer, p. 1–17, 2021.
- KARTAKIS, S.; ABRAHAM, E.; MCCANN, J. A. Waterbox: A testbed for monitoring and controlling smart water networks. In: ACM. *Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Cyber-Physical Systems for Smart Water Networks*. [S.l.], 2015. p. 8.
- KIANI, F.; SEYYEDABBASI, A. Wireless sensor network and internet of things in precision agriculture. Science & Information Sai Organization Ltd, 2018.

- KUMAR, S.; YADAV, S.; YASHASWINI, H.; SALVI, S. An iot-based smart water microgrid and smart water tank management system. In: *Emerging Research in Computing, Information, Communication and Applications*. [S.l.]: Springer, 2019. p. 417–431.
- KUSTERKO, S.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L.; CHAVES, L. C. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, SciELO Brasil, v. 23, p. 615–626, 2018.
- LAI, C. S.; JIA, Y.; DONG, Z.; WANG, D.; TAO, Y.; LAI, Q. H.; WONG, R. T.; ZOBAA, A. F.; WU, R.; LAI, L. L. A review of technical standards for smart cities. *Clean Technologies*, MDPI, v. 2, n. 3, p. 290–310, 2020.
- LAURENT, Y.; BENDRAOU, R.; BAARIR, S.; GERVAIS, M.-P. Planning for declarative processes. In: *ACM. Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. [S.l.], 2014. p. 1126–1133.
- LENO, V.; DUMAS, M.; MAGGI, F. M.; La Rosa, M.; POLYVYANYYY, A. Automated discovery of declarative process models with correlated data conditions. *Information Systems*, v. 89, p. 101482, 2020.
- LIKERT, R. O método de construção de uma escala de atitude. In: ROUTLEDGE (Ed.). *Escala*. [S.l.: s.n.], 2017. p. 233–242.
- LIMA, E. P. d. C. Água e indústria: experiências e desafios. In: . [S.l.]: Infinita Imagem, 2018. p. 4–61.
- LUCIANI, C.; CASELLATO, F.; ALVISI, S.; FRANCHINI, M. Green smart technology for water (gst4water): water loss identification at user level by using smart metering systems. *Water*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 11, n. 3, p. 405, 2019.
- MCCLELLAND, J. A. G. Técnica de questionário para pesquisa. *Revista Brasileira de Física*, v. 1, n. 1, p. 93–101, 1976.
- MINERAUD, J.; MAZHELIS, O.; SU, X.; TARKOMA, S. A gap analysis of internet-of-things platforms. *Computer Communications*, Elsevier, v. 89, p. 5–16, 2016.
- MIRY, A. H.; ARAMICE, G. A. Water monitoring and analytic based thingspeak. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, IAES Institute of Advanced Engineering and Science, v. 10, n. 4, p. 3588, 2020.
- MODELS, S. D. *SmartWater*. 2022. Disponível em: <<https://github.com/smart-data-models/SmartWater>> (acesso em: 20 Nov 2022).
- MORARU, A.; MLADENIĆ, D. Complex event processing and data mining for smart cities. In: *Conference on Data Mining and Data Warehouses (SkiDD 2013), Held at the 15th International Multiconference on Information Society (IS-2012), 8th October*. [S.l.: s.n.], 2012.
- MORESI, E. et al. Metodologia da pesquisa. *Brasília: Universidade Católica de Brasília*, v. 108, n. 24, p. 5, 2003.
- MOTLAGH, N. H.; MOHAMMADREZAEI, M.; HUNT, J.; ZAKERI, B. Internet of things (iot) and the energy sector. *Energies*, MDPI, v. 13, n. 2, p. 494, 2020.

MQTT. *Why MQTT?* 2021. Disponível em: <<https://mqtt.org/>> (Acesso em: 30 Jun 2021).

MUHAMMAD, A. R. The future architecture for internet of things-a. In: *MAPiS 2019-First MAP-i Seminar*. [S.l.: s.n.], 2019. p. 61.

OASC, O. . A. S. C. *Minimal Interoperability Mechanisms (MIMs)*. 2022. Disponível em: <<https://mims.oascities.org/mims/oasc-mim-1-context>> (Acesso em: 23 Nov 2022).

OMG. *Business Process Modeling Notation (BPMN)*. 2020. Disponível em: <<https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/PDF>> (Acesso em: 20 Jun 2020).

OPENIOT. *Open Source cloud solution for the Internet of Things*. 2021. Disponível em: <<http://www.openiot.eu/>> (Acesso em: 26 Fev 2021).

PALADE, A.; CABRERA, C.; LI, F.; WHITE, G.; RAZZAQUE, M. A.; CLARKE, S. Middleware for internet of things: an evaluation in a small-scale iot environment. *Journal of Reliable Intelligent Environments*, Springer, v. 4, n. 1, p. 3–23, 2018.

PANAGIOTAKOPOULOS, T.; VLACHOS, D. P.; BAKALAKOS, T. V.; KANAVOS, A.; KAMEAS, A. A fiware-based iot framework for smart water distribution management. In: IEEE. *2021 12th International Conference on Information, Intelligence, Systems & Applications (IISA)*. [S.l.], 2021. p. 1–6.

PERERA, C.; ZASLAVSKY, A.; CHRISTEN, P.; GEORGAKOPOULOS, D. Context aware computing for the internet of things: A survey. *IEEE communications surveys & tutorials*, IEEE, v. 16, n. 1, p. 414–454, 2014.

PESIC, M. *Constraint-Based Workflow Management Systems: Shifting Control to Users*. Dissertação (Thesis) — Technische University Press Facilities, Eindhoven, 2008.

PESIC, M.; AALST, W. van der. A declarative approach for flexible business processes management. In: SPRINGER. *Business process management workshops*. [S.l.], 2006. p. 169–180.

PESIC, M.; SCHONENBERG, H.; AALST, W. M. Van der. Declare: Full support for loosely-structured processes. In: IEEE. *Enterprise Distributed Object Computing Conference, 2007. EDOC 2007. 11th IEEE International*. [S.l.], 2007. p. 287–287.

PESIC, M.; SCHONENBERG, M.; SIDOROVA, N.; AALST, W. M. van der. Constraint-based workflow models: Change made easy. In: SPRINGER. *OTM Confederated International Conferences "On the Move to Meaningful Internet Systems"*. [S.l.], 2007. p. 77–94.

PIRES, P. F.; CAVALCANTE, E.; BARROS, T.; DELICATO, F. C.; BATISTA, T.; COSTA, B. A platform for integrating physical devices in the internet of things. In: IEEE. *Embedded and Ubiquitous Computing (EUC), 2014 12th IEEE International Conference on*. [S.l.], 2014. p. 234–241.

PIRES, P. F.; DELICATO, F.; BATISTA, T.; BARROS, T.; CAVALCANTE, E.; PITANGA, M. Plataformas para a internet das coisas. In: *Livro Texto de Minicursos-SBRC 2015*. [S.l.]: SBC, 2015.

- PREVENTIS, A.; STRAVOSKOUFOS, K.; SOTIRIADIS, S.; PETRAKIS, E. G. lot-a and fiware: Bridging the barriers between the cloud and iot systems design and implementation. In: *CLOSER (2)*. [S.l.: s.n.], 2016. p. 146–153.
- PROYAS, A. *The Crow*. United States: Dimension Films, 1994.
- RABBITMQ. *RabbitMQ*. 2021. Disponível em: <<https://www.rabbitmq.com/>> (Acesso em: 30 Jun 2021).
- RAHMANI, A. M.; BABAEI, Z.; SOURI, A. Event-driven iot architecture for data analysis of reliable healthcare application using complex event processing. *Cluster Computing*, Springer, v. 24, n. 2, p. 1347–1360, 2021.
- RAMADHAN, A. Smart water-quality monitoring system based on enabled real-time internet of things. *Journal of Engineering Science and Technology*, v. 15, p. 3514–3527, 12 2020.
- RAY, A.; GOSWAMI, S. lot and cloud computing based smart water metering system. *2020 International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and its Control (PARC)*, p. 308–313, 2020.
- RAZZAQUE, M. A.; MILOJEVIC-JEVRIĆ, M.; PALADE, A.; CLARKE, S. Middleware for internet of things: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, v. 3, n. 1, p. 70–95, 2016.
- ROSADO, L. E. C.; LÓPEZ-JIMÉNEZ, P. A.; SÁNCHEZ-ROMERO, F.-J.; FUERTES, P. C.; PÉREZ-SÁNCHEZ, M. Applied strategy to characterize the energy improvement using pats in a water supply system. *Water*, v. 12, n. 6, 2020.
- ROSSMAN, L. A.; WOO, H.; TRYBY, M.; SHANG, F.; JANKE, R.; HAXTON, T. *EPANET 2.2 User Manual*. 2020. Disponível em: <https://github.com/USEPA/EPANET2.2/tree/master/User_Manual> (acesso em: 30 Jan 2021).
- SALVINO, M. M. *Método de Dimensionamento e Controle Operacional Otimizado para Redes de Distribuição de Água*. Dissertação (Dissertação) — Universidade Federal da Paraíba, 2009.
- SCHÖNIG, S.; JABLONSKI, S. Comparing declarative process modelling languages from the organisational perspective. In: SPRINGER. *International Conference on Business Process Management*. [S.l.], 2016. p. 17–29.
- SHAH, J. An internet of things based model for smart water distribution with quality monitoring. In: IJRSET. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. [S.l.], 2017. v. 6, n. 3, p. 3446–3451.
- SILVA, N. C.; CARVALHO, R. M. de; OLIVEIRA, C. A. L.; LIMA, R. M. F. Reflex: An efficient web service orchestrator for declarative business processes. In: *Service-Oriented Computing*. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 222–236.
- SINGH, R. P.; JAVAID, M.; HALEEM, A.; SUMAN, R. Internet of things (iot) applications to fight against covid-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*, Elsevier, v. 14, n. 4, p. 521–524, 2020.

SLANÝ, V.; LUČANSKÝ, A.; KOUDELKA, P.; MAREČEK, J.; KRČÁLOVÁ, E.; MARTÍNEK, R. An integrated iot architecture for smart metering using next generation sensor for water management based on lorawan technology: A pilot study. *Sensors*, MDPI, v. 20, n. 17, p. 4712, 2020.

SMEDT, J. D.; WEERDT, J. D.; SERRAL, E.; VANTHIENEN, J. Discovering hidden dependencies in constraint-based declarative process models for improving understandability. *Information Systems*, Elsevier, v. 74, p. 40–52, 2018.

STOMP. *The Simple Text Oriented Messaging Protocol*. 2021. Disponível em: <<http://stomp.github.io/>> (Acesso em: 30 Jun 2021).

SURESH, M.; MUTHUKUMAR, U.; CHANDAPILLAI, J. A novel smart water-meter based on iot and smartphone app for city distribution management. In: IEEE. *IEEE Region 10 Symposium (TENSYP)*, 2017. [S.l.], 2017. p. 1–5.

TELEFÓNICA. *Telefónica I+D oficial Open Source repositories*. 2021. Disponível em: <<https://github.com/telefonicaid>> (acesso em: 03 Fev 2021).

TERZIYAN, V.; KAYKOVA, O.; ZHOVTOBRYUKH, D. Ubiroad: Semantic middleware for context-aware smart road environments. In: *2010 Fifth International Conference on Internet and Web Applications and Services*. [S.l.: s.n.], 2010. p. 295–302.

TOSHEV, M. *Learning RabbitMQ*. [S.l.]: Packt Publishing Ltd, 2015.

TZAGKARAKIS, G.; CHARALAMPIDIS, P.; ROUBAKIS, S.; MAKROGIANNAKIS, A.; TSAKALIDES, P. Quantifying the computational efficiency of compressive sensing in smart water network infrastructures. *Sensors*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 20, n. 11, p. 3299, 2020.

VAZ, F. A. *Sistema operacional para residências inteligentes baseado em análise comportamental com suporte à interação natural*. Dissertação (Tese) — Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

VENKATESH, V.; MORRIS, M. G.; DAVIS, G. B.; DAVIS, F. D. User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS quarterly*, JSTOR, p. 425–478, 2003.

VIDELA, A.; WILLIAMS, J. J. *RabbitMQ in Action: Distributed messaging for everyone*. [S.l.]: Manning Publications Co., 2012. v. 2ed.

WAGNER, A.; ANICIC, D.; STÜHMER, R.; STOJANOVIC, N.; HARTH, A.; STUDER, R. Linked data and complex event processing for the smart energy grid. In: CITESEER. *LDSI@ FIA*. [S.l.], 2010.

WIRFS-BROCK, R. J.; JOHNSON, R. E. Surveying current research in object-oriented design. *Commun. ACM*, Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, v. 33, n. 9, p. 104–124, sep 1990.

YANG, L.; LEI, Z.-b.; WU, K.-h.; HUA, C.; XUAN, L.; ZHAO, X.-y.; LI, Z.-h.; SHUAI, X.-h.; TANG, Z.-m. Edge-centric computing for smart water supply: Management and service. *DEStech Transactions on Materials Science and Engineering*, n. msce, 2016.

YASIN, H.; ZEEBAREE, S.; M.SADEEQ, M.; AMEEN, S.; MAHMOOD, I.; ZEBARI, R.; IBRAHIM, R.; SALLOW, A. lot and ict based smart water management, monitoring and controlling system: A review. *Asian Journal of Research in Computer Science*, v. 8, p. 42–56, 05 2021.

ZIVKOVIC, C. *IoT Platforms, Use Cases, Privacy, and Business Models: With Hands-on Examples Based on the VICINITY Platform*. [S.l.]: Springer Nature, 2020.

APÊNDICE A – CARTA DE APRESENTAÇÃO

CARTA DE APRESENTAÇÃO

Ao (À) Senhor (a)

Assunto: Participação na Entrevista referente a pesquisa científica

Senhor (a),

Sou doutorando do Curso de Doutorado Acadêmico em Ciência da Computação do Centro de Informática (CIn) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), oferecido pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, realizando um estudo no âmbito de sistemas de abastecimento de água com o Título: **“REFlex WATER – UM FRAMEWORK DE IOT PARA GERENCIAMENTO INTELIGENTE DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA”**, sob orientação do Professor Dr. Ricardo Massa Ferreira Lima.

A pesquisa em desenvolvimento tem como objetivo propor e validar uma solução de IoT para fomentar um gerenciamento proativo em sistemas de abastecimento de água.

Para alcançar esse objetivo é necessário descrever a percepção dos profissionais do setor de água sobre a adequação da solução proposta por essa pesquisa.

Dessa forma, sendo o (a) Senhor (a) atuante no setor de água, solicito sua participação voluntária numa entrevista, que levará cerca de 60 minutos.

A sua participação contribuirá para se analisar e validar o REFlex Water produzido nesta pesquisa. O REFlex Water poderá vir a ser uma referência para a gestão de águas.

Desde já agradeço sua valiosa participação e contribuição nesta pesquisa.

Rosiberto dos Santos Gonçalves
Pesquisador

APÊNDICE B – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(ENTREVISTA)

Título da Pesquisa: **REFlex WATER – UM FRAMEWORK DE IOT PARA GERENCIAMENTO INTELIGENTE DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.**

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Massa Ferreira Lima

Pesquisador: Rosiberto dos Santos Gonçalves

1. Natureza da pesquisa: o (a) senhor (a) está sendo convidado (a) a participar desta pesquisa cujo objetivo é analisar, junto aos especialistas do setor de água, a proposta de construção de uma solução de IoT para gestão inteligente de água.
2. Participantes da pesquisa: engenheiros, coordenadores, supervisores, técnicos que atuam no setor de água.
3. Envolvimento na pesquisa: ao participar deste estudo, o (a) senhor (a) possibilitará que o pesquisador Rosiberto dos Santos Gonçalves possa desenvolver um trabalho que visa contribuir para evolução das atividades de pesquisa e desenvolvimento acadêmico do Centro de Informática (CIn) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).
O (A) senhor (a), a qualquer momento da pesquisa, pode se declinar a participar e ainda se recusar a continuar participando da pesquisa, sem qualquer ônus para a senhor (a). Sempre que desejar, poderá solicitar mais informações sobre a pesquisa por meio do telefone e/ou e-mail do pesquisador Rosiberto dos Santos Gonçalves (telefone: 98889-0728 / e-mail: rsg2@cin.ufpe.br).
4. Sobre a entrevista: será previamente agendada com o participante e seguirá um roteiro semiestruturado, com duração média de 60 minutos.
5. Riscos e desconforto: a participação nesta pesquisa não traz complicações legais e estão de acordo com a Lei Geral de Proteção aos Dados (LGPD).
6. Confidencialidade: todas as informações coletadas nesta pesquisa são confidenciais e de acesso restrito ao pesquisador e ao orientador.
7. Benefícios: desejamos que este estudo colaborativo entre pesquisador e os profissionais do setor de água corrobore para o desenvolvimento de novas estratégias de gestão dos ativos de água.

Após estes esclarecimentos, requeremos a sua concordância de forma livre para participar desta pesquisa. Para tanto, por gentileza, assinar os itens que se seguem.

Obs: Assinar esse termo depois de sanar eventuais dúvidas.

CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Tendo em vista os itens supracitados, eu, de forma livre e esclarecida, manifesto meu consentimento em participar da pesquisa. Declaro que recebi cópia deste termo de consentimento, e autorizo a realização da pesquisa e a divulgação dos dados obtidos neste estudo.

Participante da Pesquisa

Pesquisador

Orientador

Pesquisador: Rosiberto dos Santos Gonçalves

Telefone: 81 98889-0728

E-mail: rsg2@cin.ufpe.br

APÊNDICE C – TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA GRAVAÇÃO DE VOZ

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA GRAVAÇÃO DE VOZ

Eu, _____, depois de entender os métodos que a pesquisa intitulada “REFLEX WATER – UM FRAMEWORK DE IOT PARA GERENCIAMENTO INTELIGENTE DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA” emprega para a coleta de dados, assim como, ter conhecimento da necessidade da gravação de minha voz, AUTORIZO, através do presente termo, que o pesquisador Rosiberto dos Santos Gonçalves realize a gravação de minha voz sem custos a nenhuma das partes decorrente da minha participação nesta pesquisa.

Esta AUTORIZAÇÃO foi concedida através do acordo do pesquisador supracitado em garantir ao participante da pesquisa os seguintes direitos:

1. poderei solicitar a transcrição de minha gravação para leitura.
2. os dados coletados serão de uso exclusivo da pesquisa aqui citada e outras publicações dela resultante, quais sejam: revistas científicas, conferências e congressos.
3. o participante da pesquisa não terá, em hipótese alguma, sua identificação revelada em nenhum meio de publicação das informações geradas.
4. qualquer outro meio de uso dessas informações somente poderá ser feito com autorização do participante da pesquisa e,
5. poderei a qualquer momento interromper minha participação na pesquisa e/ou solicitar a posse da gravação e transcrição de minha entrevista.

Recife, ____/____ de ____.

Participante da pesquisa

Pesquisador

APÊNDICE D – ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

Bloco 1 – Caracterização do participante

1. Faixa Etária:

20 a 40 anos 41 a 60 anos Mais de 60 anos Prefiro não informar

2. Gênero: Masculino Feminino Outros Prefiro não informar

3. Nível de escolaridade:

Graduação Especialização Mestrado Doutorado
 Completo Incompleto Prefiro não informar

4. Área de formação do último nível: _____

5. Cargo na Empresa de Água

Coordenador

Engenheiro

Supervisor

Técnico

Outro: _____

6. Função exercida:

7. Tempo de empresa:

Menos de 5 anos Entre 5 e 10 anos Mais de 10 anos Prefiro não informar

Bloco 2 – Alinhamento sobre a proposta de pesquisa

8. Tendo em vista a apresentação do projeto de pesquisa “REFlex WATER – UM FRAMEWORK DE IOT PARA GERENCIAMENTO INTELIGENTE DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA”, o REFlex Water utiliza Processos Declarativos para modelar as atividades operacionais do sistema de água. Você compreendeu este conceito? Em caso negativo, o que gostaria que fosse esclarecido?

9. Tendo em vista a apresentação do projeto de pesquisa “REFlex WATER – UM FRAMEWORK DE IOT PARA GERENCIAMENTO INTELIGENTE DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA”, o REFlex Water utiliza Processamento de Eventos Complexos para identificar padrões de interesse nos fluxos de entrada de dados oriundo dos componentes do sistema de água. Você compreendeu este conceito? Em caso negativo, o que gostaria que fosse esclarecido?

10. O REFlex Water é formado por 3 camadas: PHYSICAL, MIDDLEWARE IOT, APPLICATION. Você compreendeu plenamente cada camada? Em caso negativo, o que gostaria que fosse esclarecido?

11. O REFlex Water prevê 03 (três) contribuições resultantes da união das tecnologias IoT, Processos Declarativos, CEP e Contêineres: gestão inteligente de água, representação de políticas de água e a integração com o simulador de redes de água pressurizada EPANET. Você compreendeu plenamente cada contribuição? Em caso negativo, o que gostaria que fosse esclarecido?

12. De forma geral, em sua opinião, a proposta e a forma que o REFlex Water foi construído estão compreensíveis? Justifique sua resposta.

Bloco 3 – Análise de adequação do REFlex Water no processo de abastecimento e distribuição de água.

13. Em sua opinião, quais são os facilitadores para o sistema de água que o REFlex Water provê? E quais as barreiras?

14. Você considera que o uso de PROCESSOS DECLARATIVOS do REFlex Water é suficiente para representar as atividades operacionais do sistema de água? Justifique.

15. Você considera que o uso de PROCESSAMENTO DE EVENTOS COMPLEXOS do REFlex Water é suficiente para representar padrões de interesse do sistema de água para tomada de decisão? Justifique.

16. Você considera que a INFRAESTRUTURA DE IOT do REFlex Water é suficiente para ser aplicada em sistemas de água? Justifique.

17. Você considera que o PROTÓTIPO do REFlex Water é suficiente para representar essa fase de validação do Projeto? Justifique.

18. Em sua opinião, as contribuições providas pelo REFlex Water se adequam a sistemas de água? Qual (is) dela (s) é mais aderente? Justifique?

19. De maneira geral, você acha que o REFlex Water consegue ser aplicado em um sistema de abastecimento de água? Justifique.

20. Você sugere alguma alteração/adaptação/adequação ao REFlex Water? Quais?

Bloco 4 – Expectativa de desempenho e esforço.

A seguir, uma lista de afirmações é apresentada. Analise cada afirmação e assinale o seu grau de concordância correspondente. Adote a escala abaixo para fazer sua escolha.

1	2	3	4	5
discordo totalmente	discordo	neutro	concordo	concordo totalmente

21. Eu acho o emprego do sistema útil em meu trabalho.	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
22. Usar o sistema poderá me permitir realizar minhas tarefas mais rapidamente.	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
23. Usar o sistema aumentará minha produtividade.	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
24. Usar o sistema, aumentará minhas chances de conseguir coisas que são importantes para mim.	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
25. A maneira de interagir com o REFlex Water é simples e objetiva.	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
26. Seria fácil para mim adquirir habilidades para manusear as funcionalidades do REFlex Water.	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
27. Eu acredito que seja fácil usar um sistema inteligente de gerenciamento de água.	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
28. Aprender a utilizar o REFlex Water seria uma tarefa fácil para mim.	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]

APÊNDICE E – ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO DO REFLEX WATER

docker-compose.yaml

version: "3.5"

services:

Orion is the context broker

orion:

image: fiware/orion:latest

hostname: orion

container_name: orion

depends_on:

- mongo

networks:

- reflex

expose:

- "1026"

ports:

- "1026:1026"

command: -dbhost mongo -corsOrigin __ALL -logLevel DEBUG -noCache

Cygnus is configured to write context data

cygnus:

image: fiware/cygnus-ngsi:latest

hostname: cygnus

container_name: cygnus

depends_on:

- mongo

networks:

- reflex

expose:

- "5080"

ports:

- "5080:5080"

- "5050:5050"

- "5051:5051"

environment:

- "CYGNUS_MULTIAGENT=true"

- "CYGNUS_MONGO_HOSTS=mongo:27017"

- "CYGNUS_LOG_LEVEL=DEBUG"

STH-Comet is persisting Short Term History

sth:

image: fiware/sth-comet:latest

hostname: sth

container_name: sth

volumes:

- /home/ubuntu/sth/config.js:/opt/sth/config.js

depends_on:

- mongo

networks:

- reflex

expose:

- "8666"

ports:

```
- "8666:8666"
environment:
  - STH_HOST=sth
  - STH_PORT=8666
  - DB_URI=mongo:27017
  - LOGOPS_LEVEL=DEBUG

# Engine Rule CEP
perseo-core:
  image: fiware/perseo-core
  container_name: core
  hostname: perseo-core
  environment:
    - PERSEO_FE_URL=http://perseo-fe:9090
    - MAX_AGE=6000
  networks:
    - reflex
  depends_on:
    - mongo
  deploy:
    replicas: 1
    restart_policy:
      condition: on-failure

# API Front end CEP
perseo-fe:
  image: fiware/perseo
  hostname: perseo-fe
  container_name: fe
  networks:
    reflex:
  expose:
    - "9090"
  depends_on:
    - perseo-core
  environment:
    - PERSEO_MONGO_ENDPOINT=mongo:27017
    - PERSEO_CORE_URL=http://perseo-core:8080
    - PERSEO_LOG_LEVEL=debug
    - PERSEO_ORION_URL=http://orion:1026/
    - PERSEO_SMTP_HOST=smtp.gmail.com
    - PERSEO_SMTP_SECURE=true
    - PERSEO_SMTP_PORT=465
    - PERSEO_SMTP_AUTH_USER=reflexwater2020@gmail.com
    - PERSEO_SMTP_AUTH_PASS=xxxyyyzzz
    - PERSEO_DEFAULT_SERVICE=tese
  deploy:
    replicas: 1
    restart_policy:
      condition: on-failure

# API
api:
  image: rosiberto/api-reflexwater:latest
```

```
    container_name: api
    expose:
      - "8500"
    ports:
      - "8500:8500"
    environment:
      - SPRING_RABBITMQ_HOST=rabbitmq
    networks:
      - reflex
    depends_on:
      - mongo
      - rabbitmq
      - cygnus
      - orion
      - sth

# Mensageria - Rabbitmq
rabbitmq:
  image: rosiberto/rabbitmq-reflexwater:latest
  hostname: rabbitmq
  container_name: rabbitmq
  ports:
    - 5672:5672
    - 15672:15672
  networks:
    - reflex

# Databases
mongo:
  image: mongo:3.6
  hostname: mongo
  container_name: mongo
  networks:
    - reflex
  expose:
    - "27017"
  command: --bind_ip_all --smallfiles
  volumes:
    - mongo:/data

networks:
  reflex:
    driver: bridge

volumes:
  mongo: ~
  mysql: ~
```

APÊNDICE F – RECURSOS ADICIONAIS

1. Plugin REFlex Water para Freeboard Dashboard

Este plugin freeboard Datasource permite aproveitar os recursos do REFlex Water para monitorar os parâmetros do sistema de abastecimento de água através do seu aplicativo IoT baseado no REFlex Water.

Disponível em: <https://github.com/Rosiberto/plugin-reflexwater-freeboard>

2. Arquivo de Implantação do REFlex Water:

É responsável em unir a infraestrutura baseada em FIWARE e processos declarativos para criar um ambiente de gerenciamento.

Disponível em: <https://github.com/Rosiberto/REFlexWater>

3. Imagem do Serviço de Mensageria para REFlex Water:

É responsável pelo sistema de mensageria que utiliza o RabbitMQ integrado com o Perseo (FIWARE).

Disponível em: <https://hub.docker.com/repository/docker/rosiberto/rabbitmq-reflexwater>

APÊNDICE G – ROTEIRO DE INSTALAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO FIWARE E MONGODB - MANUALMENTE

Os GEs (*Generic Enablers*) FIWARE utilizados nesse roteiro são: Orion Context Broker, Cygnus e STH-Comet. Além do banco de dados MongoDB.

Nota: existem outras formas de realizar a implantação de forma automática através do Docker e Docker-Compose (Consulte o Apêndice E).

Instalação do Orion Context Broker

1. Instalar um SO de sua escolha. (Esse processo foi testado no CentoOS7 e Ubuntu 18.04 LTS)

2. Instalar o repositório epel com o comando:

```
sudo yum install -y epel-release
```

3. Criar o repositório fiware com:

```
sudo wget -P /etc/yum.repos.d/ https://nexus.lab.fiware.org/repository/raw/public/repositories/el/7/x86_64/fiware-release.repo
```

4. Em seguida instalar o Orion Broker através:

```
sudo yum install contextBroker
```

5. Parar serviço do Orion para instalar MongoDB:

```
sudo /etc/init.d/contextBroker stop
```

Instalação e execução do MongoDB. Como usuário Root executar a lista de comandos.

1. sudo vi /etc/yum.repos.d/mongodb-org.repo

2. Editar o arquivo .repo e adicionar as linhas:

```
[mongodb-org-3.6]
name = Repositório do MongoDB
baseurl = https://repo.mongodb.org/yum/redhat/
$releasever/mongodb-org/3.6/x86_64/
gpgcheck = 1
enabled = 1
gpgkey = https://www.mongodb.org/static/pgp/server-3.6.asc116
```

3. sudo yum install -y mongodb-org

4. `sudo systemctl start mongod`

5. Para testar se o banco está online, executar o comando:

```
mongo
```

6. Depois reiniciar o Orion através:

```
sudo /etc/init.d/contextBroker start
```

7. Para conferir que o Orion está conversando com o MongoDB usar:

```
curl localhost:1026/version
```

Instalação do Cygnus deve ser da seguinte forma.

1. `sudo yum install cygnus-ngsi`

2. `sudo yum install java-1.7.0-openjdk-devel`

3. `export JAVA_HOME=/usr/lib/jvm/java-1.7.0-openjdk.x86_64`

4. **Obs:** ao configurar o `agent_1.conf` e `cygnus_instance_1.conf`, alterar (se instalar o `cygnus-ngsi` para o `cygnus` já instalado não precisa alterar):

```
AGENT_NAME=cygnusagent para AGENT_NAME=cygnus-ngsi
```

5. Como usuário `root`, iniciar o serviço `Cygnus` com o comando:

```
service cygnus start
```

Para instalar o STH-Comet.

1. instalar primeiro o “`nvm`” com o comando:

```
curl -o- https://raw.githubusercontent.com/  
nvm-sh/nvm/v0.34.0/install.sh | bash
```

2. Em seguida executar os comandos para instalar o `Node.js` com o comando abaixo. Isso deixará o `nodejs` e `npm` atualizados para a versão aceita pelo `STH-Comet`:

```
source /.bashrc  
nvm install 8.15.1.
```

3. Instalar o Git com o comando, confirmar quando for perguntado usando "y":

```
sudo yum install git
```

4. Clonar o repositório do STH-Comet com o comando:

```
git clone git://github.com/telefonicaid/fiware-sth-comet.git
```

5. Entrar na pasta criada fiware-STH-Comet:

```
cd /fiware-sth-comet
```

6. Instalar o STH-Comet com o comando:

```
npm install
```

7. Por fim, devemos iniciar o serviço através do comando:

```
npm start
```