



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

CELSO LIRA XIMENES JÚNIOR

DETECÇÃO DE VAZAMENTOS EM REDES DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO
DE SÉRIES DE PRESSÃO E CONTROLE ESTATÍSTICO

FORTALEZA

2019

CELSO LIRA XIMENES JÚNIOR

DETECÇÃO DE VAZAMENTOS EM REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE SÉRIES DE PRESSÃO E CONTROLE ESTATÍSTICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientador: Professor, PhD. Iran Eduardo Lima Neto

FORTALEZA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- X34d Ximenes Júnior, Celso Lira.
Detecção de vazamentos em redes de abastecimento de água através da utilização de séries de pressão e controle estatístico / Celso Lira Ximenes Júnior. – 2019.
145 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2019.
Orientação: Profa. Dra. Iran Eduardo Lima Neto .
1. Vazamentos. 2. Redes de abastecimento de água. 3. Sistema de Informação Geográfica. 4. Séries temporárias de pressão. 5. Controle estatístico. I. Título.

CDD 627

CELSO LIRA XIMENES JÚNIOR

DETECÇÃO DE VAZAMENTOS EM REDES DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DE SÉRIES DE PRESSÃO E CONTROLE ESTATÍSTICO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em: 29/08/2019.

BANCA EXAMINADORA

Professor Iran Eduardo Lima Neto, Ph.D. (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Professor Marco Aurélio Holanda de Castro, Ph.D. (Membro Interno)
Universidade Federal do Ceará - UFC

D.Sc. Silvano Porto Pereira (Membro Externo)
Companhia de Água e Esgoto do Ceará

Aos meus Pais e Esposa.

Provas vivas da existência de Deus.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, que na sua infinita misericórdia me deu a capacidade para enfrentar todas as tremulações da vida e por ter me abençoado com saúde e uma família perfeita.

Aos meus pais Celso e Leônia pela paciência divina, minha vida, educação e atenção. Não existem adjetivos que possam transmitir minha imensa gratidão e amor a eles.

Ao meu Tio Sérgio Lira, já faz tanto tempo, mas a saudade só aumenta.

A minha linda esposa, uma companheira completa em todos os aspectos. Sempre me estimulando em ser melhor em tudo. Você foi a responsável por mais essa conquista. Te amo.

Ao professor Iran Eduardo, pela paciência, orientações, humildade e disposição, nunca se colocando acima de nada, propondo-se sempre a entender o problema proposto e solucioná-lo em conjunto. O caminho foi árduo, mas nossas conversas me estimularam sempre a seguir em frente. Foi uma grande honra!

Aos colegas da Cagece pela pronta disposição em explicar, fornecer dados e compactuar com o objetivo do trabalho: Liduíno, Gabriella, Ulisses, Bárbara, Raul, Argus e Marcel.

Ao Diretor de Engenharia da Cagece José Carlos Asfor pelo patrocínio da pesquisa e liberações nas horas que precisei para desenvolver o mestrado.

Ao corpo docente da Pós-Graduação em Engenharia Civil, na área de concentração: Recursos Hídricos, em especial aos Professores Dr. Assis Filho, Dr. Kenedy, Dra. Ticiania, Dra. Marisete, PhD. Marco Aurélio Holanda de Castro, pelo apoio e dedicação durante as aulas.

A Banca examinadora por seu tempo, análise e críticas.

Aos colegas da turma: José Raimundo, Vicente Sanders, Átila Alves, Danilo Jorge e Lucas Falcão pela troca de informações e aprendizado, foi um prazer!

A Universidade Federal do Ceará, representada pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – DEHA pela excelência no seu ensino e pesquisa. Referência em recursos hídricos no país, deixo o meu muito obrigado!

“A definição de insanidade é fazer a mesma coisa repetidamente e esperar resultados diferentes.”

(Albert Einstein)

RESUMO

O gerenciamento do abastecimento de água nas zonas urbanas das cidades brasileiras administradas pelas Companhias de Água e Esgoto passa por desafios cotidianos. Aumentar ou mesmo manter a oferta hídrica em níveis satisfatórios e estáveis para infraestruturas cada vez maiores devido ao crescimento desordenado, somado às mudanças climáticas que trazem consigo períodos de estiagem longos e incompatíveis com as séries históricas, imputam aos Sistemas de Abastecimento dificuldades que só podem ser superadas através do incremento de eficiência nos processos de transporte da água. Nesse cenário, a gestão de perdas torna-se uma das principais ações a serem investidas pelas empresas de saneamento, principalmente no que se refere ao controle ativo de vazamentos. Diante do fato, o presente estudo objetiva desenvolver um método base para detecção de vazamentos em tempo real para redes de distribuição de água. Para tal, utilizou-se ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) gratuita (Qgis), atrelado ao processo de controle estatístico aplicado à série de pressões reais na cidade de Fortaleza. A adoção do SIG possibilitou a organização e manipulação de quantidade massiva de dados operacionais e comerciais ao longo do ano de 2018 em uma única plataforma georreferenciada, gerando um banco de dados com informações confiáveis. Com tais dados disponíveis e tratados, aplicou-se método de controle estatístico, em particular o cálculo de Média e Variância móvel Exponencialmente Ponderada (MVMEP), em séries de sinais de pressão obtidos através de monitoramento de rede de abastecimento. Ao longo do desenvolvimento foram abordados dois outros métodos, balanço hídrico e simulações da rede no software Epanet, porém não retornando resultados satisfatórios. Dessa forma, a detecção de vazamentos ficou na ordem de 60%, quando comparado com os reporte de ocorrência operacional. O tempo médio de detecção foi de 2,66 dias após ocorrido o evento de retirada de vazamento. Foi também abordado a aplicação do mesmo método no estabelecimento de grau de afinidade entre dispositivos de monitoramento na escala do macrossistema de abastecimento com dispositivos de registros de pressões na escala do microssistema. As relações máximas chegaram a 40%, apenas, apontando para o fato de que as zonas de abastecimento não estão totalmente isoladas e que há má distribuição dos dispositivos de registro de pressões no microssistema (EPZs). Outras constatações foram possíveis de se determinar, como a relação inversa entre o tempo de detecção e o número de ligações existentes, que por outro lado aquele independe do grau de afinidade entre dispositivos do macrossistema e microssistema. Portanto, o método proposto para detecção de vazamentos mostrou-se satisfatório, em face da complexidade que se há em se trabalhar com sistemas

reais robustos que possui limitações de natureza operacional, como erros de leitura nas medições, subjetividade no repasse de informações, incertezas quanto ao isolamento de zonas de abastecimento, falhas e manobras no abastecimento não registradas.

Palavras-chave: Vazamentos; Redes de abastecimento de água; Sistema de Informação Geográfica; Séries temporais de pressão; Controle estatístico; Sistema de apoio à decisão.

ABSTRACT

The management of the water source in the urban areas of Brazilian cities manages the water and sewage companies faces daily challenges. Increasing or maintaining supply at satisfactory and stable levels for ever-increasing infrastructures to the disorderly growth, coupled with climate change that brings the long drought phases and incompatible with the historical version, impute to the Supply Systems. Exceeded by increased efficiency in water transport processes. In this scenario, stock management becomes one of the main actions to be invested by sanitation companies, especially with regard to active leak control. Given the fact, the present study aims to develop a base method for real-time flow detection for water distribution networks. For this, it is necessary to use the free Geographic Information System (GIS), linked to the process of statistical control of the press series of the city of Fortaleza. The adoption of GIS has enabled a georeferenced platform organization, generating a database with reliable information. The data obtained and treated were applied the statistical control method, in particular the calculation of mean and exponentially weighted moving variance (MVMEP), in series of pressure signals through monitoring of the supply network. The data was related to other methods of the data to the software of Epanet, but did not return satisfactory sitting. Thus, detection values of around 60% were found when compared to the reports of leakage occurrence. The average detection time was 2.66 days after the leak removal event. The same was addressed in applying the method of extending maintenance devices at the macrosystem scale. As the maximums have reached 40%, just pointing to the fact that the supply zones are not totally free and there is no microsystem anymore. Other findings could be determined, such as an inversion of the relationship between detection time and number of existing connections, which are otherwise independent of the degree of affinity between macrosystem and microsystem devices. Therefore, the proposed method for the detection of voids proved to be satisfactory, given its own capacity for expression, the robustness features in force, the features of an operational nature, such as reading errors in measurements, subjectivity without passing on information, isolation of paving zones, faults and maneuvers there is no unrecorded margin.

Keywords: Leakage; Water Distribution System; Geographic Information System; Time Pressure Series; Statistical control; Decision Support System.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz de balanço hídrico proposto pela IWA.....	18
Figura 2 - Nível dos reservatórios no estado do Ceará.....	19
Figura 3 – Arranjo teórico da rede de abastecimento de água.....	28
Figura 4 – Template do software integrado em SIG no DMC de estudo em Barcelona.....	28
Figura 5 – Mapa da área de estudo	36
Figura 6 – Controle de entrada da ETA Gavião UTR 01B	37
Figura 7 – Controle de saída para o RAP Ancuri UTR 001	38
Figura 8 – Controle de saída para a ETA Oeste UTR 001A	38
Figura 9 – Locação das EPZs na plataforma SIG Qgis	39
Figura 10 – Locação das UTRs na plataforma SIG Qgis	40
Figura 11 – Locação dos logradouros na plataforma SIG Qgis	41
Figura 12 – Locação das inscrições na plataforma SIG Qgis.....	42
Figura 13 – Locação das redes de distribuição na plataforma SIG Qgis.....	43
Figura 14 – Fluxograma de macro abastecimento de Fortaleza e Região Metropolitana	45
Figura 15 – Tabulação dos dados operacionais da UTR 01 (exemplo).....	49
Figura 16 – Modelo hidráulico macrossistema.....	56
Figura 17 – Exemplificação de Diagrama interquartil	57
Figura 18 – Locação de vazamentos histórico de 6 anos	61
Figura 19 – Realização de filtro para a Zona de Abastecimento.....	62
Figura 20 – Filtro realizado para camada “Zona de abastecimento Floresta”	63
Figura 21 - Filtro realizado para camada “Vazamentos 2018”	63
Figura 22 – Realização de pesquisa espacial para as camadas filtradas.....	64
Figura 23 – Pesquisa espacial executada.....	64
Figura 24 – Quadro de atributos sem seleção da pesquisa espacial	65
Figura 25 – Quadro de atributos om dados selecionados	66
Figura B1 - Série de pressões UN MTL Fevereiro 2018.....	109
Figura B2 - Série de pressões UN MTL Junho 2018	109
Figura B3 - Série de pressões UN MTL Julho 2018	110
Figura B4 - Série de pressões UN MTL Novembro 2018.....	110
Figura B5 - Série de pressões UN MTN Fevereiro 2018	111
Figura B6 - Série de pressões UN MTN Junho 2018.....	111
Figura B7 - Série de pressões UN MTN Julho 2018.....	112
Figura B8 - Série de pressões UN MTN Novembro 2018	112
Figura B9 - Série de pressões UN MTO fevereiro 2018	113
Figura B10 - Série de pressões UN MTO Junho 2018.....	113
Figura B11 - Série de pressões UN MTO Julho 2018.....	114
Figura B12 - Série de pressões UN MTO Novembro 2018	114
Figura B13 - Série de pressões UN MTS Fevereiro 2018.....	115
Figura B14 - Série de pressões UN MTS Junho 2018.....	115

Figura B15 - Série de pressões UN MTS Julho 2018	116
Figura B16 - Série de pressões UN MTS Novembro 2018	116
Figura C1 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Cocorote fevereiro 2018.....	117
Figura C2 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Cocorote junho 2018.	117
Figura C3 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Cocorote julho 2018.	118
Figura C4 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Cocorote novembro 2018.	118
Figura C5 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Floresta fevereiro 2018.....	119
Figura C6 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Floresta junho 2018	119
Figura C7 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Floresta julho 2018	120
Figura C8 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Floresta novembro 2018	120
Figura C9 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Pici fevereiro 2018.....	121
Figura C10 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Pici junho 2018	121
Figura C11 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Pici julho 2018	122
Figura C12 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Pici novembro 2018	122
Figura C13 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Maracanaú Centro fevereiro 2018	123
Figura C14 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Maracanaú Centro junho 2018.....	123
Figura C15 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Maracanaú Centro julho 2018.....	124
Figura C16 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Maracanaú Centro novembro 2018.....	124
Figura D1 - Controle Estatístico UTR UN MTL fevereiro	125
Figura D2 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTL fevereiro	125
Figura D3 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTL fevereiro	126
Figura D4 - Controle Estatístico UTR UN MTL Junho	126
Figura D5 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTL Julho.....	127
Figura D6 - Controle Estatístico UTR UN MTL Julho.....	127
Figura D7 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTL Julho.....	128
Figura D8 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTL Julho.....	128
Figura D9 - Controle Estatístico UTR UN MTL Novembro.....	129
Figura D10 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTL Novembro	129

Figura D11 - Controle Estatístico UTR UN MTN fevereiro.....	130
Figura D12 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTN fevereiro.....	130
Figura D13 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTN fevereiro.....	131
Figura D14 - Controle Estatístico UTR UN MTN junho	131
Figura D15 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTN junho.....	132
Figura D16 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTN junho.....	132
Figura D17 - Controle Estatístico UTR UN MTN julho.....	133
Figura D18 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTN julho.....	133
Figura D19 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTN julho.....	134
Figura D20 - Controle Estatístico UTR UN MTN novembro	134
Figura D21 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTN novembro.....	135
Figura D22 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTN novembro.....	135
Figura D23 - Controle Estatístico UTR UN MTO fevereiro.....	136
Figura D24 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTO fevereiro.....	136
Figura D25 - Controle Estatístico UTR UN MTO Junho.....	137
Figura D26 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTO Junho	137
Figura D27 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTO junho.....	138
Figura D28 - Controle Estatístico UTR UN MTO Julho	138
Figura D29 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTO Julho	139
Figura D30 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTO Julho	139
Figura D31 - Controle Estatístico UTR UN MTO novembro.....	140
Figura D32 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTO Novembro.....	140
Figura D33 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTO Novembro.....	141
Figura D34 - Controle Estatístico UTR UN MTS fevereiro	141
Figura D35 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTS fevereiro	142
Figura D36 - Controle Estatístico UTR UN MTS junho.....	142
Figura D37 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTS junho.....	143
Figura D38 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTS junho.....	143
Figura D39 - Controle Estatístico UTR UN MTS julho.....	144
Figura D40 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTS julho	144
Figura D41 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTS julho	145
Figura D42 - Controle Estatístico UTR UN MTS Novembro.....	145
Figura D43 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTS novembro	146

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Série de vazão UTR 01 para o ano de 2018	49
Gráfico 2 – Série de pressão UTR 011 para o ano de 2018.....	50
Gráfico 3 – Série de pressão EPZ UN MTN ano de 2018.....	51
Gráfico 4 – Balanço hídrico entre as UTRs 01, 01A e 01B	52
Gráfico 5 – Balanço hídrico entre as UTRs 01 e 02.....	52
Gráfico 6 – Balanço hídrico entre as UTRs 01A e 039	53
Gráfico 7 - Comparativo de volumes de Entrada e Saída do RAP Ancuri - UTR 02	54
Gráfico 8 – Vazões mensais negativas UTR 062	54
Gráfico 9 – Vazões mensais negativas UTR 029	55
Gráfico 10 - Verificação de dados outliers UTR 01 (dispositivo FIT 001-S01).....	58
Gráfico 11 - Retirada de dados outliers UTR 01 (dispositivo FIT 001-S01)	58
Gráfico 12 – Verificação de dados outliers EPZ UN MTN Av. Borges de Melo	59
Gráfico 13 – Retirada de dados outliers EPZ UN MTN Av. Borges de Melo	59
Gráfico 14 - Ranking de Retirada de Vazamentos 2018	73
Gráfico 15 - Ranking de Retirada de Vazamentos 2017	73
Gráfico 16 - Ranking de Retirada de Vazamentos 2016	74
Gráfico 17 - Ranking de Retirada de Vazamentos 2015	74
Gráfico 18 - Ranking de Retirada de Vazamentos 2014	75
Gráfico 19 - Ranking de Retirada de Vazamentos 2013	75
Gráfico 20 - Gráfico de dispersão Vazamento por Número de Ligações 2018.....	77
Gráfico 21 - Gráfico de dispersão Vazamento por Número de Ligações 2017.....	78
Gráfico 22 - Gráfico de dispersão Vazamento por Número de Ligações 2016.....	78
Gráfico 23 - Gráfico de dispersão Vazamento por Número de Ligações 2015.....	79
Gráfico 24 - Gráfico de dispersão Vazamento por Número de Ligações 2014.....	79
Gráfico 25 - Gráfico de dispersão Vazamento por Número de Ligações 2013.....	80
Gráfico 26 – Consumos mais representativos no ano de 2018.....	81
Gráfico 27 – Comportamento consumo por vazamento ano 2018	84
Gráfico 28 – Séries de pressão UN MTN junho 2018.....	85
Gráfico 29 – Distribuição de frequência de reportes de vazamentos	86
Gráfico 30 – Controle estatístico UTR 06 UN MTL fevereiro	88
Gráfico 31 – Controle estatístico EPZ Av. Borges de Melo UN MTL fevereiro.....	88
Gráfico 32 – Controle estatístico EPZ Rua Aspirante mendes UN MTL fevereiro	89
Gráfico 33 – Relação tempo de detecção por número de ligações.....	96
Gráfico 34 – Relação afinidade por número de ligações.....	96

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Relação dispositivos UTR e EPZs UN MTN	46
Tabela 2 - Relação dispositivos UTR e EPZs UN MTL.....	46
Tabela 3 - Relação dispositivos UTR e EPZs UN MTO	47
Tabela 4 - Relação dispositivos UTRs e EPZs UN MTS	48
Tabela 5 – Retirada de vazamentos mensal no ano de 2018.....	68
Tabela 6 – Reportes de retirada de vazamentos	72
Tabela 7 – Número de ligações ativas	76
Tabela 8 - Taxa de Vazamento/Ligação Zonas de Abastecimento.....	77
Tabela 9 - Valores de consumo por Zona de Abastecimento	80
Tabela 10 – Taxa de consumo por ligação.....	82
Tabela 11 – Taxa de consumo por ligação.....	82
Tabela 12 – Grau de afinidade dispositivos UN MTL.....	90
Tabela 13 - Grau de afinidade dispositivos UN MTN	90
Tabela 14 - Grau de afinidade dispositivos UN MTO	91
Tabela 15 - Grau de afinidade dispositivos UN MTS.....	91
Tabela 16 – Valores médios de afinidade	92
Tabela 17 – Tempo de resposta da detecção de vazamentos	93
Tabela 18 - Tempo de detecção e quantidade de vazamentos detectados UN MTL	93
Tabela 19 - Tempo de detecção e quantidade de vazamentos detectados UN MTN.....	94
Tabela 20 - Tempo de detecção e quantidade de vazamentos detectados UN MTO.....	94
Tabela 21 - Tempo de detecção e quantidade de vazamentos detectados UN MTN.....	94
Tabela 22 – Tempo mínimo para detecção de anomalias	96
Tabela 23 – Quantidade mínima de vazamentos necessários à detecção	97

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AG	Algoritmos Genéticos
AIQ	Amplitude Inter Quartil
AS	Análise de Sinais
Cagece	Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará
CECOP	Centro de Controle Operacional
DMC	Distrito de Medição e Controle
EPZs	Estações Piezométricas
ETA	Estação de Tratamento de Água
IWA	<i>International Water Association</i>
MH	Modelagem Hidráulica
RAP	reservatório apoiado
RNA	Rede Neural Artificial
RNF	Reservatório de Nível Fixo
RNV	Reservatórios de Nível Variável
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
UN BME	Unidade de Negócio da Bacia Metropolitana
UN MPA	Unidade de Negócio Metropolitana de Produção e Macrodistribuição
UN MTL	Unidade de Negócio Metropolitana Leste
UN MTN	Unidade de Negócio Metropolitana Norte
UN MTO	Unidade de Negócio Metropolitana Oeste
UN MTS	Unidade de Negócio Metropolitana Sul
UTRs	Unidades de Transmissão Remotas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	Contextualização e Problematização	17
1.2	Objetivo geral.....	21
1.3	Objetivos específicos	21
1.4	Estrutura do trabalho.....	22
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1	Sistemas de informação geográfica	23
2.2	Modelos hidráulicos para detecção de vazamentos	25
2.2.1	<i>Modelos hidráulicos para detecção de vazamentos em regime permanente com algoritmos genéticos</i>	<i>26</i>
2.2.2	<i>Modelos hidráulicos para detecção de vazamentos em transitório com algoritmos genéticos</i>	<i>29</i>
2.3	Modelos baseados em análise de sinais	31
2.3.1	<i>Modelos baseados em análise de sinais do transitório hidráulico</i>	<i>31</i>
2.3.2	<i>Modelos baseados em análise de sinais no decorrer da operação do sistema</i>	<i>33</i>
3	APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	35
3.1	Caracterização do setor.....	35
3.2	Captação e primeiros bombeamentos.....	37
3.3	Disposição de dados comerciais e operacionais.....	39
3.4	Aquisição e interpretação de dados brutos	43
3.4.1	<i>Relação macrossistema e microssistema.....</i>	<i>43</i>
3.5	Informações de pressão e vazão adquiridas para o macrossistema	48
3.6	Informações de pressão e vazão adquiridas para o microssistema	50
3.7	Condição do sistema: balanço hídrico e modelo hidráulico do macrossistema	51
4	METODOLOGIA.....	57
4.1	Tratamento de outliers	57
4.2	Manipulação de dados em SIG	59
4.2.1	<i>Extração de dados de vazamentos</i>	<i>60</i>
4.2.2	<i>Atribuição de dados de consumo para dados do SIG.....</i>	<i>66</i>
4.3	Restrição de amostras para análise de vazamentos e consumos	66
4.4	O Método de Controle Estatístico - Média Móvel Exponencialmente Ponderada.....	68
5	RESULTADOS	72
5.1	Sistema de abastecimento de Fortaleza segundo vazamentos, consumo e ligações	72
5.1.1	<i>Análise de consumo e vazamento.....</i>	<i>83</i>
5.2	Séries de pressões e vazamentos	84
5.3	Controle estatístico	87
5.3.1	<i>Afinidade entre dispositivos.....</i>	<i>89</i>

5.3.2	<i>Detecção de vazamentos</i>	92
6	DISCUSSÕES	98
7	CONCLUSÕES	102
	REFERÊNCIAS	105
	APÊNDICE A - NÍVEIS MENSAIS RAP ANCURI	108
	APÊNDICE B - SÉRIES DE PRESSÕES	109
	APÊNDICE C - SÉRIE DE VAZAMENTOS	117
	APÊNDICE D - GRÁFICOS CONTROLE DE ESTATÍSTICO	125

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e Problematização

No setor de abastecimento de água o desperdício de água nas redes de distribuição ainda é um desafio. O Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento - SNIS, em seu relatório de 2018, afirma que no país 38% da água potável distribuída é desperdiçada, o que acaba por impactar a qualidade do serviço e ao acesso à água potável. Em termos financeiros, caso os percentuais de perdas nacionais diminuísse para um cenário tido como razoável, de 39% para 20%, o ganho bruto seria de aproximadamente 59,2 bilhões (BRASIL, 2018). Para se chegar a tal cenário é necessário alcançar um conjunto de metas, dentre elas, incentivos e foco na redução de perdas e seu gerenciamento. A Associação Internacional da Água, siglas em inglês IWA (*International Water Association*), classifica as perdas em real e aparente.

A perda real refere-se ao volume de água perdido durante diferentes etapas no processo de tratamento, seja da captação, passando pelo tratamento e armazenamento até a distribuição, de forma que tal produto não consegue chegar ao seu destino, ou seja, o consumidor. Já a perda aparente, também denominada de comercial, refere-se à volumes de água tratada consumidos, porém não faturados e nem autorizados pelos responsáveis, decorrentes de fraudes, ligações clandestinas ou erros na micromedição (BRASIL, 2018).

Alegre, Baptista e Cabrera jr. (2016) expõe a matriz de balanço hídrico adaptada proposta pelo IWA, fundamental na estruturação do problema das perdas no sistema de abastecimento de água, conforme disposto na figura 1. Acrescenta-se a tal contexto o fato de que o estado do Ceará passa por período de escassez hídrica desde 2011, ou seja, 8 anos com níveis críticos nos reservatórios do estado, conforme pode ser visto na figura 2. Segundo dados do Portal Hidrológico (HIDROLÓGICO, 2019) o estado do Ceará possui 155 açudes monitorados pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos com capacidade total de 18,62 bilhões de metros cúbicos. Entretanto, em agosto de 2019 o volume com carga é de 3,77 bilhões de metros cúbicos, o que representa 20,26% do volume total instalado.

Nesse cenário, o desperdício de água agrava o problema, trazendo uma pressão social a empresas gestoras de tal recurso, pois traz consigo consequências negativas como prejuízos financeiros, limitação do raio de abastecimento, fragilidade ao sistema em situações de escassez hídrica, contingenciamento de recursos para investimentos em projetos

estruturados e de expansão do abastecimento, queda na qualidade dos serviços e depreciação da imagem da empresa perante a sociedade.

Figura 1 – Matriz de balanço hídrico proposto pela IWA

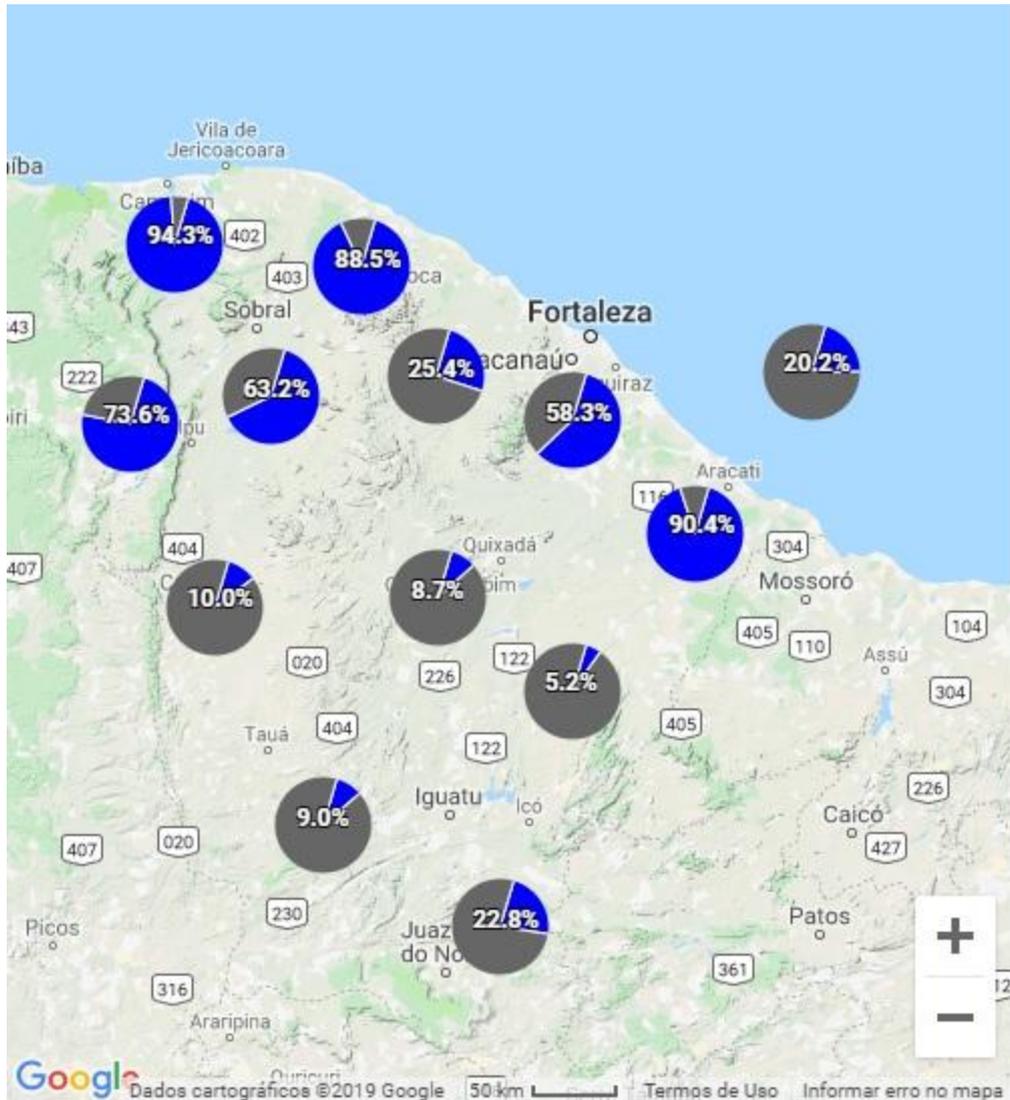
VOLUME PRODUZIDO OU DISPONIBILIZADO	CONSUMOS AUTORIZADOS	Consumos Autorizados Faturados	Consumos medidos faturados (inclui água exportada)	ÁGUAS FATURADAS	
			Consumos não medidos faturados (estimados)		
		Consumos Autorizados Não Faturados	Consumos medidos não faturados (usos próprios, caminhões-pipa)		ÁGUAS NÃO FATURADAS
			Consumos não medidos não faturados (combate a incêndios, suprimento de água em áreas irregulares)		
	PERDAS	Perdas Aparentes (Comerciais)	Consumos não autorizados (fraudes)		
			Falhas do sistema comercial		
Submedição dos hidrômetros					
Perdas Reais (Físicas)		Vazamentos nas adutoras e redes de distribuição			
		Vazamentos nos ramais prediais			
	Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios setoriais e aquedutos				

Fonte: Alegre, Baptista e Cabrera jr. (2016)

Quando não existe por parte da empresa gestora o controle e gestão de suas perdas, há naturalmente um desperdício de recursos e energia em ações emergenciais que não se findam. Com isso, recursos e energia que poderiam estar sendo empregados em novas tecnologias e na expansão da estrutura de abastecimento, encontram-se em constante contingenciamento.

Diante disso e ao acentuado estresse hídrico existente no estado do Ceará o controle de vazamentos passa a ser preponderante para, no mínimo, manter o nível atual existente de abastecimento mesmo com o crescimento populacional e industrial, sem possibilidade de aumento de oferta hídrica na produção de água tratada, como novos mananciais, por exemplo.

Figura 2 - Nível dos reservatórios no estado do Ceará



Fonte: Hidrológico (2019)

A implantação de zoneamentos menores, como Distritos de Medição e Controle – DMCs ainda continua sendo a principal ação para a gestão correta de perdas. Contudo, isso não exclui a necessidade de se ter o controle de vazamentos, seja em que escala for. Localização e reparo subtende um planejamento logístico e, com isso, investimento em capacidade de manutenção com equipamentos e corpo técnico especializado. Atualmente, a espera da ocorrência de vazamento na sua forma visível, para só então gerar mobilização de equipes não é prática sustentável e eficiente, tendo em vista o tamanho das malhas de rede de abastecimento em zonas urbanas, como a de Fortaleza, gerando um desperdício razoável. A alternativa, portanto, é se optar por um controle ativo de vazamentos para se seja possível

realizar intervenção antes ou no máximo em um momento não muito distante da ocorrência dos eventos.

A estrutura existente das empresas concessionárias brasileiras de água inclui em sua realidade: recursos limitados para compra de equipamentos, indisponibilidade de equipes, ausência de modelos hidráulicos completos, atualizados e calibrados, informações operacionais incompletas e apenas qualitativas, sem precisão, falta de controle de ativos dentre outras situações. Essas limitações podem ser mitigadas com o controle de perdas ativo que busca também dar a possibilidade de otimização da estrutura frente às inúmeras demandas cotidianas, ou seja, essa ferramenta possibilita a racionalização do emprego de recursos escassos.

O tema de controle de perdas e detecção de vazamentos é explorado de muitas formas. Apesar disso, muitas das propostas metodológicas não conseguem atender de forma objetiva o controle ativo de vazamentos nas Companhias de abastecimento de água. A causa de tal situação deve-se principalmente ao fato de que, apesar de ter havido evolução nos modelos e pesquisas, muitas das técnicas propostas ocorrem no âmbito de sistemas teóricos ou controlados em laboratórios.

Com isso, muitas das decisões tomadas em nível operacional ainda são realizadas por meio de análise pessoal de operadores que possuem experiência e acabam por decidir o arranjo das manobras de acordo com as solicitações das zonas de abastecimento, ou seja, do pedido nas microrregiões de abastecimento.

A proposição do respectivo trabalho vai de encontro a essas limitações, na medida em que busca fornecer aos operadores de sistemas de abastecimento, ferramenta e metodologia de suporte a decisão, de forma a diminuir o desperdício de recursos, através da consolidação de dados comerciais e operacionais georreferenciados e sua transformação em indicações de potenciais anomalias que denotam vazamento.

Portanto, a pesquisa de mestrado apresentada está dirigida a explorar solução para detecção de vazamentos, propondo-se metodologia que atenda os critérios do controle ativo. A abordagem utilizada é de análise de sinais de pressão adquiridos em pontos do sistema no controle em tempo real, aplicando técnica estatística sob dados adquiridos e consolidados em plataforma de Sistema de Informação Geográfica - SIG.

A escolha por tal método justifica-se pela a não necessidade de utilização de modelos hidráulicos. Como será disposto e discutido ao longo dos trabalhos, os modelos hidráulicos, apesar de serem necessários e difundidos nas empresas de saneamento, não conseguem retorna resultados confiáveis, em detrimento da imprecisão de dados básicos, falhas operacionais, registro parcial de manobras e manutenções, além da informação qualitativa.

Para desenvolvimento de tal abordagem a pesquisa demonstrará as etapas necessárias do levantamento de dados operacionais e comerciais e, assim, tornar possível a análise dos sinais. Ressalta-se a inexistência de muitos trabalhos com aplicação em situações reais, e a constatação de dificuldades na aquisição de dados, interpretação e na consequente compilação destes de forma a deixá-los adequados à análise de sinais. A grande questão é não somente a obtenção de dados brutos de diversas fontes e sistemas, muitas vezes criticadas por uma gama limitada de técnicos. E sim a compilação, em um sistema real, não integradas em sua plenitude, somando-se a isso, a inexistência de controle de ativos (idade de tubulações), variação de cotas em torno de 100 metros, falhas no sistema de medição e controle e registro anual de uma média de 4.891,00 vazamentos em uma área com mais de 1 milhão de ligações ativas consumindo mensalmente em torno de 10 bilhões de metros cúbicos de água tratada.

O escopo do trabalho trabalhará em torno de uma única hipótese: a ocorrência de vazamento traz consigo alterações no estado de pressões padrão de um sistema.

1.2 Objetivo geral

Desenvolver metodologia de detecção ativa de vazamentos em redes de distribuição de água.

1.3 Objetivos específicos

- Organizar e consolidar base de dados comerciais e operacionais reais utilizando ferramenta SIG, a fim de caracterizar e tratar os dados para estudo de dados para o estudo de análise de sinais;
- Estruturar o funcionamento do macrossistema de abastecimento de água, indicando fluxos de adução principal e derivações para o microssistema de rede de abastecimento de água, determinando valores de vazões e consumos no Microssistema para cada derivação;
- Realizar pré-processamento de dados de pressão e vazão do macrossistema através de análise de dados brutos e da retirada de outliers para estabelecimento de banco de dados de vazão e pressão nas derivações nas zonas de abastecimento;

- Separar período e setores de abastecimento representativos para análise de variação das séries de pressão do macrossistema e nos setores de abastecimento /microsistema;
- Aplicar método de controle estatístico nas séries selecionadas de macrossistema e microsistema;
- Relacionar pontos de detecção de anomalia resultante da aplicação de controle estatístico com reportes de retirada de vazamentos;
- Avaliar o método de detecção proposto face à realidade operacional disposta.

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho está dividido em sete capítulos, sendo o primeiro, uma introdução do contexto acerca do controle de perdas e sua importância para a qualidade de uma população.

No segundo capítulo é apresentada a Revisão Bibliográfica, que abrange a terminologia acerca dos temas principais, classificação das abordagens, listagem das abordagens para o problema de perdas de água com o histórico temporal de tais proposições.

No terceiro capítulo é apresentado o estudo de caso, dispondo das características comerciais e operacionais específicas do setor de abastecimento de água da cidade de Fortaleza e Região Metropolitana em que se aplica a pesquisa e ferramenta proposta de detecção de vazamentos

No quarto capítulo é descrita o procedimento metodológico que se utilizou para obtenção, organização, consolidação e tratamento estatísticos de dados reais necessários para o atingimento dos objetivos específicos e obtenção do resultado estabelecido no objetivo geral.

No quinto capítulo são apresentados os resultados obtidos após aplicação da manipulação com o Sistema de Informação Geográfica e do método de controle estatístico com dados reais do macrossistema e microsistema do sistema de abastecimento de água estudado.

No sexto capítulo é realizada discussão dos resultados do trabalho à luz de pesquisas semelhantes de referência na literatura. Ao final são dispostas as limitações do método proposto

No sétimo capítulo são apresentadas as conclusões do trabalho, no qual é disposto, de forma resumida, as etapas seguidas e resultados obtidos. Ao final são realizadas recomendações para futuras pesquisas e para implementações imediatas de natureza prática para a empresa de abastecimento de água do Ceará.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conforme exposto no capítulo introdutório o gerenciamento de vazamentos é um problema complexo que vem chamando a atenção e é tema de uma gama de trabalhos de pesquisa, sendo específico deste século. Já em 1920 a questão já era levantada em Babbitt, Amsbary, Gwinn (1920), no qual é possível perceber a discussão entre métodos que perduram até os momentos atuais. Os métodos comerciais comumente utilizados são denominados de passíveis, por se detectar vazamentos já existentes. Tais métodos evoluíram de simples exames visuais (umidade, abatimento em pavimento e até mesmo jatos de água) até a aplicação de sensores acústicos, medições eletromagnéticas, injeção de gás e mapeamento infravermelho (COLOMBO; LEE; KARNEY, 2009).

Entretanto, tais técnicas possuem restrições de natureza espacial, pois os vazamentos necessitam estar uma distância máxima de 2 metros do detector, no caso de método eletromagnético e a 250 metros, para o método acústico. Essas limitações impedem seu emprego ao longo de áreas extensas, como é o caso de zonas urbanas, que necessitam de fornecimento de informação sobre o estado de todo o sistema constantemente. Sua utilidade se resume à localização e não detecção, ou seja, é utilizável em momento posterior à detecção.

Diante da limitação exposta, novas metodologias têm sido desenvolvidas com o intuito de realizar a detecção ativo de vazamentos, a fim de se disponibilizar sistemas completos de monitoramento e controle quanto à ocorrência de vazamentos. A seguir são apresentadas técnicas consideradas representativas no campo da detecção de vazamentos, seguindo a classificação proposta por Gamboa-Medina (2017): técnicas de modelagem hidráulica - MH e análise de sinais - AS, sendo que para o segundo grupo há uma segregação em sinais adquiridos durante um transitório hidráulico e durante a operação normal do sistema. O trabalho desenvolvido nesta dissertação classifica-se, por sua vez, na técnica MH aplicado durante a operação normal do sistema.

Será discutido também o papel dos Sistemas de Informações Geográficas – SIG como ferramenta de apoio para a gestão e fornecimento de dados comerciais e operacionais confiáveis para aplicação em ambas as técnicas (MH e AS).

2.1 Sistemas de informação geográfica

Em função da quantidade massiva de informações comerciais e operacionais que surgem a cada instante para os gestores da área de saneamento, a tarefa de gerir processos

passa a ser fundamental para se iniciar qualquer plano de ação estruturante. Um Sistema de Abastecimento de Água é composto por grande quantidade de informações provenientes de fontes e naturezas distintas e multidisciplinares sob vários aspectos, tais como: planilhas, bancos de dados, mapas, cadastros de redes e equipamentos, cadastros comerciais, projetos e obras. A necessidade de tomada de decisão por parte dos gestores de Saneamento Básico é diária e complexa. As companhias de saneamento no Brasil gerenciam malhas de redes de abastecimento de água em cidades cujo crescimento desordenado expressivo demandam constante expansão da infraestrutura de abastecimento (NAZIF et al., 2010), de forma que o atendimento satisfatório e contínuo, como estabelecido nas diretrizes na lei 11.445/2007, é um indicador difícil de se manter.

Assim, os gestores necessitam investir em um sistema integrado capaz fornecer um melhoramento nos processos de apoio à tomada de decisão (GOUVEIA, 2009) que consigam extrair, integrar e consolidar de forma a dar consistência a quantidade massiva de dados existentes em diversos sistemas de informação e, muitas vezes, contidas na personalidade de cada colaborador da corporação.

O caráter multidisciplinar intrínseco ao SIG torna possível entendimento integrado de uma gama de problemas de diversas naturezas. A capacidade de análise espacial através de funções de reclassificação e sobreposição inferem melhorias no processo de gestão das companhias de saneamento em uma única plataforma de informação integrada, nas sub áreas de projeto, planejamento, operação e controle de perdas (ABDELBAKI et al., 2017).

Nesse sentido Ho, Lin e Lo (2010) propuseram metodologia baseada na integração de um modelo de rede neural artificial (RNA) e um sistema de informações geográficas (SIG) para avaliar o vazamento de água e priorizar a substituição de tubulações. Foram analisados dados qualificados de reporte de rompimento de dutos derivados do Sistema de Gerenciamento de Reparo de Vazamento de Dutos de *Taiwan Water Corporation*. Em comparação com os processos tradicionais para determinar as prioridades de substituição de tubos, a metodologia desenvolvida é mais eficaz e eficiente.

LI et al. (2011) desenvolveram sistema integrado para detecção, alerta antecipado e controle de vazamentos utilizado com sucesso para gerenciar redes de dutos em áreas selecionadas de Beijing. Tal método foi baseado em sistema de informações geográficas, plataforma Arcgis, e aplicado para otimizar a detecção de vazamentos de forma célere em Distritos de Medição e Controle – DMCs, além do gerenciamento de informações relacionadas à coleta, transmissão e gestão de dados. Também são propostos métodos para estimar a probabilidade de vazamento de cada segmento de tubulação (com base nos dados

históricos de vazamento) e para auxiliar na localização dos pontos de vazamento (com base nos sinais de vazamento). Como resultado, no ano de 2007 o sistema detectou 102 vazamentos não óbvios (14,2% do total detectado em Pequim) nas áreas selecionadas, o que foi estimado para economizar um volume total de 2.385.000 m³.

Arai *et al.* (2017) propôs, com base em estudos anteriores, um aprimoramento de plano de implantação ideal de número de sensores de vazamentos em válvulas de gaveta e hidrantes de incêndio, através da extração de informações de tubulações e válvulas do sistema de informação geográfica de água.

Zhong *et al.* (2019), por sua vez, apresentou um método de análise de “saliência” para detecção de vazamentos em dutos de água para alimentação de sistemas distritais de aquecimento. A detecção utiliza análise de imagens infravermelhas de sensoriamento remoto, base de imagens, informações, localização e dados gerais de tubulações e equipamentos geridos em sistema de informação geográfica. A abordagem foi validada em três conjuntos de dados adquiridos em Gävle na Suécia e Datong na China, com as fugas de aquecimento indicadas por analistas e validação de campo.

Com isso percebe-se a utilidade de estratégica que um sistema de informação geográfico fornece aos gestores de abastecimento de água, especificamente em situação de detecção de manejo de vazamentos. Em vista disso, tal ferramenta foi utilizada nesse trabalho para organizar e consolidar dados de entrada para a avaliação do método de detecção proposto.

2.2 Modelos hidráulicos para detecção de vazamentos

O uso de modelos hidráulicos para simular o comportamento físico de sistemas de distribuição de água é comumente utilizado nas concessionárias de água para aplicações como projeto, calibração, reabilitação e operação. Define-se modelo hidráulico como a representação matemática da realidade de um Sistema de Abastecimento, através de estruturação e organização de todos os componentes que o constituem, além de regras operacionais, da forma mais exata possível, retratando o modo de funcionamento. Para tal são realizadas simplificações físicas atreladas a equações que definem o funcionamento hidráulico, como equilíbrio de nós e vazão nos trechos.

Com os modelos é possível a realização de simulação computacional, permitindo prever o comportamento hidráulico e da qualidade da água em redes de abastecimento (KAPELAN; SAVIC; WALTERS, 2005).

Existem vários modelos de simulação hidráulica e a maioria deles é baseada na análise orientada pela demanda. Entretanto, para esse método existem limitações que o caracteriza como sendo inadequado em condições anormais. Neste tipo do modelo, supõe-se como conhecidos os valores das demandas dos consumidores, bem como seu padrão de consumo, ou seja, neste tipo de modelo, vazões e cargas de pressões são as variáveis de saída do modelo (GAMBOA-MEDINA, 2017).

Segundo Soares (2003) os modelos dirigidos pelas demandas podem não ser confiáveis, pois consideram que as demandas são abastecidas integralmente, independentemente dos níveis de cargas de pressões atuantes na rede. Para situações em que se deseja desenvolver avaliações de vazamentos é recomendável à análise em função de cargas e pressões (CHEUNG; ZYL; REIS, 2005 e GIUSTOLISI; SAVIC; KAPELAN, 2008) que dão ao problema um tratamento inverso, aonde são procurados valores comumente de entrada, a fim de se constatar as diferenças entre valores medidos e valores calculados. Se uma diferença significativa é detectada entre esses conjuntos de dados, uma detecção de um evento anormal é obtida.

Os modelos hidráulicos também podem ser classificados de acordo com a transição de tempo ou não. Caso não se considere a variação de tempo ao longo da simulação o modelo é denominado como estático, sendo o outro caso denominado como dinâmico. Independente disso, a calibração do sistema é fundamental para se prosseguir com a abordagem inversa. Existem forma de calibração manual e automática, sendo que a calibração manual é dispendiosa e pouco efetiva já que geralmente em sistemas reais existe uma diversidade grande de tubulações e equipamentos com características intrínsecas a cada local, deixando o processo de tentativa e erro quase inacabável.

Com isso, parte-se para alternativas de calibração automática, onde se pode obter valores das variáveis de estado, pressão, nível de reservatório e vazão, através da inserção de dados de entrada como medições de pressão e vazão em pontos da rede. Uma das técnicas bastante difundidas no meio acadêmico é a técnica de calibragem regido por algoritmos genéticos (ABE, 2014) que será explorada a seguir.

2.2.1 Modelos hidráulicos para detecção de vazamentos em regime permanente com algoritmos genéticos

Não há unanimidade metodológica a ser seguida e grande parte dos resultados obtidos na literatura ainda se embasam em situações controladas ou teóricas (GHAZALI et al., 2012). Contudo, o método levanta a possibilidade de obtenção de informação discretizada

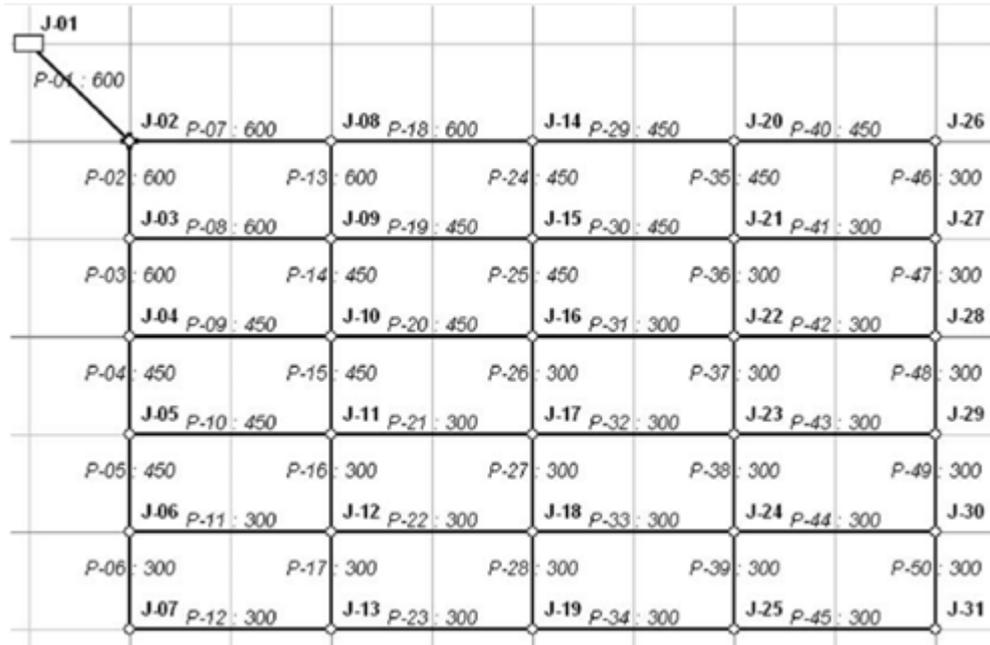
sobre o fenômeno e suas consequências, sendo possível a determinação dos locais exatos de ocorrência ao longo da extensão das tubulações modeladas.

Andersen e Powell (2000) apresentam formulação implícita para resolução do problema de estimativa do estado padrão dos mínimos quadrados ponderados para redes de água com redundância muito baixa. As variáveis de estado são utilizadas nas demandas nodais desconhecidas. O método é baseado na estrutura da equação de loop para simulação de rede. Como o método se presta ao uso de demandas nodais como variáveis de estado, torna-se particularmente adequado para redes de água com informações de fraca demanda. Uma identificação de vazamento em nós foi realizada em rede teórica. A incerteza da rede, combinada com erros de medição, assim como a cobertura insuficiente do medidor, estão fadadas a diluir o sinal de vazamento, comprometendo a eficácia do modelo, porém mesmo assim o procedimento ajuda na diminuição do espaço geográfico devido sua capacidade de detecção de potenciais erros na demanda.

Poulakis, Valougeorgis e Papadimitriou (2003) desenvolveram uma estrutura probabilística bayesiana para detecção de vazamentos em redes de abastecimento de água. Como base nas informações dos dados de teste de fluxo, o modelo é capaz de fornecer estimativas dos eventos de vazamento mais prováveis (magnitude e localização do vazamento) e as incertezas inerentes a essas estimativas. Ressalta-se que o problema de otimização discreta não considerou erro de modelo e ruído de medição a indicação do dano é exata, ou seja, a aplicação também foi realizada em rede teórica, conforme mostrado na figura 3, os coeficientes de rugosidade das tubulações foram assumidos como uniformes e as demandas iguais em todo o sistema.

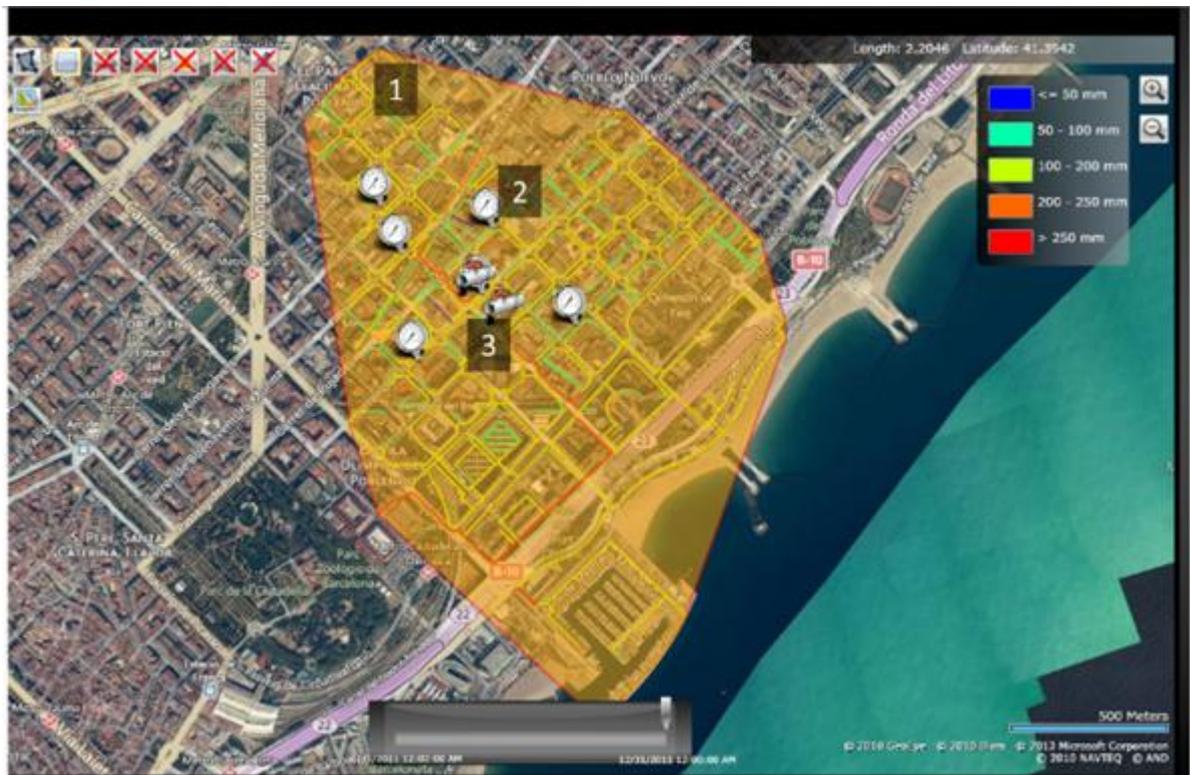
Meseguer *et al.* (2014) descreve modelo de suporte a decisão de localização de vazamentos on line e aplica do modelo em situação real para um distrito de medição e controle (DMC) na cidade de Barcelona, Espanha (figura 4). Um modelo de suporte à decisão é integrado junto ao sistema SCADA e aplicado em um distrito de medição e controle com 1.996 nós, 3.442 tubos, sendo duas entradas de medidas, com extensão total de aproximadamente 43 km. Foram utilizados 6 sensores de pressão, sendo enviados a uma taxa de 10 minutos. A ferramenta foi projetada para funcionar automaticamente, porém os autores ressaltam a necessidade de um modelo hidráulico bem calibrado (estrutura e parâmetros topológicos), a precisão na estimativa da distribuição espacial de demanda dentro do DMC e da precisão dos sensores instalados na rede. Tais condições, como já abordado, são praticamente inexistentes nas companhias de abastecimento brasileiras, tornando-se complicada a aplicação de tal ferramenta para demais casos.

Figura 3 – Arranjo teórico da rede de abastecimento de água.



Fonte: Poulakis, Valougeorgis e Papadimitriou (2003)

Figura 4 – Template do software integrado em SIG no DMC de estudo em Barcelona



Fonte: Meseguer *et al.*(2014).

Sanz *et al.* (2016) apresenta uma metodologia de detecção de vazamentos e localização combinada com calibração também em um DMC de Barcelona, Espanha, composto por 3.455 tubos, 3.377,00 nós com consumo médio de 33 L/s. A detecção de vazamento é baseada na comparação entre os componentes atualmente calibrados e os históricos. A distribuição geográfica dos parâmetros de demanda permite uma localização direta do vazamento. No entanto, a metodologia desenvolvida tem que ser testada em estudos de caso adicionais sob múltiplas condições para poder generalizar os achados, ou seja, a ocorrência de vários vazamentos e vazamentos mínimos não foram abordadas.

2.2.2 Modelos hidráulicos para detecção de vazamentos em transitório com algoritmos genéticos

Nesse tipo de abordagem acrescentam-se dados de comportamento resultantes do fenômeno de transiente hidráulico nas redes. Tal situação por se só é motivo de muitos estudos que buscam detalhar seu comportamento da forma mais próxima a realidade, conferindo a essa abordagem um teor mais complexo e, ao mesmo tempo, completo, pois fornece maior quantidade de informações que podem ser analisadas durante a ocorrência de amortecimentos de ondas de sobre e sub pressão.

Vítkovský, Simpson e Lambert (2000) usam a técnica de transitório inverso em conjunto com algoritmos genéticos - AG para detecção de vazamentos e cálculo de fatores de atrito em sistemas de distribuição de água. O método transiente inverso usando a técnica AG é eficaz em encontrar locais e magnitudes de vazamento, ao mesmo tempo em que encontra os fatores de atrito para diferentes comprimentos de registro de dados transientes.

Saldarriaga, Fernando e Galvis (2006) utilizam também a abordagem da análise inversa transitória com algoritmos genéticos aplicados em dados de pressão coletados durante a ocorrência de eventos transitórios em uma rede real, gerados por um súbito fechamento da válvula, a fim de encontrar a localização ótima do vazamento com algoritmos genéticos. A pesquisa demonstrou a possibilidade de detecção de vazamentos em redes de distribuição tanto para o fluxo instável (golpe de aríate) quanto método de fluxo oscilatório constante. A metodologia foi aplicada em um sistema real na Colômbia e avaliada sua eficácia em detectar e quantificar um vazamento conhecido, retornando valores da ordem de 4,85% de desvio com relação ao local do vazamento conhecido.

Covas e Ramos (2010) avaliaram a eficácia de técnicas baseadas em transientes e análise inversa transitória para detecção de vazamentos em dois sistemas laboratoriais de

tubulações feitos de polietileno. O método permitiu a identificação da localização aproximada de vazamentos, desde que as características físicas da tubulação sejam bem conhecidas, o transiente seja gerado por uma rápida mudança nas condições de vazão, o vazamento tem um “tamanho razoável” e o solucionador de transientes é preciso o suficiente para descrever o evento transitório.

Alguns trabalhos incrementaram o método, utilizando junto do algoritmo genético, o método de Levenberg-Marquardt, ou seja, abordagem híbrida, explorada por Kapelan, Savic e Walters (2003) e Covas, Reis e Soares (2011), que demonstraram que tal método é mais estável e mais preciso, além de ser mais rápido que o método que utiliza apenas 1 ferramenta de otimização.

Outros trabalhos abordam situações mais específicas e intrínsecas a cada vazamento, como é o caso de Zyl *et al.* (2017), que explora relação pressão-área nas tubulações que sofrem a ruptura, reporta que pode ser razoavelmente assumida como uma função linear. Uma equação de orifício modificada é proposta para uma modelagem mais realista de vazamentos e fluxos de intrusão. As propriedades da equação do orifício modificado são exploradas para diferentes classes de abertura de vazamentos e as implicações para a prática atual de usar uma equação de potência para modelar vazamentos e fluxos de intrusão são investigadas. Uma prova matemática é proposta para uma equação ligando os parâmetros do orifício modificado e as equações de potência usando o conceito de um número de vazamento adimensional. A equação do orifício modificado também pode ser incorporada ao software de modelagem hidráulica e usada em estudos de modelagem que incorporem vazamentos.

Apesar de fornecerem exatidão em suas respostas e darem ao problema um processo matemático rebuscado, a modelagem hidráulica demanda grande quantidade de informação que na maioria dos casos reais não estão totalmente disponíveis, e quando estão, possuem uma margem de imprecisão que pode levar a resultados não satisfatórios. E, ao contrário do que se pode apontar, as imprecisões referem-se a informações de cunho básico como é o caso de valores de diâmetros, tipo de material, extensão, profundidade, interligações e data de execução.

A dificuldade baseia-se no fato de que eventuais mudanças advindas de atividade operacional, as quais não são pouco frequentes, não são registradas e georreferenciadas com exatidão, gerando assim um problema sério que não se pode ser tratado no mais preciso dos modelos. Ou seja, se gasta tempo e energia para aplicação de metodologias complexas que podem não estar retratando a realidade. Diante disso, buscou-se outros métodos que

independem da precisão de informações hidráulicas e levam em consideração apenas os valores resultados da operação, conforme exposto a seguir.

2.3 Modelos baseados em análise de sinais

A vantagem em se utilizar a análise de sinais para avaliação do comportamento do sistema de abastecimento de água é que estes independem da modelagem. O balizamento ocorre por meio de dados adquiridos de pressão e/ou vazão. Basicamente a abordagem fundamenta-se na construção de padrões de comportamento e na capacidade do modelo em se perceber as mudanças fora do comum ou anomalias, advindos de alterações no sistema. A partir daí cabe ao usuário definir e segregar as causas de tais alterações e iniciar a detecção de vazamentos. Portanto, as limitações levantadas na utilização de modelos hidráulicos não existem na abordagem da análise de sinais, avançando-se, dessa forma, em um nível no entendimento e determinação de vazamentos em sistemas reais de abastecimento de água.

Determina-se também dois subgrupos para essa abordagem: aqueles baseados na análise de sinais do transitório hidráulico e os baseados na análise de sinais durante operação normal da rede.

2.3.1 Modelos baseados em análise de sinais do transitório hidráulico

O fundamento que rege a abordagem é que a propagação das ondas de pressão próprias do transitório são afetadas pela presença de um vazamento, mesmo a distâncias consideráveis deste. O comportamento ondulatório da onda de transiente, em determinada seção, sofre amortecimento devido o vazamento, ou seja, o vazamento funciona como uma pequena válvula de exaustão. O amortecimento representa, dessa forma, uma alteração no sinal de pressão medido.

Ghazali *et al.* (2012) conduziu comparativo entre várias técnicas de análise de frequência instantânea utilizando dados de transitórios controlados numa tubulação de uma rede real. Os dados transientes coletados foram decompostos e filtrados por decomposição em modo empírico (EMD). Em seguida, os diferentes métodos de cálculo da frequência instantânea, como HT, NHT, DQ e TEO, foram avaliados e comparados. As características identificadas como causadoras de reflexos foram vazamento (de 3,5 l / s), hidrante, junta e válvula redutora de pressão. Os resultados do processo confirmaram que o cálculo da

frequência instantânea pela análise de NHT e DQ pode revelar a maioria dos recursos e a análise de Cepstrum dá o pior resultado.

Ferrante, Brunone e Meniconi (2009) analisam o sinal de pressão utilizando-se técnica wavelet e generalizada por meio de um modelo Lagrangeano, que simula diretamente as gerações e movimentos das ondas de pressão no sistema. A análise wavelet permite apontar singularidades em sinais de pressão devido à presença de singularidades (por exemplo, vazamentos). Assim, o modelo Lagrangeano transforma as rápidas variações detectadas pela análise de wavelets no sinal de pressão, na localização e nas características das singularidades do sistema. O modelo Lagrangeano memoriza a amplitude de cada onda e o momento em que passam as singularidades, transferindo as informações sobre a posição e características das singularidades no sinal de pressão simulado. Tal acoplamento permite associar singularidades apontadas em sinais de pressão a singularidades no sistema. A fim de melhor determinar a aplicabilidade do método, os testes foram realizados em uma instalação de laboratório e em um sistema real.

Meniconi *et al.* (2011) mostra que um único teste transitório pode ser realizado para localizar singularidades e determinar o funcionamento de uma grande parte de um sistema de tubulações de abastecimento bastante complexo, analisando o sinal de pressão adquirido em apenas uma seção. A abordagem proposta pode ser de grande importância no manejo do sistema de tubulações, uma vez que qualquer outra singularidade, por exemplo, fugas, pode ser facilmente detectada analisando o sinal de pressão ou comparando o presente sinal de pressão com os previamente adquiridos, se disponíveis.

Srirangarajan *et al.* (2013) propõe método de análise wavelets multiescala de dados de pressão de alta taxa registrados para detectar eventos transitórios. Ambos os coeficientes wavelet e expoentes de Lipschitz fornecem informações adicionais sobre a natureza do recurso de sinal detectado e podem ser usados para a classificação de recursos. Um método de busca local é proposto para estimar com precisão o tempo de chegada do transiente de pressão associado a um evento de rompimento do tubo. O desempenho de detecção e localização desses algoritmos é validado por meio de experimentos de vazamento realizados no banco de testes da rede de sensores sem fio implantados no sistema de distribuição de água potável em Cingapura. Com base nesses experimentos, o erro médio de localização é de 37,5 m. Uma análise sistemática das fontes de erro de localização é mostrado que, mesmo com erros significativos na estimativa de velocidade de onda e sincronização de tempo, o erro de localização é de cerca de 56 m.

2.3.2 Modelos baseados em análise de sinais no decorrer da operação do sistema

Essa abordagem mostra-se mais simples, pois lida com dados existentes nos sistemas, diferentemente de modelos baseados em transitórios que necessitam de aplicação de manobras para gerar singularidades. Fora isso, tais manobras podem gerar fadigas e danos às tubulações indesejáveis. Por fim, cita-se o fato de baixo custo, em detrimento de se estar trabalhando com a estrutura e dados existentes de pressão e vazão já distribuídas ao longo das redes, sendo o esforço apenas o de aplicação e adequação de softwares e mão de obra especializada.

Taylor *et al.* (2009) apresenta método baseado no uso de mapa de organização automática para prever os valores da função de vazamento a partir dos valores do fluxo de água. Os resultados sugerem fortemente que combinar dados de fluxo existentes com uma função de vazamento para modelar vazamentos é um método válido para resolver o problema de detecção de vazamentos.

Mounce, Boxall e Machell (2010) realizaram trabalho com investigação profunda que gerou ao final um sistema de aplicação on line, ou seja, detecção automática, com utilização de Inteligência Artificial (IA) para detecção de vazamentos aplicados à Distritos de Medição e Controle – DMC no sistema de abastecimento do Reino Unido. Aplicado a ferramenta proposta, um modelo de rede neural artificial foi utilizado, tomando o banco de dados atualizado continuamente. Foi possível, com isso, construir um modelo de densidade de probabilidade do perfil de fluxo futuro. Destaca-se como constatações importantes a detecção precoce e rápido reconhecimento com potencial para iniciar a resposta a eventos antes que os clientes sejam afetados, capacidade de detecção de eventos médios e pequenos e 44% dos alertas foram correlacionados com vazamentos definidos.

YE *et al.* (2011) dentro do contexto da detecção automática de vazamentos, desenvolveu um método utilizando filtragem adaptativa de Kalman nas medições de vazão e pressão em DMCs ao norte da Inglaterra. O filtro de Kalman tende a estimar de forma adaptativa o fluxo normal e a pressão dos sistemas de distribuição de água. O método foi capaz de detectar vazamentos súbitos ou mudanças graduais.

Romano, Kapelan e Savi (2014), por sua vez, dispuseram metodologia automatizada para detecção de rupturas através de análise simultânea dos dados enviados pelos sensores de pressão e vazão em tempo real. As técnicas aplicadas no trabalho incluem Wavelets para a emissão dos sinais de pressão e fluxo, redes neurais artificiais, controle estatístico de processo, sistemas de inferência Bayesiana. Os testes realizados aqui para

avaliar o desempenho da metodologia de calibração envolveram eventos de vazamentos de tubos em sistema real em vários DMCs do Reino Unido. Os resultados obtidos mostraram que o uso dessas estratégias melhorou o desempenho geral em termos de confiabilidade e velocidade de detecção de eventos.

Agathokleous e Kourti (2016) também abordam a detecção automática de vazamentos, através do uso de um classificador de detecção de ponto de mudança para identificação de anomalias nos padrões de consumo com duração de 7.000 horas.

Gamboa-Medina (2017) explora diferentes técnicas baseadas na análise de sinais de pressão advindos do monitoramento da rede, para detecção de vazamentos e demais alterações no sistema, com o foco no controle ativo de vazamentos em sistemas reais de abastecimento. É desenvolvido também no trabalho metodologia modelo para determinação de locação ótima de sensores de pressão na área da rede de abastecimento no município de Araraquara, região central do estado de São Paulo. São testados 3 métodos de análise de alteração de sinais de pressão: cadeias de Markov, controle estatístico de processos e comparação com padrões. Concluiu-se que os métodos propostos retornam escalas e possibilidades de aplicação distintas, não sendo, portanto, mutualmente excludentes.

Em vista do exposto, a presente dissertação de mestrado engloba-se na metodologia de Modelos baseados em análise de sinais no decorrer da operação do sistema. Para isso, será utilizado plataforma SIG através de software gratuito Qgis para consolidação de dados, a fim de se aplicar a técnica de controle estatístico.

3 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi desenvolvido junto à Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará - Cagece que disponibilizou dados de 6 anos comerciais tabelados e em plataforma SIG denominado Qgis versão 2.18, gratuito, além de dados operacionais advindos do monitorando do macrossistema e do microssistema. Ressalta-se aqui a grande importância que tem sido dada no controle de perdas por parte da Companhia cearense e sua capacidade em manter o nível de abastecimento mesmo ao longo de um período de escassez hídrica prolongado de 8 anos.

3.1 Caracterização do setor

A área de estudo compreende o município de Fortaleza, capital do estado do Ceará e parte da Região Metropolitana. Fortaleza possui 2.452.185 habitantes, segundo o último censo e uma densidade demográfica de 7.786,44 hab/km² (IBGE, 2019). O abastecimento dá-se através de manancial superficial denominado açude Gavião, onde se encontra a principal Estação de Tratamento de Água - ETA do Município com capacidade de produção de 10m³/s. Além dessa ETA existe outra intitulada de ETA Oeste, capaz de produzir 5 m³/s.

O abastecimento é realizado através de linhas troncos que compõe o macrossistema de abastecimento e de 19 zonas de abastecimento que são alimentadas pelas linhas troncos. A estrutura do macrossistema é composta por 177 Km de adutora em aço e em Ferro Fundido com diâmetros variando de 1.800,00 a 500mm. Esse sistema possui monitoramento em tempo real ao longo de todos os dias enviados pelas chamadas Unidades de Transmissão Remotas – UTRs. Existem 60 UTRs divididas ao longo de todo município e região metropolitana em uma área de 524,43 Km² com mais de 1 milhão de ligações segregadas nas 19 zonas de abastecimento.

A figura 5 exemplifica os dados descritos em imagem georreferenciada do macrossistema de abastecimento e a divisão comercial. Em termos comerciais o Sistema de Abastecimento de Água é gerenciado através de 6 Unidades de Negócios Metropolitanas – Uns, nomeadas como Unidade de Negócio Metropolitana Norte (UN MTN), Unidade de Negócio Metropolitana Sul (UN MTS), Unidade de Negócio Metropolitana Leste (UN MTL), Unidade de Negócio Metropolitana Oeste (UN MTO), Unidade de Negócio da Bacia Metropolitana (UN BME) e Unidade de Negócio Metropolitana de Produção e Macro distribuição (UN MPA).

Figura 5 – Mapa da área de estudo

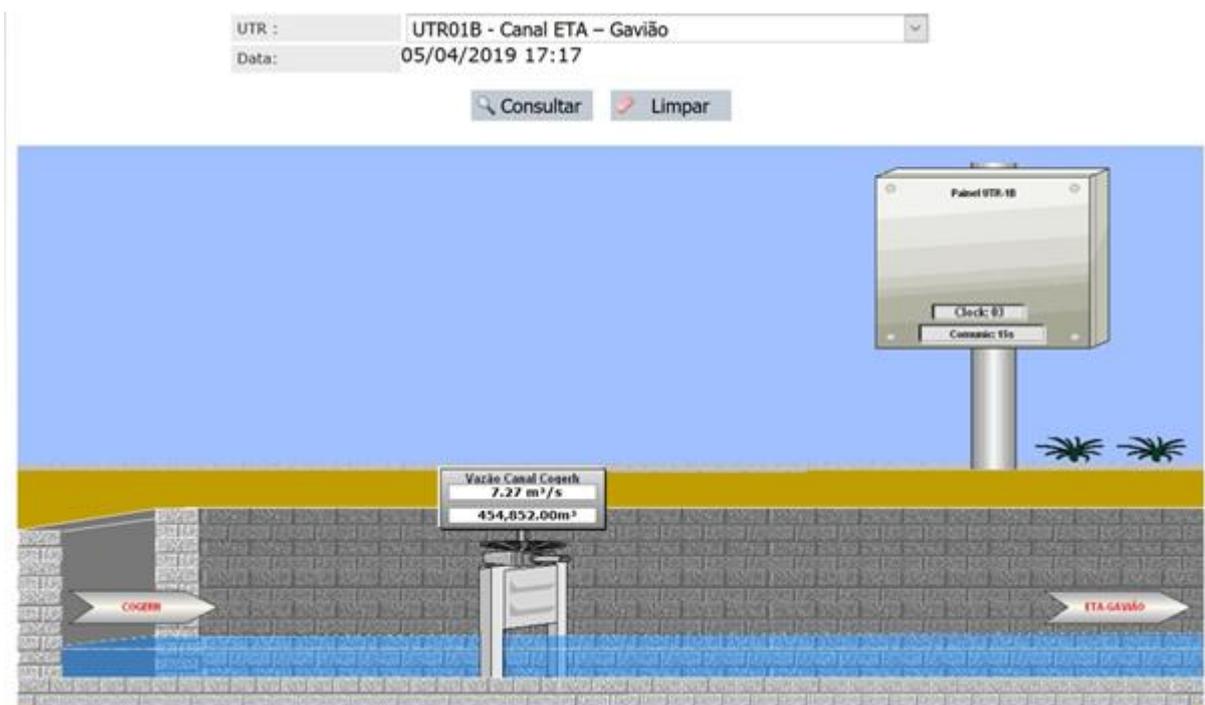


Fonte: Adaptado Cagece, 2018

3.2 Captação e primeiros bombeamentos

Os fluxos iniciais originam-se a partir do açude gavião, no qual encontra-se instalada a ETA Gavião, controlado pelo Centro de Controle Operacional – Cecop pela UTR 1B (figura 6). A maior parte do tratamento é realizado nessa ETA e transportada para um reservatório apoiado - RAP, denominado RAP Ancuri, com volume de 80.000 m³ assentado na cota de 108 metros. A vazão média de transporte para o RAP Ancuri é 7,5m³/s atualmente (podendo chegar a 10m³/s). Uma parte menor da água bruta é transportada do mesmo açude para a ETA Oeste, com capacidade instalada para tratar até 5 m³/s. contudo, devido à situação de escassez hídrica essa vazão fica abaixo de 1 m³/s.

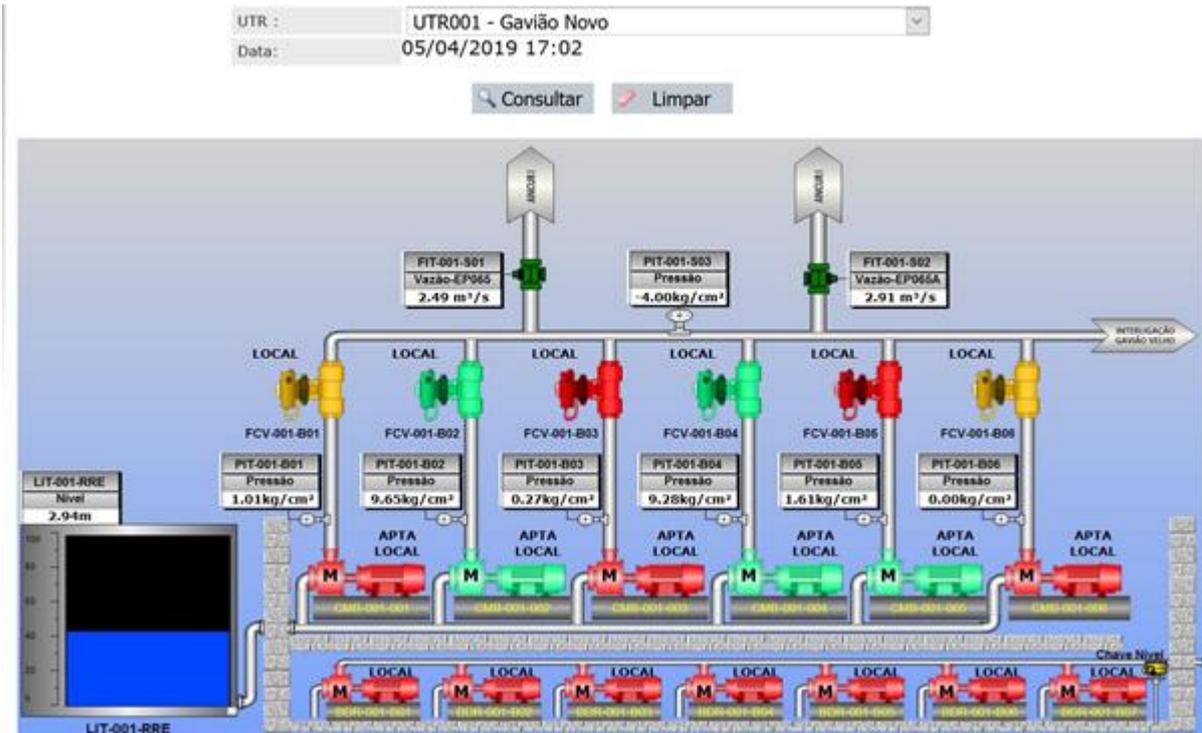
Figura 6 – Controle de entrada da ETA Gavião UTR 01B



Fonte: Cecop Cagece, 2019

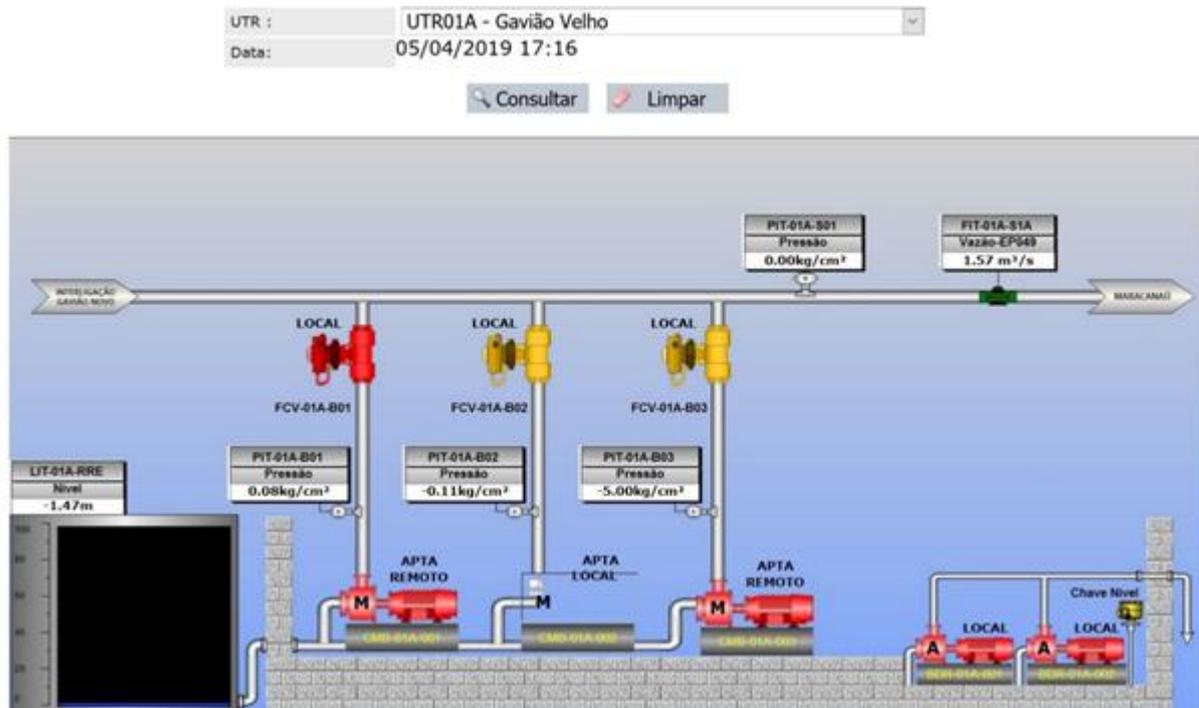
Os controles dos bombeamentos para o Reservatório Ancuri e para a ETA Oeste são feitos, respectivamente, pelas UTRs 01 e 01A, conforme disposto nas figuras 7 e 8. No RAP Ancuri a unidade responsável pelo controle é a UTR 02. O fluxo entre a UTR 01 e 02 apresenta-se como o responsável pelo transporte de 74% do volume captado no açude Gavião e registra em média volume mensal de 155.943.979,92 m³. Os volumes de controle da UTR 01A mostram que cerca de 23% do volume captado no açude gavião passam por esta unidade, transportando uma média mensal 48.469.074,84 m³.

Figura 7 – Controle de saída para o RAP Ancuri UTR 001



Fonte: Cecop Cagece, 2019

Figura 8 – Controle de saída para a ETA Oeste UTR 001A



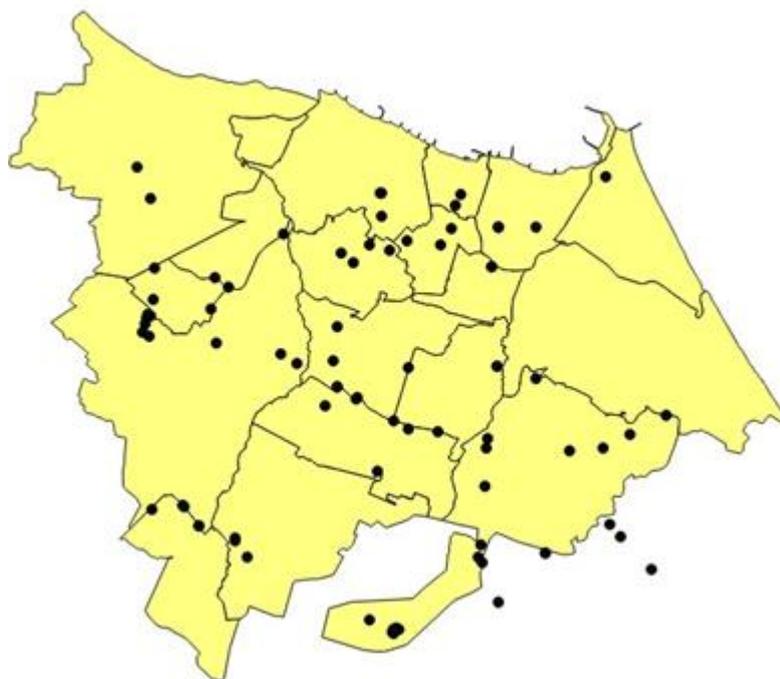
Fonte: Cecop Cagece, 2019

3.3 Disposição de dados comerciais e operacionais

As linhas tronco do macrossistema alimentam as redes de abastecimento em toda região metropolitana de Fortaleza. As redes de abastecimento, por sua vez, estão subdivididas em 19 zonas de abastecimento que formam o microssistema de abastecimento. Da mesma forma como as UTRs, que monitoram em tempo real os estados de vazão e pressão das linhas tronco, as redes de abastecimento têm seu monitoramento realizado por meio de Estações Piezométricas – EPZs, instaladas em pontos estratégicos pela Cagece. A diferença das EPZs para as UTRs está no fato de que elas não possuem monitoramento em tempo real e registram apenas o estado de pressão. Com isso, foi necessário a avaliação da afinidade entre os sinais de pressão que são primeiramente captados nas EPZs e os sinais obtidos nas UTRs, um pouco mais distantes das redes de abastecimento, ou seja, determinou-se grau de afinidade entre os dois dispositivos.

A distribuição das UTRs pode ser visualizada conforme disposto na figura 5 e a disposição das EPZs bem como a segregação das zonas de abastecimento, conforme disposto na figura 9 em plataforma SIG, *software* Qgis.

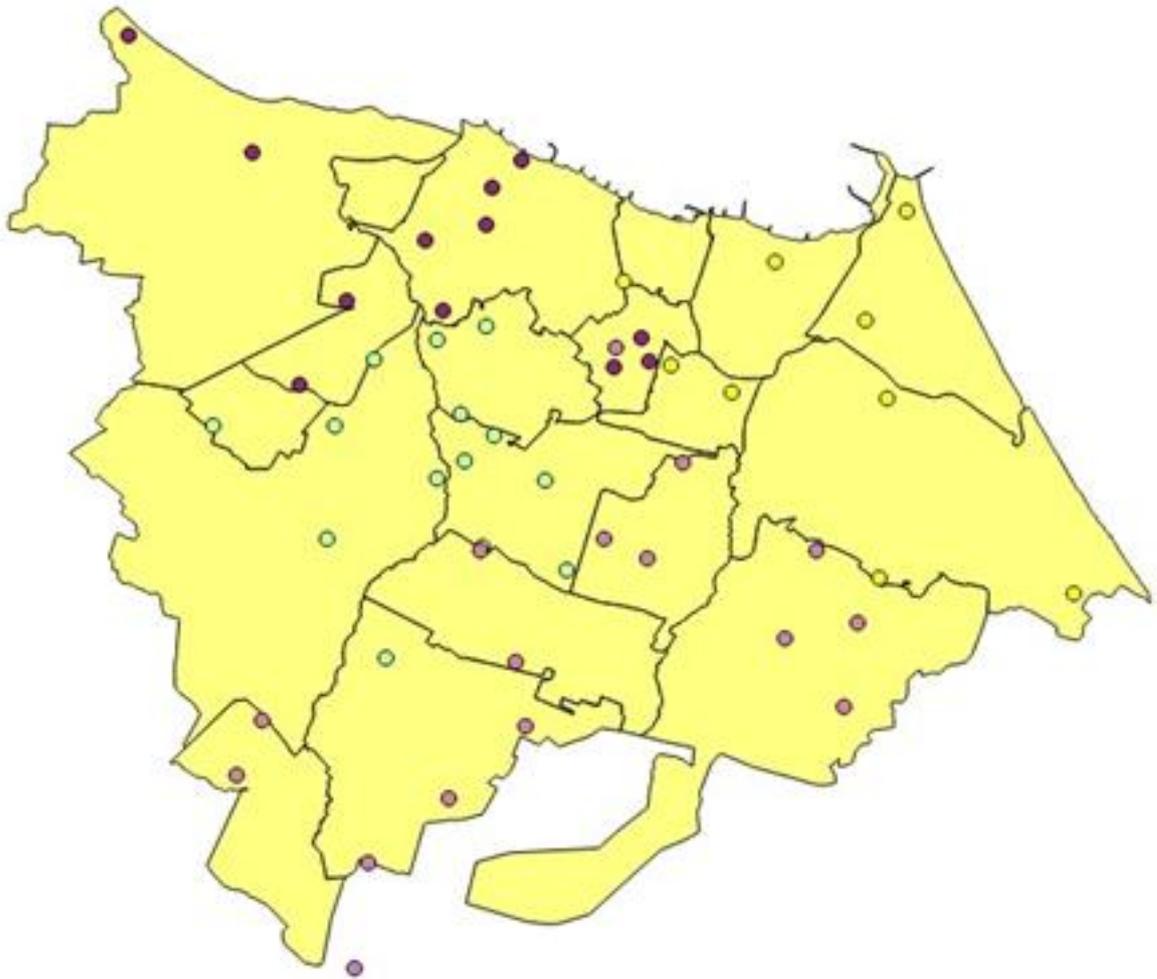
Figura 9 – Locação das EPZs na plataforma SIG Qgis



Fonte: Adaptado Cagece (2019).

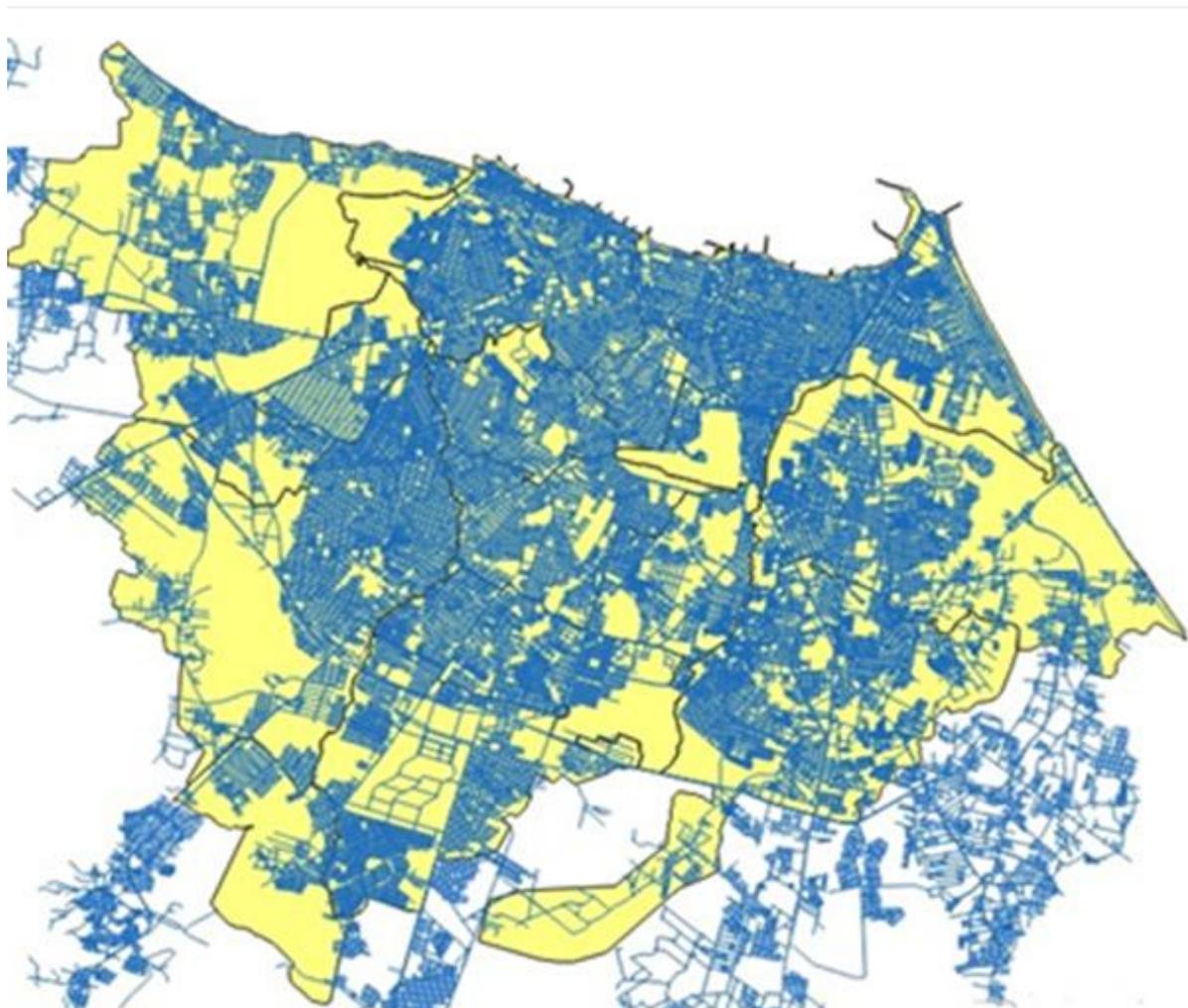
O arranjo de cores para cada EPZ segue a legenda de cores destinado às unidades de negócio da figura 5. A locação das UTRs, por sua vez, na plataforma SIG fica conforme exposto na figura 10. A disposição dos logradouros é exposta na figura 11.

Figura 10 – Locação das UTRs na plataforma SIG Qgis



Fonte: Adaptado Cagece (2019).

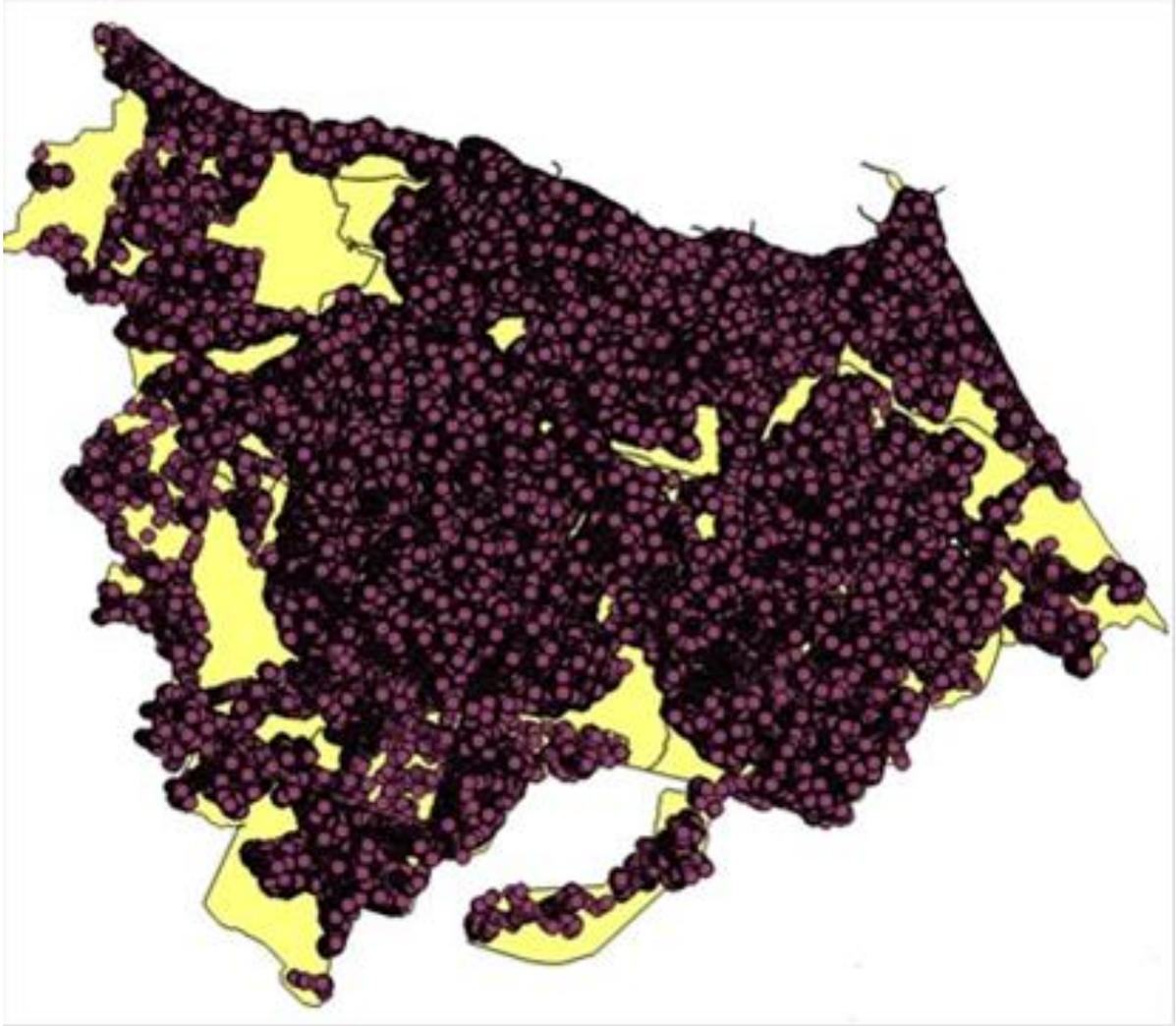
Figura 11 – Locação dos logradouros na plataforma SIG Qgis



Fonte: Adaptado Cagece (2019).

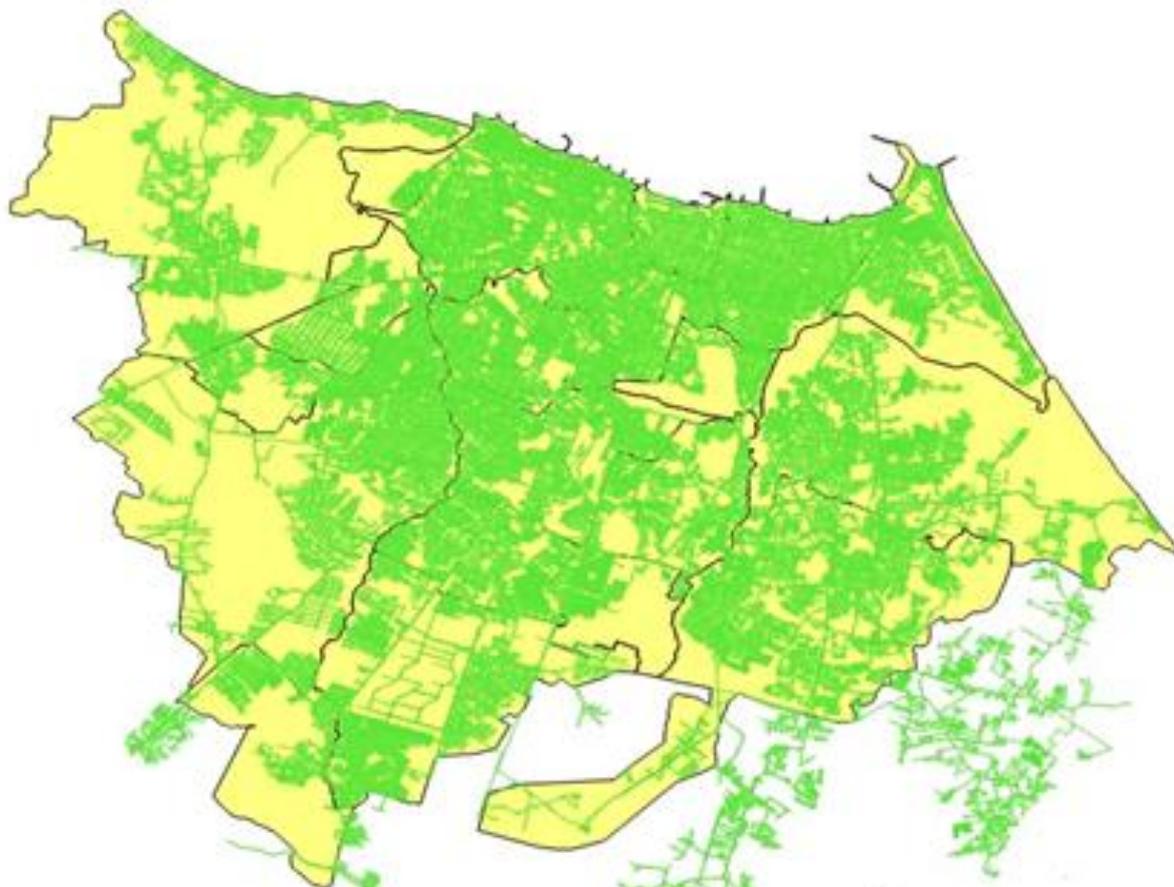
Da mesma forma, tratou-se os dados georreferenciados das inscrições (cadastros de ligações) na figura 12 e da rede de distribuição na figura 13.

Figura 12 – Locação das inscrições na plataforma SIG Qgis



Fonte: Adaptado Cagece (2019).

Figura 13 – Locação das redes de distribuição na plataforma SIG Qgis



Fonte: Adaptado Cagece (2019).

Os dados considerados comerciais são provenientes das informações extraídas das figuras 11 e 12. Por outro lado, os dados operacionais estão disponíveis nas figuras 6,7,8,9,10 e 13. Cita-se aqui uma observação importante: a instalação de EPZs ocorrem apenas no final do ano de 2017. Diante disso, o estudo será dirigido ao longo do ano de 2018.

3.4 Aquisição e interpretação de dados brutos

Diante do exposto nos itens 3.2 e 3.3 os dados das séries de vazão pressão são obtidos em sua forma bruta, sendo necessário sua interpretação e rearranjo antes da realização de qualquer tratamento.

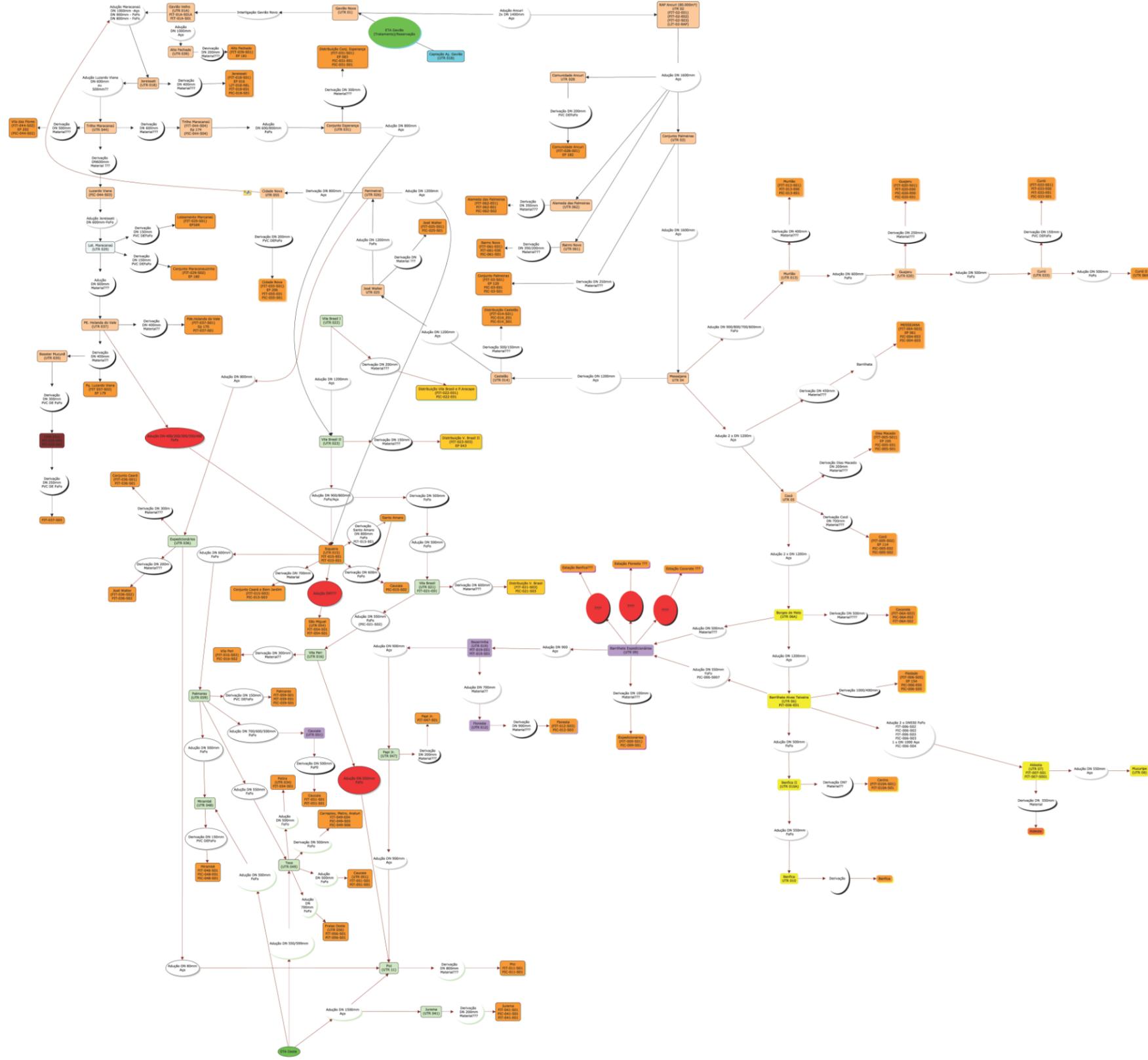
3.4.1 Relação macrossistema e microssistema

Em primeiro momento é necessário se definir com precisão a relação entre entradas e saídas do fluxo de água tratada. Conforme exposto, após o tratamento a água segue o fluxo via tubulações de grandes diâmetros pelas denominadas linhas troncos e a partir daí

acontecem derivações para as redes de abastecimento que constituem o microssistema. Para cada derivação existe uma UTR monitorando em tempo real os estados de pressão e vazão. Dessa forma, iniciou-se o estudo estabelecendo as relações entre os 2 (dois) níveis de abastecimento através de um fluxograma de transporte da água, disposto na figura 14. Este arranjo compila as informações fornecidas pelas figuras dos barrilhetes das UTRs (figuras 6,7 e 8) e a disposição geral das linhas tronco apresentadas na figura 5.

É possível detalhar na figura 14 situações de dúvidas, em que não foi possível o estabelecimento da relação concreta após pesquisa operacional. Apesar disso foi possível se relacionar tal produto (figura 14) com a distribuição das EPZs (figura 9) e estabelecer as relações entre os 2 (dois) níveis de abastecimento para cada unidade de negócio, conforme mostrado na tabela 1.

Figura 14 – Fluxograma de macro abastecimento de Fortaleza e Região Metropolitana



Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 1 - Relação dispositivos UTR e EPZs UN MTN

Nº	Zona Abastecimento	UTR Referência	Origem do Abastecimento	
			Vazão	Pressão
1	80 - Setor Floresta	UTR 012 - Floresta	FIT-012-S03	PIC-012-S03
2	44 - Setor Floresta	UTR 012 - Floresta	FIT-012-S03	PIC-012-S03
3	20 - Setor Expedicionários	UTR 09 - Barrillete Expedicionários	FIT-009-S01	PIC-009-S01
4	18 - Setor Praias	UTR 056 - Praias Oeste	FIT-056-S01	PIT-056-S01
5	77 - Setor Potira	UTR 034 - Potira	FIT-034-S01	PIT-034-S01
6	19 - Setor Expedicionários	UTR 09 - Barrillete Expedicionários	FIT-009-S01	PIC-009-S01
7	13 - Setor Caucaia	UTR 056 - Praias Oeste	FIT-056-S01	PIT-056-S01
8	40 - Setor Floresta	UTR 012 - Floresta	FIT-012-S03	PIC-012-S03
9	42 - Setor Floresta	UTR 012 - Floresta	FIT-012-S03	PIC-012-S03
10	76 - Setor Caucaia	UTR 034 - Potira	FIT-034-S01	PIT-034-S01
11	77 - Setor Caucaia	UTR 054 - São Miguel	FIT-054-S01	PIT-054-S01
12	07 - Setor Caucaia	UTR 051 - Nova Metrópole	FIT-051-S01	PIT-051-S01

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 2 - Relação dispositivos UTR e EPZs UN MTL

Nº	Zona Abastecimento	UTR Referência	Origem do Abastecimento	
			Vazão	Pressão
1	22 - Setor Cocorote	UTR 06A - Borges de Melo	FIT-06A-S02	PIC-06A-E02/PIT-06A-S02 (REL)
2	17 - Setor Benfica	UTR 10 - Benfica	Não existe sistema de controle direto	PIT-010-REL
3	74 - Setor Água Fria Eusébio	UTR 065 - Curió II	FIT-065-S01	PIC-065-E01; PIC-065-S01
4	12 - Setor Mucuripe	UTR 08 - Mucuripe	Não existe sistema de controle direto	Não existe sistema de controle direto
5	23 - Setor Cocorote	UTR 06A - Borges de Melo	FIT-06A-S02	PIC-06A-E02/PIT-06A-S02 (REL)
6	71 - Setor Água Fria	UTR 065 - Curió II. UTR 05 - Cocó	FIT-065-S01; FIT-005-S02	PIC-065-E01; PIC-065-S01; PIC-005-E02; PIC-005-S02
7	11 - Setor Mucuripe	UTR 08 - Mucuripe	Não existe sistema de controle direto	Não existe sistema de controle direto
8	68 - Setor Água Fria	UTR 065 - Curió II. UTR 05 - Cocó	FIT-065-S01; FIT-005-S02	PIC-065-E01; PIC-065-S01; PIC-005-E02; PIC-005-S02
9	08 - Setor Aldeota	UTR 06 - BAT; UTR 07 - Aldeota	FIT-006-S02; FIT-006-S03	PIC-006-S02; PIC-006-S03; PIC-006-S04; PIT-007-REL

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 3 - Relação dispositivos UTR e EPZs UN MTO

Nº	Zona Abastecimento	UTR Referência	Origem do Abastecimento	
			Vazão	Pressão
1	31 - Setor Pici	UTR 011 - Pici	FIT-011-S01	PIC-011-S01
2	92 - Setor Conj. Ceará	UTR 015 - Siqueira	FIT-015-S03	PIC-015-S03
3	78 - Setor Conj Ceará Caucaia	UTR 015 - Siqueira	FIT-015-S03	PIC-015-S03
4	72 - Setor Conj Ceará Maracanaú	UTR 029 – Loteamento Maracanaú	FIT-029-S01	-
5	65 - Setor Conj Ceará	UTR 037 – Padre Holanda do Vale / Luzardo Viana – UTR 015 - Siqueira	FIT-015-S03 / FIT-037- S01	PIC-015-S03 / PIT-037- S01
6	88 - Setor Conj. Ceará	UTR 015 - Siqueira	FIT-015-S03	PIC-015-S03
7	28 - Setor Vila Brasil	UTR 023 - Vila Brasil II	FIT-023-S03	-
8	29 - Setor Vila Brasil	UTR 016 – Vila Pery	FIT-016-S02	PIC-016-S02
9	29 - Setor Vila Brasil	UTR 016 – Vila Pery	FIT-016-S02	PIC-016-S02
10	27 - Setor Vila Brasil	UTR 021 - Vila Brasil; UTR 022 - Vila Brasil I; UTR 023 - Vila Brasil II	FIT-021-S03; FIT-022- E01; FIT-023-S03	PIC-021-S03; PIC-022- E01
11	33 - Setor Pici	UTR 011 - Pici; UTR 011A - Ref Pici	FIT-011-S01; FIT-11A- S01	PIC-011-S01; PIC-11A- S01
12	32 - Setor Pici	UTR 011 – Pici	FIT-011-S01	PIC-011-S01
13	86 - Setor Caucaia Oeste	UTR 049 - Toco	FIT-049-E04	PIC-049-S06
14	27 - Setor Vila Brasil	UTR 036 – Expedicionários	FIT-036-S01	PIT-036-S01

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 4 - Relação dispositivos UTRs e EPZs UN MTS

Nº	Zona Abastecimento	UTR Referência	Origem do Abastecimento	
			Vazão	Pressão
1	56 - Setor Mondubim	UTR 055 Cidade Nova	FIT-055-S01	PIT-055-E01; PIC-055-S01
2	81 - Jereissate	UTR 018 Jereissate	FIT-018-S01	PIT-018E01; PIC-018-S01; LIT-018-REL
3	63 - Setor Castelão	UTR 014 Castelão	FIT-014-S01	PIC-014-E01; PIC-014-S01
4	49 - Setor Messejana	UTR 04 Messejana e UTR 13 Murilão	FIT-004-S03; FIT-013-S01	PIC-004-E03; PIC-004-S03; PIC-013-S01
5	57 - Setor Pajuçara	Não possui UTR	-	-
6	50 - Setor Messejana	UTR 013 Murilão	FIT-013-S01	PIT-013-E00; PIC-013-E01
7	55 - Setor Mondubim	UTR 031	FIT-031-S01	PIC-031-E01; PIC-031-S01
8	63 - Setor Castelão	UTR 036	FIT-036-S02	PIT-036-S02
9	01 – Maracanaú Centro	UTR 018 Jereissate	FIT-018-S01	PIT-018E01; PIC-018-S01; LIT-018-REL
10	62 - Setor Castelão	UTR 05 Coco	FIT-005-S01	PIC-005-E01; PIC-005-S01
11	02 - Setor Jereissati I	UTR 037	FIT-037-S02	-
12	02 - Setor Jereissati I	UTR 037	FIT-037-S02	-
13	50 - Setor Messejana	UTR 027A Reforço Messejana; UTR 13 Murilão; UTR 20 Guajeru	FIT-013-S01; FIT-027A-S01; FIT-020-S01	PIT-013-E00; PIC-013-E01; PIT-020-E00; PIC-020-E01; PIC-020-S01
14	51 - Guajeru	UTR-020 – Guajeru; UTR-013 – Murilão	FIT-020-S01; FIT-013-S01	PIT-020-E00; PIC-020-E00; PIC-020-E01; PIT-013-E00; PIC-013-E01
15	84 - Setor Ancuri	Não possui UTR	-	-
16	01 – Maracanaú Centro	UTR 018 Jereissate	FIT-018-S01	PIT-018E01; PIC-018-S01; LIT-018-REL

Fonte: Elaborada pelo autor.

3.5 Informações de pressão e vazão adquiridas para o macrossistema

Os dados brutos estão disponíveis por meio de tabulação, conforme exposto na figura 15. As nomeações das colunas seguem a legenda abaixo para dados da UTR 01:

LIT-001-RRE	Medidor de Nível do Reservatório 01
FIT-001-S01	Medidor de Vazão EP065 Saída Ancuri
FIT-001-S02	Medidor de Vazão EP065A Saída Ancuri
PIT-001-S03	Medidor de Pressão Saída
PIT-001-B01	Medidor de Pressão da CMB 01

- PIT-001-B02 Medidor de Pressão da CMB 02
- PIT-001-B03 Medidor de Pressão da CMB 03
- PIT-001-B04 Medidor de Pressão da CMB 04
- PIT-001-B05 Medidor de Pressão da CMB 05
- PIT-001-B06 Medidor de Pressão da CMB 06

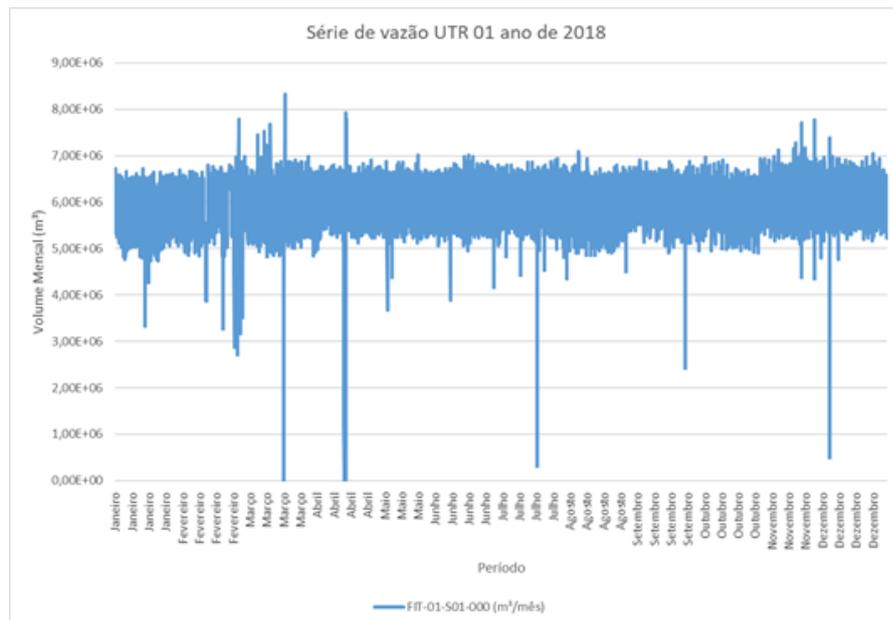
Figura 15 – Tabulação dos dados operacionais da UTR 01 (exemplo)

Data	FIT-001-501-000	FIT-001-502-000	FIT-001-503-000	PIT-001-801-000	PIT-001-802-000	PIT-001-803-000	PIT-001-804-000	PIT-001-805-000	PIT-001-806-000
01/01/2018 00	2,58	2,00	2,35	-4,00	0,93	0,58	0,32	8,98	10,10
01/01/2018 01	2,81	1,99	2,35	-4,00	0,96	0,60	0,35	8,98	10,09
01/01/2018 02	3,23	2,01	2,37	-4,00	0,99	0,65	0,39	8,99	10,10
01/01/2018 03	3,63	2,02	2,39	-4,00	0,98	0,69	0,43	8,99	10,11
01/01/2018 04	3,99	2,04	2,41	-4,00	1,03	0,72	0,47	9,00	10,11
01/01/2018 05	4,07	2,51	2,95	-4,00	1,04	9,31	0,48	9,33	10,42
01/01/2018 06	3,98	2,51	2,95	-4,00	1,03	9,61	0,48	9,34	10,42
01/01/2018 07	4,06	2,48	2,91	-4,00	1,03	9,58	0,49	9,32	10,43
01/01/2018 08	3,87	2,43	2,86	-4,00	1,02	9,54	0,47	9,29	10,39
01/01/2018 09	3,73	2,41	2,83	-4,00	1,02	9,54	0,45	9,28	10,36
01/01/2018 10	3,68	2,42	2,84	-4,00	1,01	9,53	0,45	9,29	10,38
01/01/2018 11	3,57	2,41	2,83	-4,00	1,00	9,54	0,44	9,27	10,38
01/01/2018 12	3,42	2,40	2,82	-4,00	1,00	9,52	0,43	9,28	10,38
01/01/2018 13	3,33	2,41	2,84	-4,00	0,99	9,54	0,42	9,29	10,37
01/01/2018 14	3,23	2,43	2,86	-4,00	0,98	9,54	0,41	9,30	10,40
01/01/2018 15	2,98	2,42	2,84	-3,99	0,98	9,54	0,38	9,29	10,38
01/01/2018 16	2,75	2,42	2,85	-4,00	0,95	9,53	0,36	9,29	10,37
01/01/2018 17	2,57	2,39	2,81	-4,00	0,93	9,52	0,34	9,27	10,35
01/01/2018 18	2,22	2,38	2,80	-4,00	0,91	9,50	0,30	9,27	10,35
01/01/2018 19	1,88	2,38	2,81	-4,00	0,89	9,55	0,26	9,27	10,35
01/01/2018 20	1,67	2,40	2,82	-4,00	0,87	9,53	0,24	9,28	10,37
01/01/2018 21	1,19	2,03	2,39	-4,00	0,83	2,29	0,19	9,03	10,12

Fonte: Adaptado Cagece (2019).

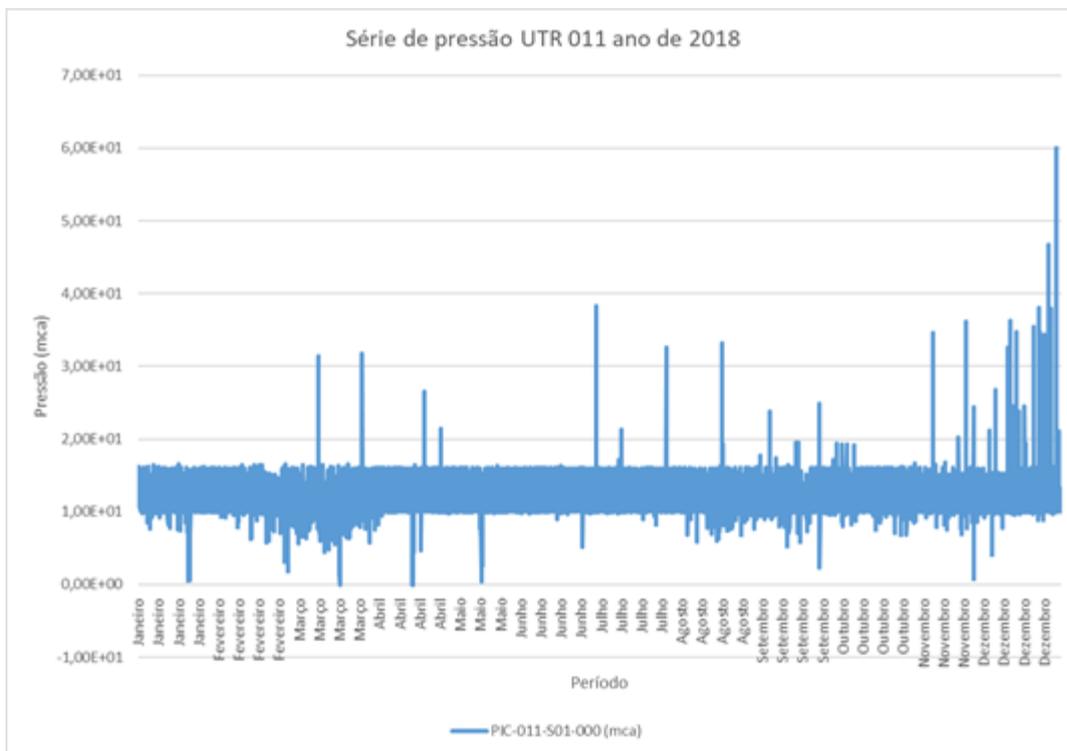
Com tais informações foi possível dispor as séries de vazão e pressão transportados, conforme dispostos nos gráficos 1 e 2.

Gráfico 1 – Série de vazão UTR 01 para o ano de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 2 – Série de pressão UTR 011 para o ano de 2018



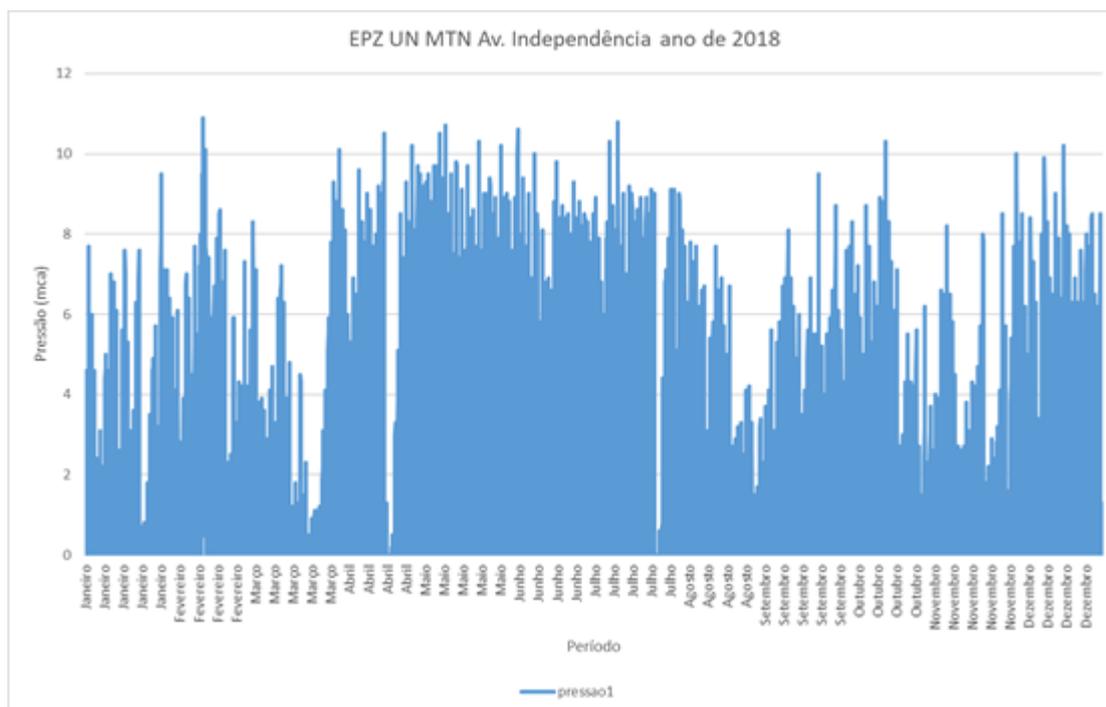
Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar que existem picos (positivos e negativos) ao longo das séries de vazão pressão, sendo necessário, então, a aplicação da remoção de outliers provenientes de erros de leitura ou mesmo perda de calibração nos equipamentos de medição ou até mesmo problemas no envio de informações para o centro de controle. Entretanto, já é possível perceber comportamento cíclico nas séries, característico da natureza da atividade fim do abastecimento que segue os picos de demanda ao longo dias, meses e ano.

3.6 Informações de pressão e vazão adquiridas para o microssistema

Da mesma forma que para o macrossistema, os dados de pressão foram adquiridos por meio de tabulações e dispostos em forma de gráfico, como pode ser verificar no gráfico 3. Da mesma forma que para os dados do macrossistema, existem pontos de divergência na série que precisam receber tratamento como dados outliers.

Gráfico 3 – Série de pressão EPZ UN MTN ano de 2018



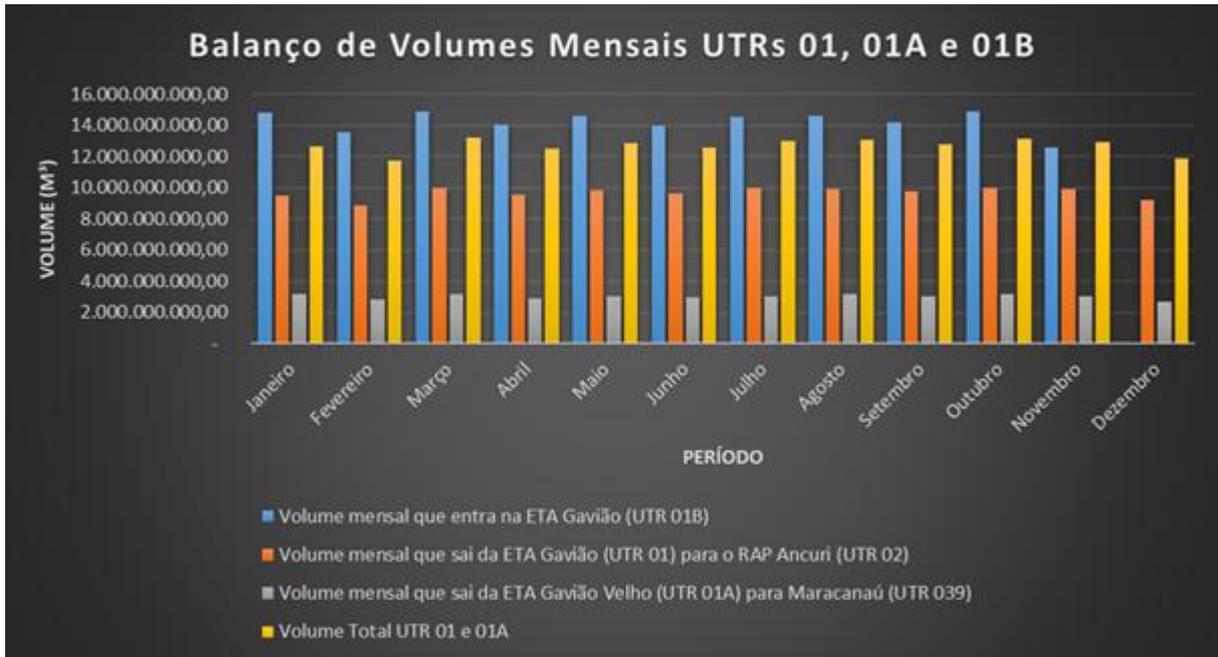
Fonte: Elabora pelo autor.

3.7 Condição do sistema: balanço hídrico e modelo hidráulico do macrossistema

O balanço hídrico é uma forma recomendada (TSUITYA, 2006) para se avaliar a estrutura global de um Sistema de Abastecimento de Água – SAA. Dessa forma o balanço nos dispositivos de origem do macrossistema, ou seja, das UTRs 01, 01A e 01B, conforme gráfico 4, revela um percentual de apenas 3% de perda nesse transporte que é atribuído às atividades na ETA de lavagem e utilizações internas administravas.

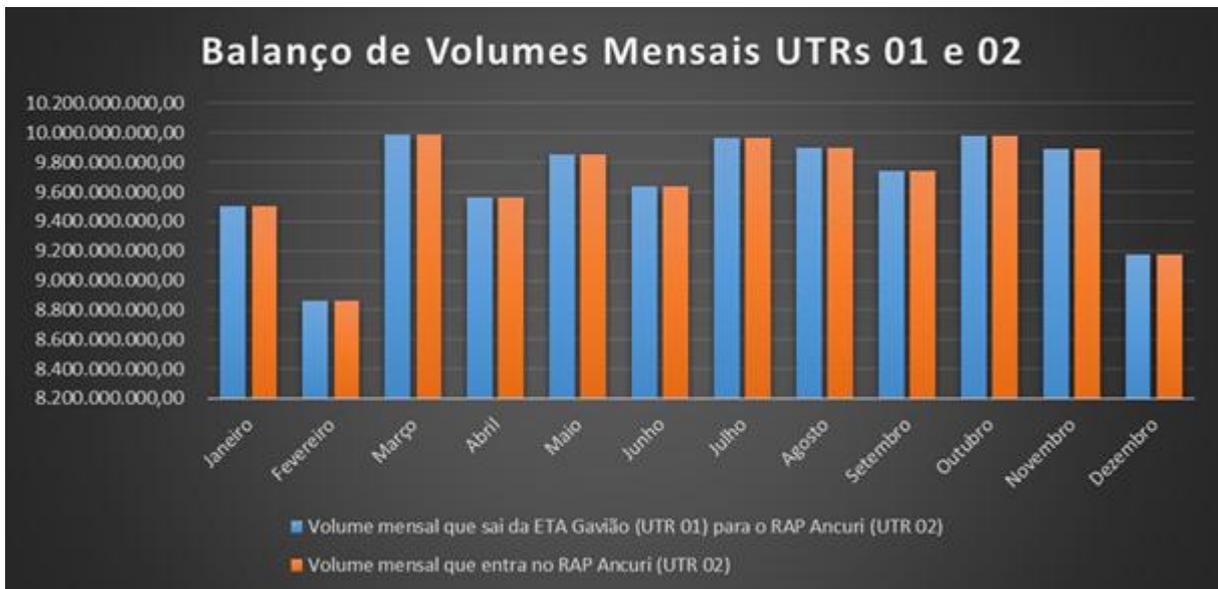
Seguindo o fluxo principal de alimentação, tomou-se as UTRs 01 e 02. Conforme adiantado, tal fluxo apresenta-se como o responsável pelo transporte de 74% do volume captado no açude Gavião e apresentou balanço sem qualquer perda entre os volumes de entrada e saída, conforme demonstrado no gráfico 5.

Gráfico 4 – Balanço hídrico entre as UTRs 01, 01A e 01B



Fonte: Elaborado pelo autor.

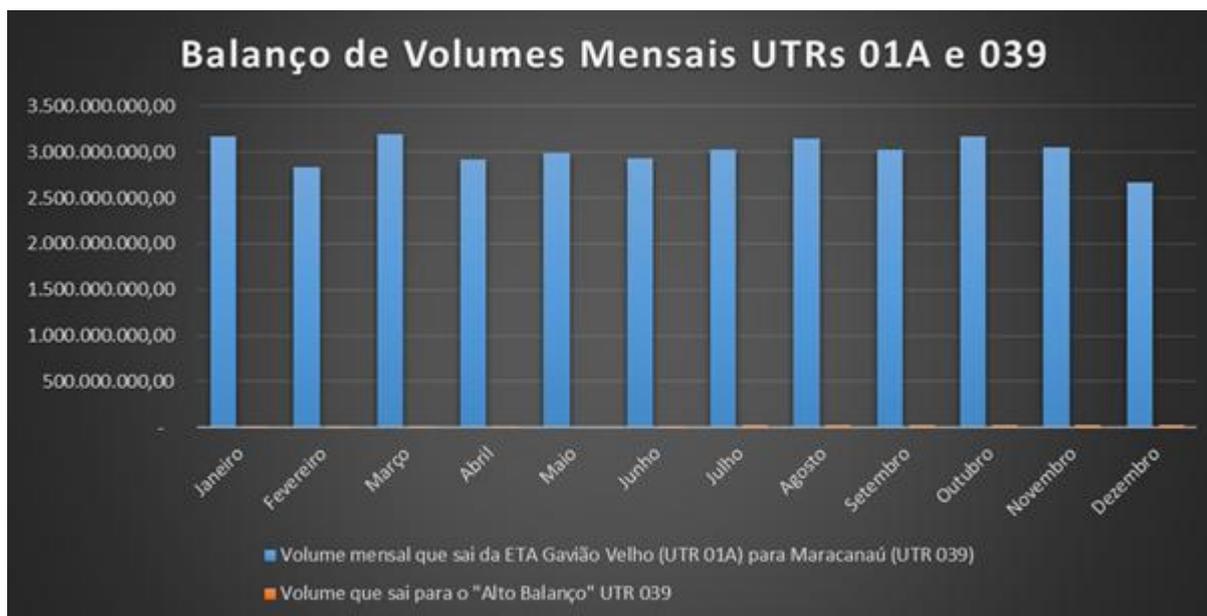
Gráfico 5 – Balanço hídrico entre as UTRs 01 e 02



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tomando-se o outro sentido de distribuição inicial, ou seja, sentido ETA Oeste, o balanço realizado ficou entre as UTRs 01A e 039, o qual demonstra que na primeira derivação uma pequena parcela destina-se a UTR 039, cerca de 0,50% do volume aduzido, conforme mostrado no gráfico 6.

Gráfico 6 – Balanço hídrico entre as UTRs 01A e 039



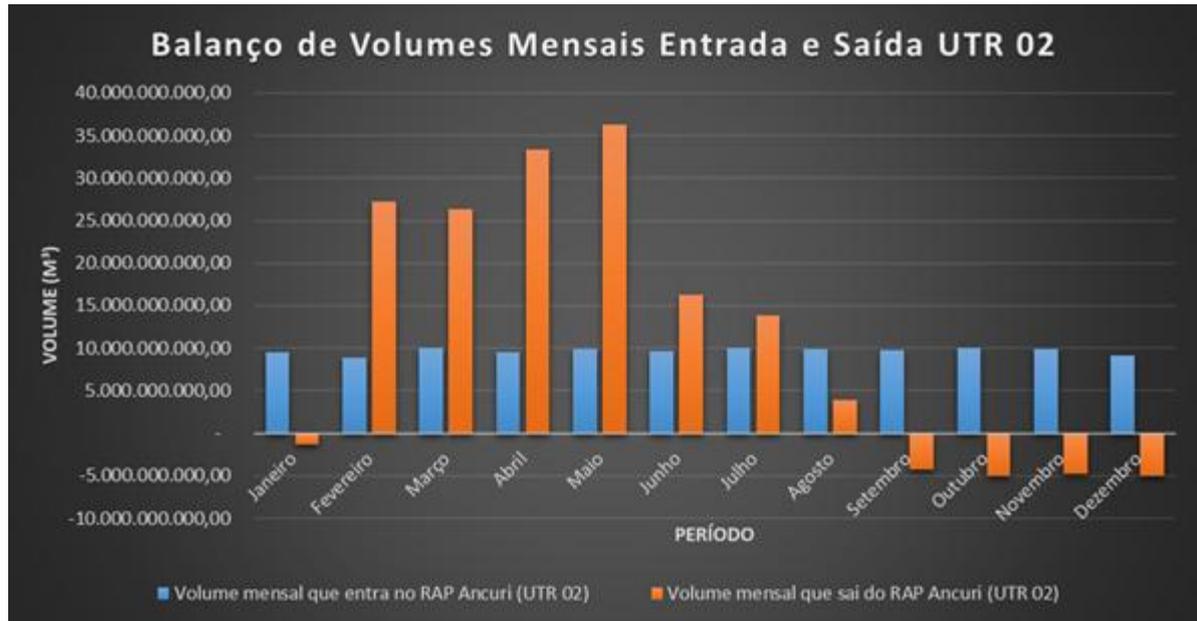
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dispositivos FIT-002-E01-000 e FIT-002-E02-000 representam as duas entradas existentes no RAP Ancuri, representado pela UTR 02, advindas de 2 adutoras em aço de DN 1.400mm. O gráfico 7 dispõe do comportamento mensal no ano de 2018 da somatória dos volumes registrados nos dois dispositivos (legenda em azul). Após a entrada, o nível dentro do reservatório possui comportamento conforme disposto no apêndice A “Gráfico Níveis Mensais Ancuri”. O volume de saída é registrado pelo dispositivo FIT-002-S03, apresentando, porém, medições de vazões negativas e superiores aos valores de entrada, sendo, portanto, descartada da análise em detrimento de defeito no medidor (legenda em laranja).

A UTR 02 alimenta, por sua vez, as UTRs 02B, 061 e 062. A UTR 02B foi capeada. A UTR 062 apresentou resultados plausíveis apenas nos meses Fevereiro, Junho, Outubro e Dezembro. Além disso, a pesquisa deparou-se com algumas inconsistências na série de dados de outras UTRs, como por exemplo, as UTRs 028A, 031, 035, 008, 010, 015 (FIT 015-E01-000), 019, 028A, 031, 035 que não registraram nenhum valor.

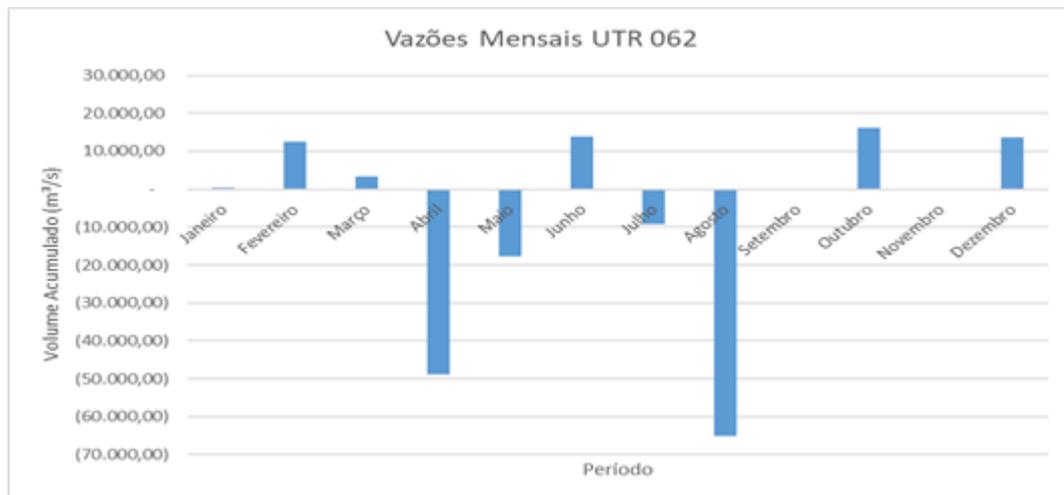
Existem casos, como o da UTR 062, que não foi possível o aproveitamento integral dos dados da UTR (gráfico 8) e, conseqüentemente, o estabelecimento de um padrão para estudo de remoção de outliers.

Gráfico 7 - Comparativo de volumes de Entrada e Saída do RAP Ancuri - UTR 02



Fonte: Elaborado pelo autor.

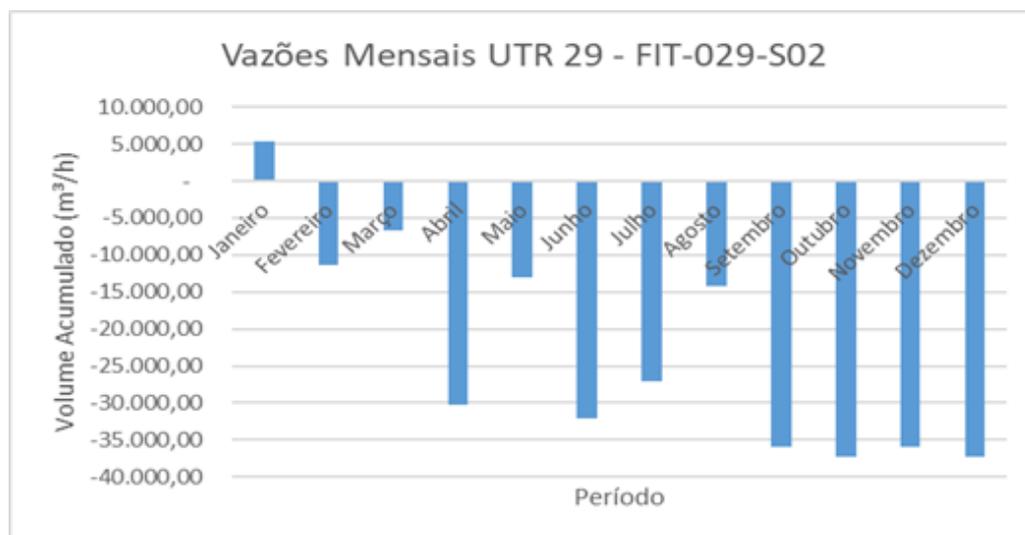
Gráfico 8 – Vazões mensais negativas UTR 062



Fonte: Elabora pelo autor.

Já o caso da UTR 029 mostrou-se com quantificação toda negativa (gráfico 9), com exceção do mês de janeiro, conforme gráfico 9. Com isso, também não foi possível a consideração de tal UTR para avaliação do balanço hídrico. Outros casos se assemelham como os dados das UTRs 037, 016, 023, 027A, 038 e 055.

Gráfico 9 – Vazões mensais negativas UTR 029



Fonte: Elaborado pelo autor.

Diante do exposto a realização do balanço hídrico ao longo de um ano não foi possível. A única possibilidade, entretanto, seria a realização de balanços parciais semanais ao longo de todo um ano, porém destoaria da finalidade do trabalho que é avaliar um ano inteiro, com representações mensais.

Inclusive cita-se o fato de que apesar de se ter um modelo hidráulico (figura 16) estruturado no software Epanet, também não foi possível a realização do balanço devido a falhas nas medições nas UTRs citadas. Isso converge com o explanado no início do trabalho e na revisão bibliográfica, em relação a dificuldade de se prover dados completos em situações reais.

Entretanto, para efeito de registro o modelo hidráulico foi estruturado através de 478 nós, 1 Reservatório de Nível Fixo (RNF) representando o açude gavião, 4 Reservatórios de Nível Variável (RNV). Além disso, foram projetados 392 tubos, 19 bombas, 103 válvulas em total de rede de 177 km. Cada nó representante de UTR é alimentado através de arquivo PAT. Para os conjuntos motos bombas são inseridos valores das curvas pressão x vazão e de velocidade. São também inseridos a programação “Open” e “Close” nas válvulas de acordo com a programação comum de fornecimento pelo Centro de Controle Operacional - CECOP.

Portanto, como pode ser visto, existe uma necessidade de implantação de metodologia para tratamento e consolidações correta dos dados visando os objetivos e as finalizadas específicas do respectivo trabalho. Será disposto nos próximos capítulos a metodologia e sua aplicação com os dados brutos, considerando as limitações expostas no capítulo 3.

Figura 16 – Modelo hidráulico macrosistema



Fonte: Adaptado Cagece (2019)

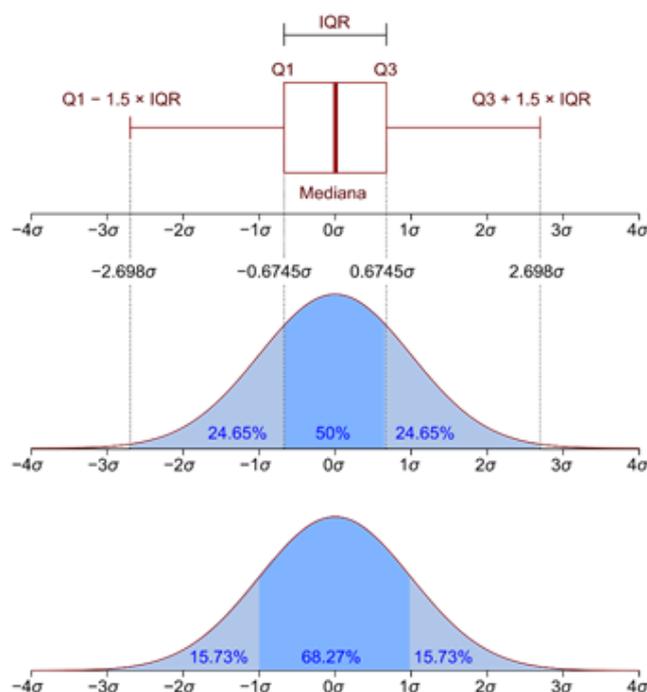
4 METODOLOGIA

Seguindo o roteiro disposto nos objetivos específicos, considera-se nesse ponto que os 2 (dois) primeiros tópicos foram atendidos no capítulo 3, restando a realização do estudo de outliers, separação dos setores e períodos representativos, aplicação do método de controle estatístico, avaliação das anomalias detectadas, relacionamento das anomalias com os reportes de vazamentos registrados pela Companhia e avaliação do método.

4.1 Tratamento de outliers

Antes da utilização de qualquer dado fornecido pelo centro de controle (UTRs) e pelas EPZs é interessante que haja um processamento de dados no sentido de eliminação de valores que destoam sobremaneira dos padrões das séries de cada dispositivo. O método adotado para realização de tal procedimento foi o da Amplitude Inter Quartil - AIQ. Este método é uma medida de variabilidade e avalia o grau de espalhamento de dados, levando em consideração a ordem dos dados e os quartis inferior, intermediário (mediana) e superior (FÁVERO e BELFIORE, 2017). A diferença entre os quartis superior e inferior determina o intervalo interquartil - IQR (figura 17).

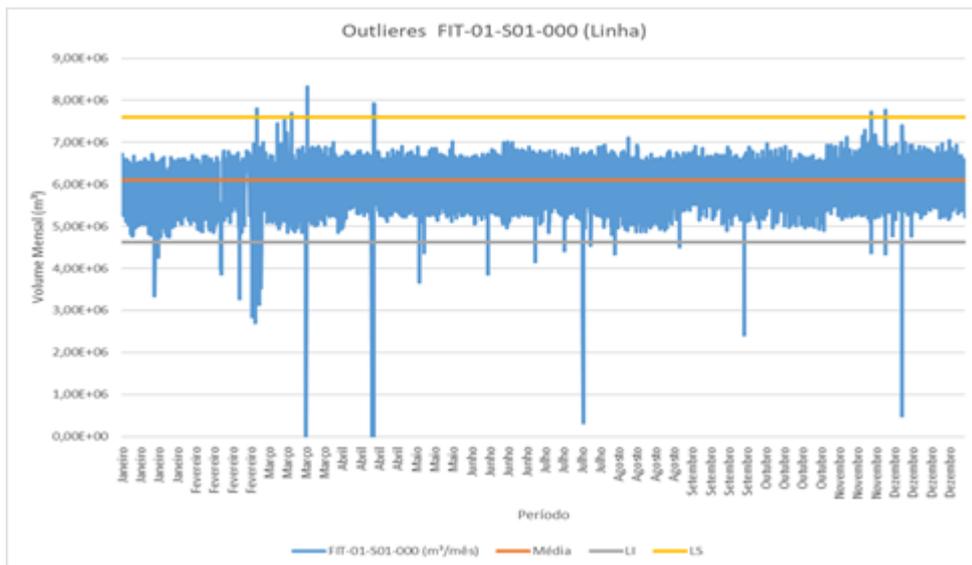
Figura 17 – Exemplificação de Diagrama interquartil



Fonte: Fávero e Belfiore (2017)

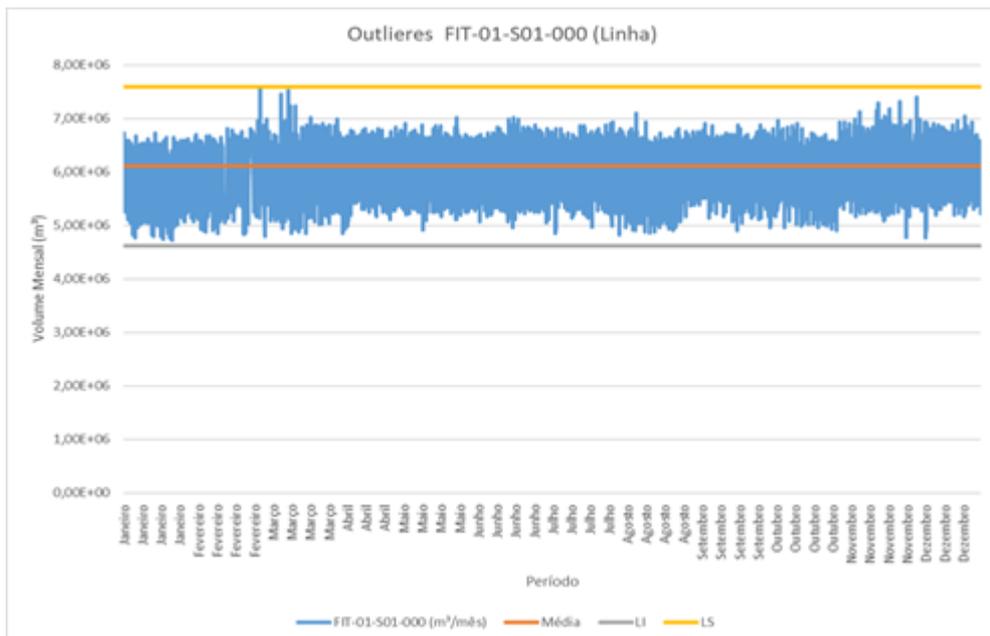
Para todas as UTRs foram realizadas o estudo estatístico de retirada de Outliers com o método AIQ para os dados de vazão. Como exemplo cita-se a aplicação do procedimento para o dispositivo FIT-001-S01-000 da UTR 01. Foi verificado a existência de 75 valores dispersos do padrão (0,86% da população), conforme mostrado no gráfico 10. Após o tratamento, o comportamento seguiu o disposto no gráfico 11.

Gráfico 10 - Verificação de dados outliers UTR 01 (dispositivo FIT 001-S01)



Fonte: Elaborado pelo autor.

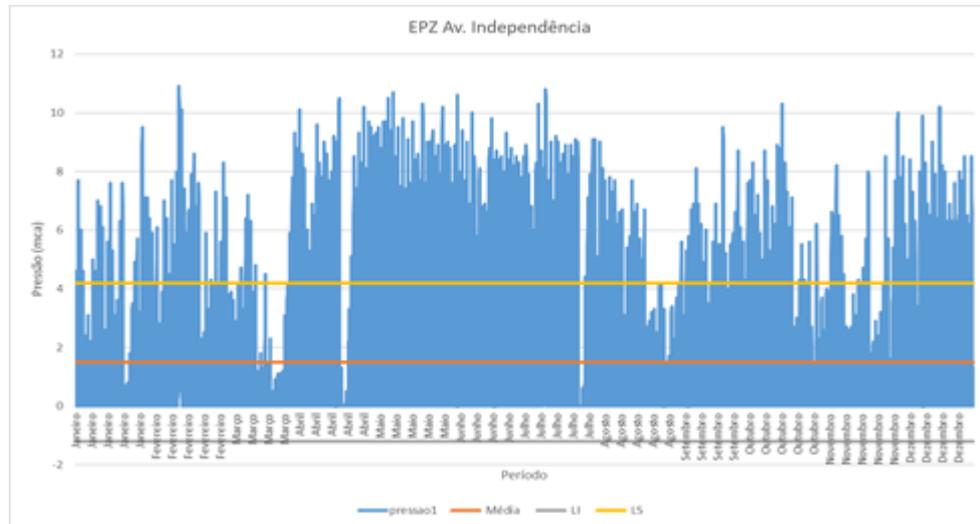
Gráfico 11 - Retirada de dados outliers UTR 01 (dispositivo FIT 001-S01)



Fonte: Elaborado pelo autor.

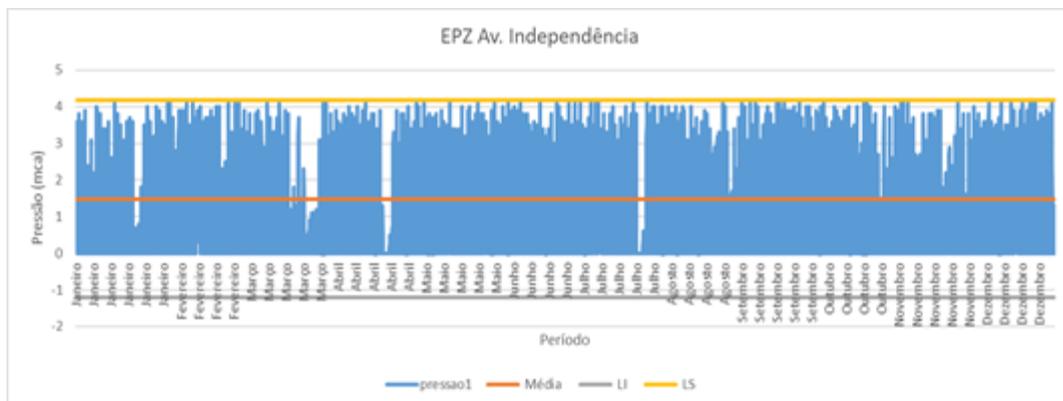
Após a realização de tratamento nos dados do macrossistema, partiu-se para verificação e aplicação do mesmo processo nas EPZs, conforme exemplos dos gráficos 12 e 13.

Gráfico 12 – Verificação de dados outliers EPZ UN MTN Av. Borges de Melo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 13 – Retirada de dados outliers EPZ UN MTN Av. Borges de Melo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa forma, foi possível produzir banco dados processados para aplicação do método de detecção de vazamentos.

4.2 Manipulação de dados em SIG

O presente trabalho se utilizou das ferramentas disponíveis de software SIG denominado Qgis versão 2.18.27 que teve a função de agregar dados de diversas fontes comerciais e operacionais, como:

- Inscrições de ligações na rede de abastecimento;
- Locação de Logradouros;
- Retirada de vazamentos ao longo de 6 anos;
- Locação de EPZs;
- Locação de UTRs;
- Locação de rede de distribuição de água.

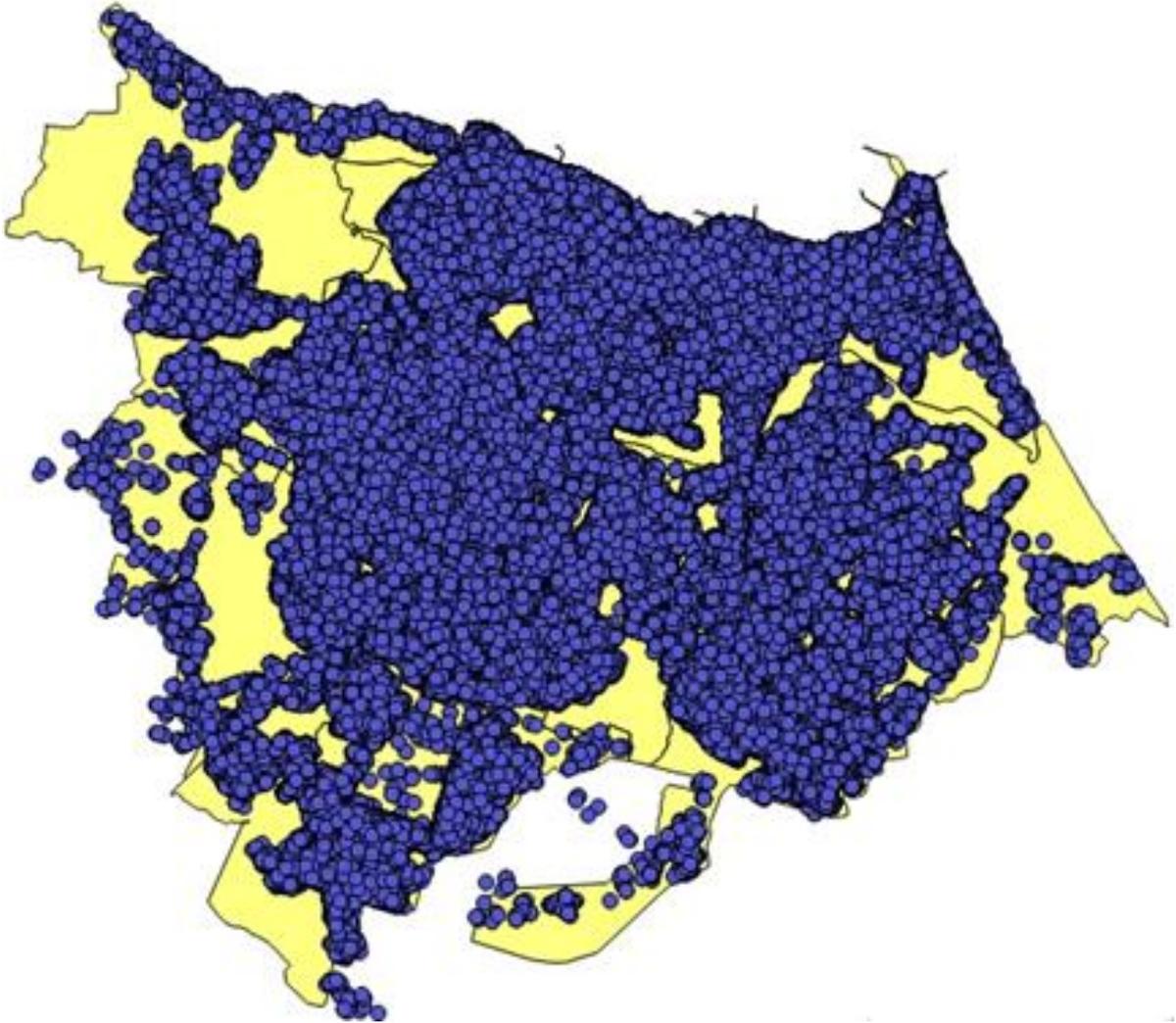
Com essas informações foi possível extrair dados requeridos para a pesquisa, como:

- Quantidade e locação de vazamentos por Zona de Abastecimento para os 6 anos (2013 a 2018);
- Taxa de vazamento por ligação domiciliar;
- Consumo mensal por zona de abastecimento no ano de 2018;
- Taxa de consumo por ligação domiciliar por Zonas de Abastecimento no ano de 2018.

4.2.1 Extração de dados de vazamentos

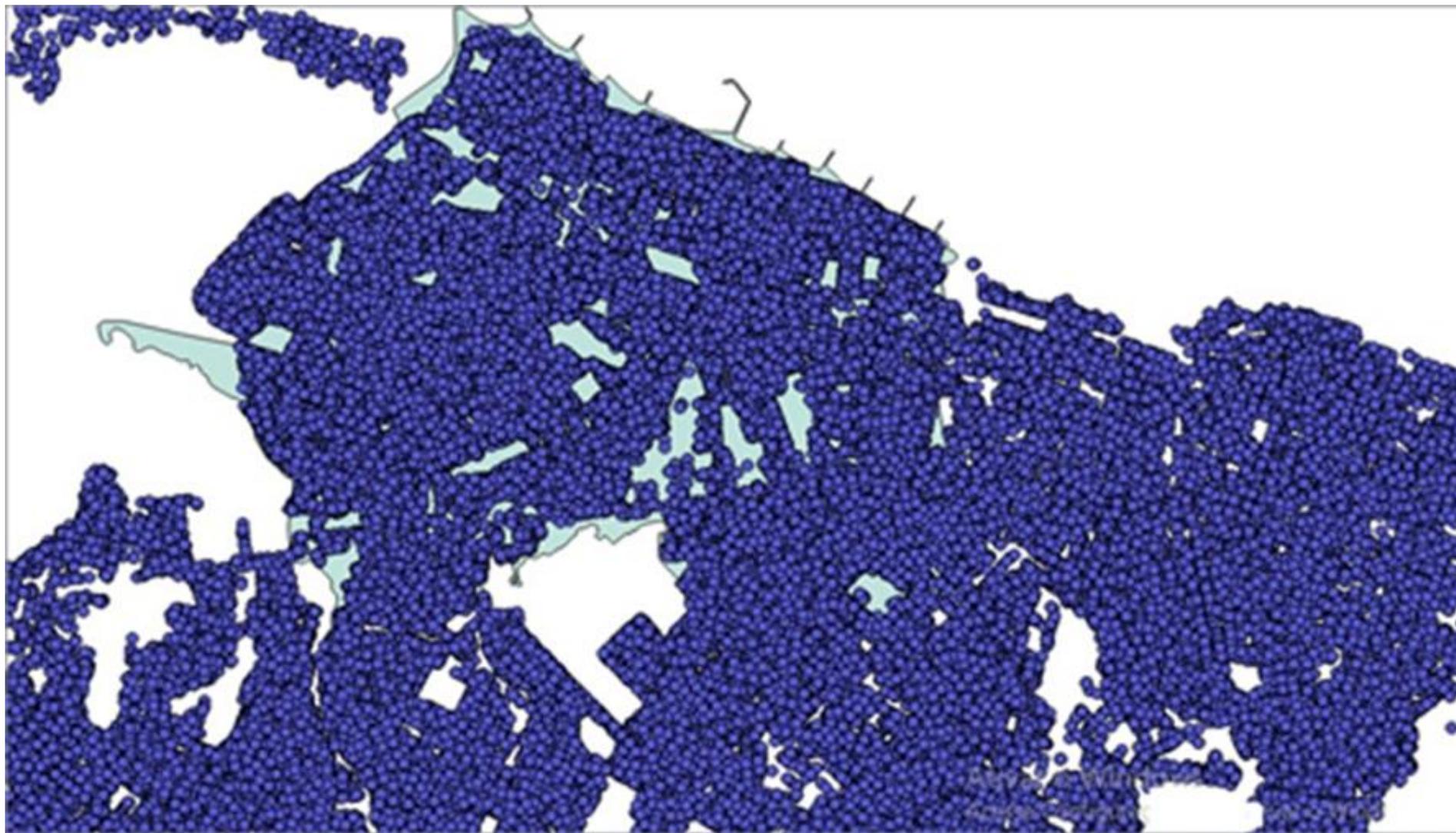
A figura 18 dispõe da situação dos reportes de vazamentos ao longo de 6 anos (2013 – 2018). Os dados disponíveis de retirada de vazamentos encontravam-se agregados para os anos de 2013 a 2018. Foi necessário, portanto, realizar a segregação de dados de 2018 através de filtros e pesquisa espacial. Nesse sentido, a figura 19 demonstra a realização de filtro para a camada “Zonas de Abastecimento Floresta”. Já a figura 20 mostra a zona de abastecimento filtrada com os pontos de retirada de vazamento sob a camada.

Figura 18 – Locação de vazamentos histórico de 6 anos



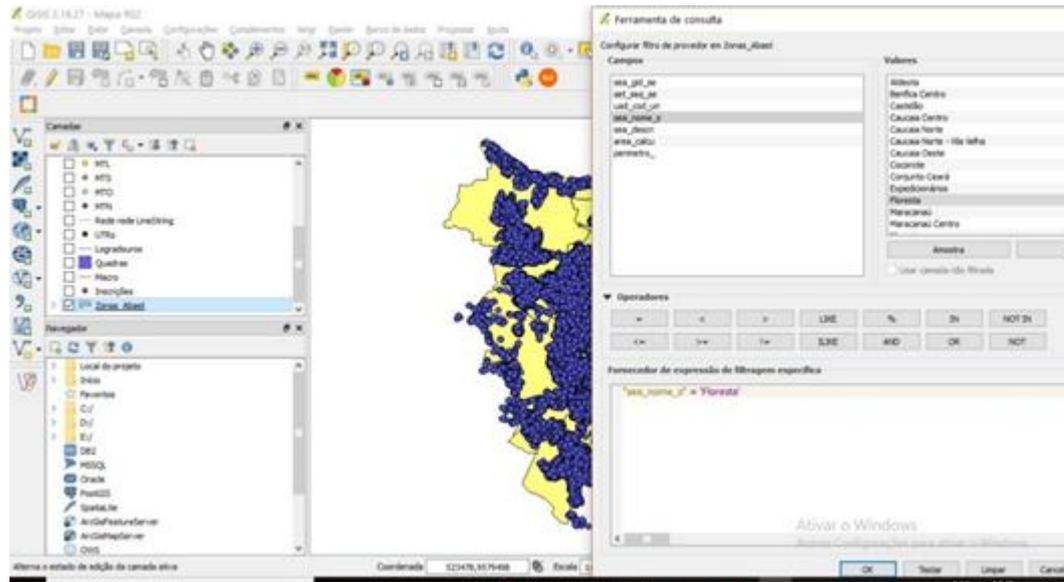
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 – Realização de filtro para a Zona de Abastecimento



Fonte: Elaborado pelo autor.

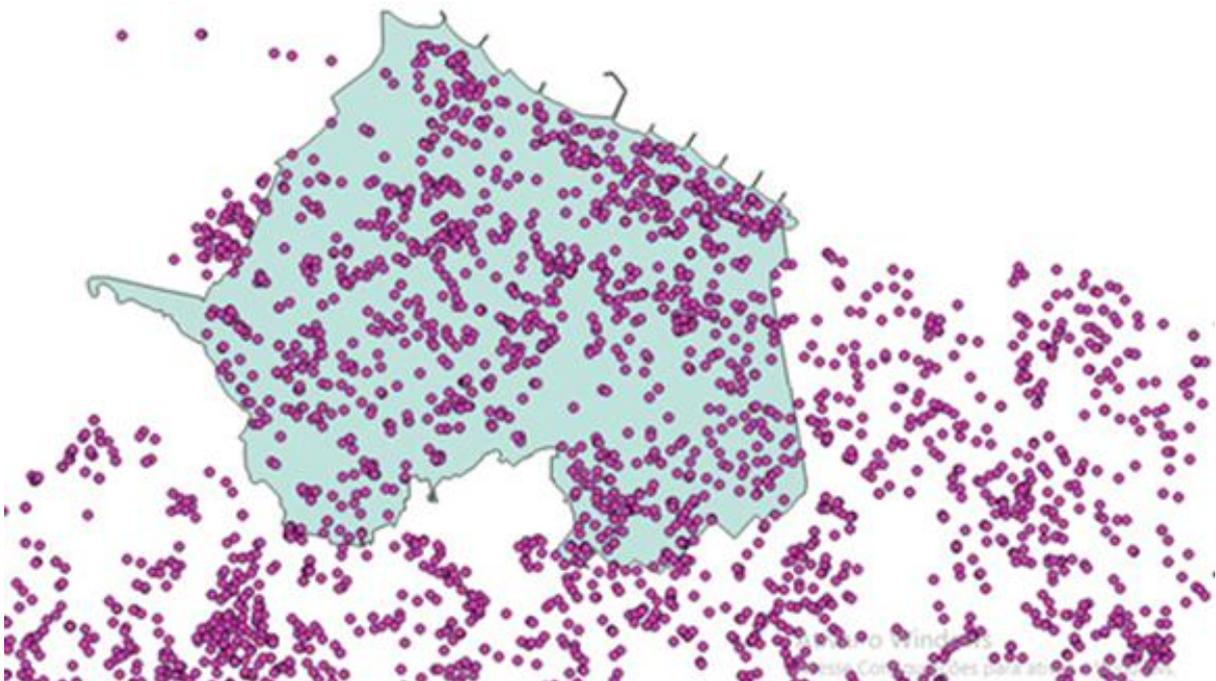
Figura 20 – Filtro realizado para camada “Zona de abastecimento Floresta”



Fonte: Elaborado pelo autor.

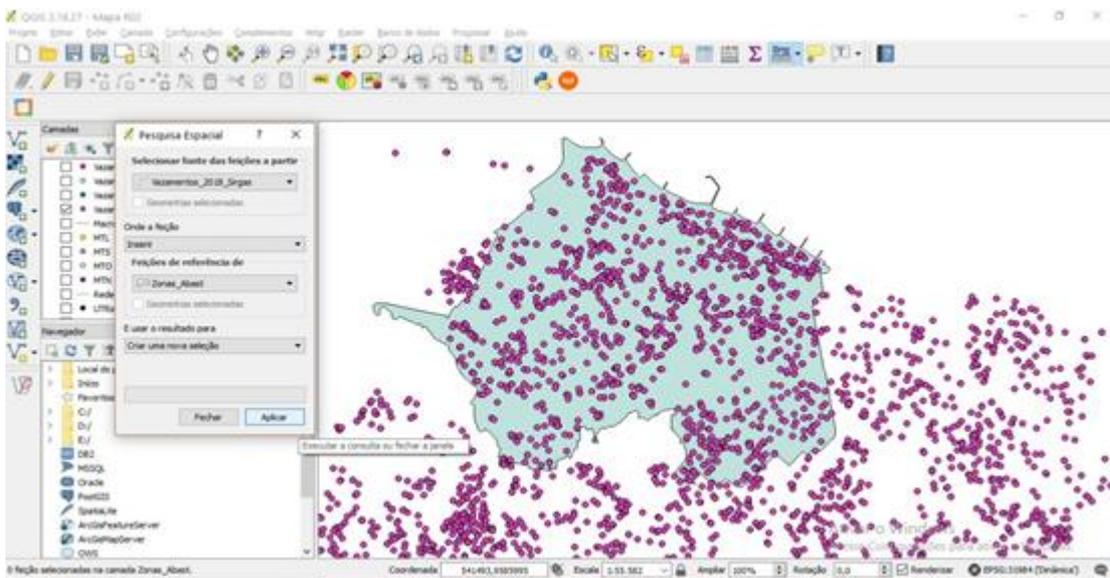
O mesmo filtro é realizado na camada “Vazamentos” para segregar apenas os vazamentos referentes à 2018, ficando conforme disposto na figura 21. Superada as duas etapas, realiza-se a pesquisa espacial com o intuito de separar os dados no quadro de atributos para os vazamentos retirados em 2018 dentro da Zonas filtrada, no caso “Floresta”, mostrado na figura 22.

Figura 21 - Filtro realizado para camada “Vazamentos 2018”



Fonte: Elaborado pelo autor.

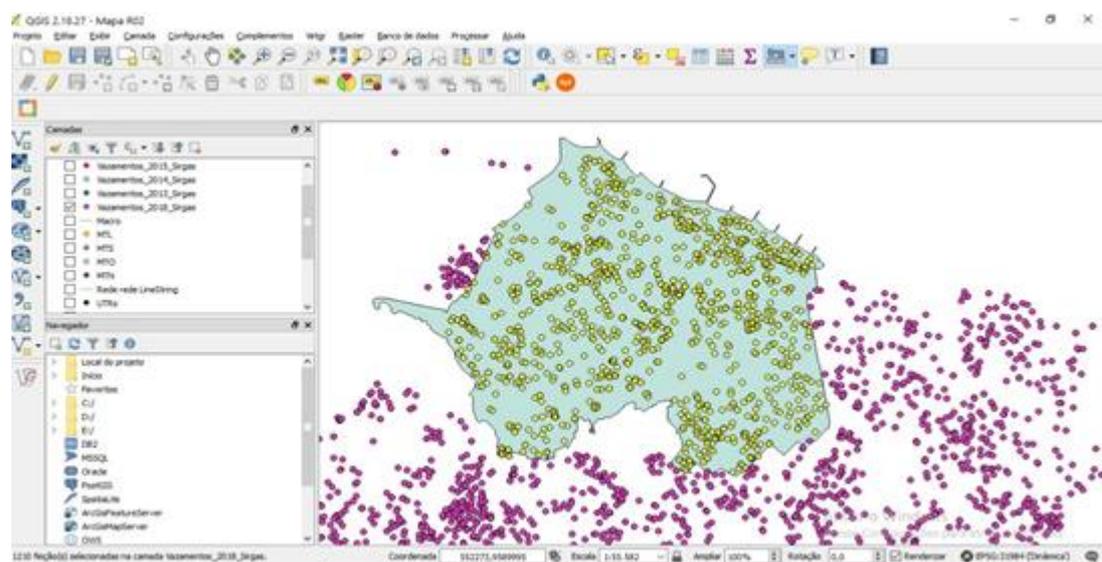
Figura 22 – Realização de pesquisa espacial para as camadas filtradas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a conclusão da pesquisa espacial, o software destaca os pontos de vazamentos retirados em 2018 inseridos na zona de abastecimento “Floresta”, mostrado na figura 23. As figuras 24 e 25 mostram os quadros de atributos antes e após a seleção de intersecção das 2 camadas. O quadro gerado é insumo utilizado na pesquisa desse trabalho. É possível perceber que o geoprocessamento confere à pesquisa exatidão quanto a locação de camadas e como os dados estão atrelados às camadas, após o processamento, estes ficam disponíveis agregando essa qualidade geográfica.

Figura 23 – Pesquisa espacial executada



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 – Quadro de atributos sem seleção da pesquisa espacial

Vacantões_2018_Sírgas : Feições de total: 11510, filtrado: 1210, selecionado: 1210 (não está respondendo)

	Id	COMPETENC	ATE_SEQ_AT	ITA_SEQ_IT	IND_CDD_Bn	DIS_DAF_S0	DIS_DAF_L1	DIS_DAF_Bx	DIS_TIP_RE	ING_NOM_F	SA
1	65384	201811	13245862	3762790	546590	01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 09:34:52,000000000	P	65384 Conjunto Ceará	
2	65380	201811	132472049	3763035	1053077	01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 17:42:20,000000000	P	65380 Messejana	
3	65381	201811	132472175	3763034		01/11/18	02/11/18 23:59..	02/11/18 10:36:45,000000000	P	65381	
4	65389	201811	132454128	37625244	391040	01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 09:59:04,000000000	P	65389 Conjunto Ceará	
5	653675	201811	132464872	37628579	903410	01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 14:11:18,000000000	P	653675 Mandubem	
6	653685	201811	132464264	37628186	8326290	01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 15:00:17,000000000	P	653685 Mandubem	
7	653797	201811	132454396	37625517		01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 10:12:43,000000000	P	653797	
8	653803	201811	132465542	37629440	1294578	01/11/18	02/11/18 23:59..	02/11/18 12:40:48,000000000	P	653803 Vila Brasil	
9	653810	201811	132463061	37628811	478605	01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 16:03:14,000000000	P	653810 Caucaia Norte	
10	653827	201811	132456457	37617903		01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 11:29:54,000000000	P	653827	
11	653917	201811	132458460	37631811	402740	01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 14:42:07,000000000	P	653917 Florinda	
12	653912	201811	132466433	37630652	10577521	01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 15:25:38,000000000	P	653912 Maracani	
13	653918	201811	132468790	37633735	13941420	01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 16:46:25,000000000	P	653918 Água Fria	
14	654113	201811	132456499	37617905	13941870	01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 18:53:04,000000000	P	654113 Água Fria	
15	654123	201811	132454351	37628136		01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 18:13:15,000000000	P	654123	
16	654129	201811	132471878	37630324	5188393	01/11/18	02/11/18 23:59..	02/11/18 15:33:26,000000000	P	654129 Água Fria	
17	654281	201811	132460529	37622931		01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 13:02:09,000000000	P	654281	
18	654287	201811	132454770	37618014	10715398	01/11/18	02/11/18 23:59..	02/11/18 14:42:34,000000000	P	654287 Água Fria	
19	654298	201811	132458996	37621018	3721822	01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 10:41:21,000000000	P	654298 Conjunto Ceará	
20	654379	201811	132455524	37618744	8803383	01/11/18	02/11/18 23:59..	01/11/18 11:55:18,000000000	P	654379 Conjunto Ceará	

Mostrar todas as feições

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25 – Quadro de atributos om dados selecionados

Id	CONHECTIVO	ARE_SQZ_07	ITA_SQZ_07	INQ_COD_01	ISS_DAT_01	ISS_DAT_02	ISS_DAT_03	ISS_TP_RE	wqz_01
652607	202811	132458603	17626361	406260	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 14:42:05,000000000	#	652607 Paralisa
652724	202811	132460603	17624366	234802	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 08:52:16,000000000	#	652724 Paralisa
658369	202811	132463961	17626366	3304264	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 15:46:06,000000000	#	658369 Paralisa
659041	202811	132468238	17623446	3604836	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 15:26:36,000000000	#	659041 Paralisa
659128	202811	132468941	17623866	4389774	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 08:44:06,000000000	#	659128 Paralisa
660638	202811	13246879	17628819	1383881	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 13:54:15,000000000	#	660638 Paralisa
660631	202811	132468259	17628821	1402744	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 14:20:47,000000000	#	660631 Paralisa
661471	202811	132472047	17629381	1404489	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 06:58:13,000000000	#	661471 Paralisa
662128	202811	132468247	17634469	6804830	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 15:53:33,000000000	#	662128 Paralisa
662127	202811	132468233	17634961	2304284	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 03:26:47,000000000	#	662127 Paralisa
662489	202811	132468266	17629204	1401902	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 30:42:58,000000000	#	662489 Paralisa
662779	202811	132468167	17638430	1398923	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 18:54:54,000000000	#	662779 Paralisa
662823	202811	132467942	17622366	4064156	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 15:02:47,000000000	#	662823 Paralisa
662972	202811	132459817	17621386	4214624	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 30:01:46,000000000	#	662972 Paralisa
663211	202811	132463462	17625249	3811451	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 11:34:53,000000000	#	663211 Paralisa
663238	202811	132444613	17617728	1468101	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 20:27:17,000000000	#	663238 Paralisa
663698	202811	132468181	17634238	6691738	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 15:46:30,000000000	#	663698 Paralisa
663247	202811	132464360	17613452	6852960	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 30:05:29,000000000	#	663247 Paralisa
663352	202811	132458477	17622428	4222098	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 20:51:15,000000000	#	663352 Paralisa
663777	202811	132468942	17630348	3389898	01/01/18	02/11/18 23:36	03/11/18 06:51:04,000000000	#	663777 Paralisa

Fonte: Elaborado pelo autor.

Realiza-se procedimento semelhante para se segregar mais os dados, no caso, para retirada de valores para cada mês do ano de 2018.

4.2.2 Atribuição de dados de consumo para dados do SIG

O cadastro fornecido na plataforma Qgis consisti de matrículas ativas e não ativas, não constando os dados de consumo mensal. Com esses dados foi possível, entretanto, determinar o número de ligações por zona de abastecimento através das funções de filtro e pesquisa espacial, conforme explanado no item 4.2.1

Dessa forma, foi necessário o cruzamento de dados comerciais das referidas matrículas com os registros de fatura comercial mensal para cada zona, a fim de se obter os valores de consumo por ligação e assim dispor dos volumes consumidos nas redes de abastecimento.

4.3 Restrição de amostras para análise de vazamentos e consumos

Reportando-se primeiramente as tabelas 1 a 4, após a determinação da relação das UTRs com as EPZs instaladas, definiram-se critérios de seleção para tais equipamentos para

utilizados de seus dados no estudo, levando em consideração também a limitação de dados exposta para diversas UTRs, conforme demonstrado no capítulo 3.

- 1º critério: Seleção conjunto de EPZs para cada Unidade de Negócio;
- 2º critério: Para as EPZs existir apenas 1 UTR como fonte de abastecimento e com dados válidos após tratamento dos outliers.

Diante disso, as EPZs selecionadas por unidade de negócio foram 9, conforme disposição a seguir:

UN MTN: Av. Independência (Nº 1), Rua Canário (Nº 2), Rua Rio Tocantins (Nº 9);

UN MTL: Av. Borges de Melo (Nº 1), Rua Aspirante Mendes (Nº 5);

UN MTO: Rua Antônio Ivo (Nº 1), Rua Professor Vieira (Nº 12);

UN MTS: Rua Gabriel Ferreira de Souza (Nº 9), Rua Samuel Uchoa (Nº 16);

Decidiu-se também impor restrição da quantidade de meses para realização das avaliações de pressão entre macro e microssistema, vazamentos e consumo. A decisão se baseou no fato da quantidade de dados existentes por dia para cada zona. Como cada EPZ possui 1 dado de pressão a cada 30 minutos, por dia cada EPZ possui 48 dados de pressão. Levando-se em consideração que foram selecionadas 9 EPZs serão 432 dados de pressão por dia. Ao longo de 1 mês, ou seja, 30 dias em média, serão 12.960 dados mensais a serem comparados com dados de pressão das UTRs.

No caso das UTRs serão 4 dispositivos (1 UTR para cada unidade de negócio) de pressão que emitem 1 dado de pressão por hora, ou seja, 24 dados por UTR por dia. Como são 4 UTRs existem 96 dados de pressão por dia. Ao longo de 1 mês (30 dias em média), existirão 2.880 dados mensais, ou seja, 22,22% da quantidade de dados mensais existente nas EPZs.

Com essa quantidade de dados e divergência (22,22%), optou-se por restringir a análise dentro de cada mês para se ter uma qualidade de análise para tanto para comparativo das séries, como para aplicação de método estatístico para detecção de vazamentos.

Em vista disso, já com os resultados de extração de dados em SIG disponíveis a decisão embasou-se em função do valor do número de retirada de vazamentos, conforme exposto na tabela 5, organizada de forma crescente em função da quantidade de vazamentos retirados no ano de 2018. Os meses escolhidos, portanto, foram fevereiro, junho, julho e novembro, como forma de representar valores extremos e medianos de retirada de vazamentos ao longo do ano de 2018.

Tabela 5 – Retirada de vazamentos mensal no ano de 2018

N^a de Retirada de Vazamentos mensalmente no ano de 2018	
Mês	Quantidade Retirada Vazamento
Fevereiro	<i>6807</i>
Março	<i>8022</i>
Janeiro	<i>8718</i>
Abril	<i>9085</i>
Maio	<i>9541</i>
Junho	<i>9630</i>
Julho	<i>9751</i>
Dezembro	<i>10392</i>
Setembro	<i>10551</i>
Agosto	<i>10713</i>
Outubro	<i>11214</i>
Novembro	<i>11475</i>

Fonte: Elaborado pelo autor

4.4 O Método de Controle Estatístico - Média Móvel Exponencialmente Ponderada

Dentre os métodos mais indicados para realização de Controle Estatístico de Processo – CEP em séries com um alto nível de auto correlação está a Média Móvel Exponencialmente Ponderada - MMEP (MONTGOMERY,2009), a qual também foi identificada por Jung. et al. (2015) entre a melhor avaliada entre uma lista de 6 técnicas de Controle Estatístico de Processos (CEP) avaliadas para detecção de vazamentos.

A base para detecção da MMEP consiste em prever valores e comparar com os valores adquiridos ao longo de uma série instantânea, semelhante ao utilizado em processos industriais para monitoramento da qualidade de produtos e insumos baseado em características chave.

A predição no caso da MMEP é uma média ponderada realizada sobre um conjunto de valores precedentes em uma série de registros adquiridos. Sobre a média é realizada ponderação através de um fator λ que leva em consideração a ocorrência de cada valor até o momento atual. Dessa forma, valores imediatamente precedentes ao valor atual tornam-se com maior peso do que os anteriores a estes, em detrimento da aplicação do fator λ .

Para se realizar uma predição no tempo atual, ou seja, em t_i é necessário apenas do valor imediatamente anterior $p_{t_{i-1}}$ e a respectiva predição anterior $MC_{t_{i-1}}$, segundo a equação 1:

$$MC_{ti} = \lambda p_{ti-1} + (1 - \lambda)MC_{ti-1} \quad (1)$$

Será mostrado no capítulo 5 – resultados que as séries de pressões possuem características gerais semelhantes umas com as outras, pois possuem dispersão periódica e não constantes, inerente ao processo ciclo de abastecimento de água que possui padrões bem definidos quanto a relação de oferta x demanda nos períodos do ano. Dessa forma, os valores de predição não devem ser realizados em termos absolutos, pois valores mais afastados da média podem não significar uma anormalidade. Portanto, a comparação deve ser feita com base no desvio padrão ou variância.

Dessa forma, para se compatibilizar com a média surge o cálculo do desvio padrão ou variância móvel e exponencialmente variável MVMEP de forma complementar ao MMEP. O cálculo, também de forma incremental da Variância estimada no tempo (VC_{ti}) toma valores p_{ti-1} e MC_{ti-1} , além da variância anterior VC_{ti-1} , segundo a equação 2 (FINCH, 2009):

$$VC_{ti} = (1 - \lambda)VC_{ti-1} + \lambda(p_{ti} - MC_{ti})(p_{ti} - MC_{ti-1}) \quad (2)$$

Com os dois valores é possível realizar comparação de curto prazo com a predição em termos de desvio padrão, segundo um limiar α , segundo equação 3:

$$\frac{|p_{ti} - MC_{ti}|}{\sqrt{VC_{ti}}} \left\{ \begin{array}{l} > \alpha: \text{Alteração Detectada;} \\ < \alpha: \text{Nenhuma Alteração} \end{array} \right. \quad (3)$$

A escolha do limiar de α é realizada com base do desejo do operador em ter ou não uma maior capacidade de reação. No caso em estudo foi adotado valor igual a um, após alguns testes realizados nos 4 meses escolhidos e na observação do histórico de vazamentos retirados. Com nesse valor é determinado se há ou não a ocorrência de anomalias. O valor de 1 mostrou-se como sendo compatível com as ocorrências de vazamentos, porém não foi realizado estudo de calibração.

A estabilidade de longo prazo também foi incorporada na análise como forma de melhorar a o desempenho do método em relação a estacionariedade da série. Tal ponto de vista também contribui para excluir valores extremos, ou seja, outliers, contudo como tal processamento já foi realizado, pouco se observou a ocorrência de tal situação.

Da mesma forma que na avaliação de curto prazo, é possível definir descritores de Média de Longo Prazo (ML) e Variância de Longo Prazo (VL), conforme as equações 4 e 5 (GAMA;GABER,2007), sendo n_i o número de elementos que têm sido incorporados na atualização, desde o início ou re-início até o momento atual t_i :

$$ML_{ti} = \frac{p_{ti} + (t_i - 1)ML_{t_i-1}}{n_i} \quad (4)$$

$$VC_{tu} = \frac{\sum_{j=1}^i p_{tj}^2 - \left(\sum_{j=1}^i p_{tj}\right)^2 / n_i}{n_i - 1} \quad (5)$$

Da mesma forma que a comparação com o limiar α , dispõe-se de valor β , seguindo a relação das equações 6 e 7:

$$\frac{|p_{ti} - MC_{ti}|}{\sqrt{VC_{ti}}} \left\{ \begin{array}{l} > \beta: \text{Alteração Detectada} \\ < \beta: \text{Nenhuma Alteração} \end{array} \right. \quad (6)$$

(7)

O valor de limiar de β não foi calibrado, apenas observado, já que se buscou apenas observar padrões de estacionariedade. Dessa forma, o valor adotado foi de 3.

O método de controle estatístico foi aplicado para dois fins:

- a) Avaliar relação de afinidade entre dispositivos de controle de pressão do macrossistema (UTRs) e microssistema (EPZs);
- b) Indicar relação de anomalias com os reportes de vazamentos e, assim, determinar o grau de detecção ativa de vazamentos do referido método.

Conforme objetivos específicos do trabalho em questão, o item “b” é a principal meta a ser atingida. Entretanto, o item “a” torna-se interessante em detrimento da necessidade de se determinar as relações de macrossistema e microssistema em um Sistema de Abastecimento real e, como tal, complexo e robusto. Essa primeira avaliação torna-se, portanto, estratégica para se determinar o grau de isolamento das zonas de abastecimento e a sensibilidade em que as UTRs conseguem interceptar mudanças no microssistema.

Portanto, serão dispostos os gráficos obtidos pelo referido método para cada unidade de negócio abordando-se ao final de cada unidade os resultados de afinidade (item a) e detecção de vazamento (item b).

5 RESULTADOS

Os resultados foram segregados em três tópicos, iniciando-se por dados e estatísticas obtidos na manipulação com o SIG e finalizando com aplicação do método de controle estatístico proposto no trabalho.

5.1 Sistema de abastecimento de Fortaleza segundo vazamentos, consumo e ligações

O geoprocessamento de dados, conforme descrito no capítulo 4 – metodologia, tornou possível a investigação e caracterização do Sistema de Abastecimento da cidade de Fortaleza em função de ocorrência de vazamentos, consumo e número de ligações. Os primeiros dados obtidos através da manipulação do SIG foram postos na tabela 6 que dispõe o histórico de retirada de vazamentos ao longo de 6 anos de forma ordenada crescente por valor total de retirada.

Tabela 6 – Reportes de retirada de vazamentos

Nº	Zonas de Abastecimento	2.018	2.017	2.016	2.015	2.014	2.013	Total Retirada de Vaz.
1	Caucaia Norte - Vila Velha	563	564	601	635	662	659	3.684
2	Maracanaú Centro	1.181	752	846	1.155	1.145	1.331	6.410
3	Benfica Centro	1.236	914	1.213	1.171	1.274	1.210	7.018
4	Caucaia Oeste	2.360	1.713	2.000	1.525	2.000	2.676	12.274
5	Cocorote	2.848	2.821	2.716	2.542	2.278	1.993	15.198
6	Caucaia Norte	2.307	2.629	2.393	2.777	2.340	3.444	15.890
7	Caucaia Centro	2.604	2.320	2.560	3.865	2.413	3.587	17.349
8	Expedicionários	3.073	2.598	3.144	3.019	3.210	3.289	18.333
9	Mucuripe	3.454	2.800	2.924	3.208	3.339	3.493	19.218
10	Aldeota	3.941	2.907	3.758	3.841	4.035	4.171	22.653
11	Castelão	3.696	3.497	3.605	3.828	3.785	4.466	22.877
12	Pici	3.956	3.992	3.895	3.959	4.726	4.568	25.096
13	Mondubim	5.888	4.721	5.517	5.586	5.777	5.459	32.948
14	Maracanaú	5.978	5.520	5.890	7.467	7.205	7.183	39.243
15	Água Fria	6.601	5.174	6.576	6.949	7.473	6.900	39.673
16	Vila Brasil	6.759	6.599	6.589	6.572	6.770	6.514	39.803
17	Messejana	10.171	7.972	9.011	9.313	10.821	9.078	56.366
18	Floresta	13.572	12.581	13.942	14.360	13.162	14.099	81.716
19	Conjunto Ceará	13.906	12.400	13.353	13.657	14.023	14.490	81.829
Total		94.094	82.474	90.533	95.429	96.438	98.610	557.578

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com a finalidade de se avaliar a variação de ranking ao longo de 6 anos, foram plotados os gráficos 14 a 19.

Gráfico 14 - Ranking de Retirada de Vazamentos 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico 14 é possível ver que as quatro zonas com menos retiradas são Caucaia Norte, Maracanaú Centro, Benfica Centro e Caucaia Norte. As quatro zonas com mais retiradas são “Vila Brasil”, “Messejana”, “Floresta” e “Conjunto Ceará”.

Gráfico 15 - Ranking de Retirada de Vazamentos 2017



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico 15 é possível ver que as quatro zonas com menos retiradas são “Caucaia Norte”, “Maracanaú Centro”, “Benfica Centro” e “Caucaia Oeste”. As quatro zonas com mais retiradas são “Vila Brasil”, “Messejana”, “Conjunto Ceará” e “Floresta”.

Gráfico 16 - Ranking de Retirada de Vazamentos 2016



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico 16 é possível ver que as quatro zonas com menos retiradas são “Caucaia Norte”, “Maracanaú Centro”, “Benfica Centro” e “Caucaia Oeste”. As quatro zonas com mais retiradas são “Vila Brasil”, “Messejana”, “Conjunto Ceará” e “Floresta”.

Gráfico 17 - Ranking de Retirada de Vazamentos 2015



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico 17 é possível ver que as quatro zonas com menos retiradas são “Caucaia Norte”, “Maracanaú Centro”, “Benfica Centro” e “Caucaia Oeste”. As quatro zonas com mais retiradas são “Maracanaú”, “Messejana”, “Conjunto Ceará” e “Floresta”.

Gráfico 18 - Ranking de Retirada de Vazamentos 2014



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico 18 é possível ver que as quatro zonas com menos retiradas são “Caucaia Norte”, “Maracanaú Centro”, “Benfica Centro” e “Caucaia Oeste”. As quatro zonas com mais retiradas são “Água Fria”, “Messejana”, “Floresta” e “Conjunto Ceará”.

Gráfico 19 - Ranking de Retirada de Vazamentos 2013



Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico 19 é possível ver que as quatro zonas com menos retiradas são “Caucaia Norte”, “Benfica Centro”, “Maracanaú Centro”, e “Cocorote”. As quatro zonas com mais retiradas são “Maracanaú”, “Messejana”, “Floresta” e “Conjunto Ceará”.

As zonas com maior frequência de retirada de vazamentos são “Floresta” e “Conjunto Ceará”, que alternam os 19º e 20º lugares ao longo dos 6 anos. Além desses, “Messejana”, “Vila Brasil”, “Maracanaú” e “Água Fria” alternam entre as 15º, 16º e 17º posição.

As zonas que menos tiveram ocorrência de retirada de vazamentos foram “Caucaia Norte – Vila Velha”, “Maracanaú Centro”, “Benfica Centro” e “Caucaia Oeste”, os quais alternam entre o 1º e 4º lugar.

Dessa forma, percebe-se pouca variação entre as duas extremidades com relação ao “rodízio” entre as zonas.

Quanto ao número de ligações ativas o ranking ficou conforme disposto na tabela 7, de forma acumulada. Não foi possível segregar por ano a variação da quantidade de ligações. Os valores de comerciais só disponibilizaram valores de ligações ativas sem discriminação do ano, ou seja, o número disposto na tabela 7 denotam o número de ligações ativas atualmente.

Tabela 7 – Número de ligações ativas

Zonas de Abastecimento	2.018	2.017	2.016	2.015	2.014	2.013	Total Retirada de Vaz.	Nº Ligações
Caucaia Norte - Vila Velha	563	564	601	635	662	659	3.684	8.229
Maracanaú Centro	1.181	752	846	1.155	1.145	1.331	6.410	15.192
Cocorote	2.848	2.821	2.716	2.542	2.278	1.993	15.198	19.710
Benfica Centro	1.236	914	1.213	1.171	1.274	1.210	7.018	22.068
Caucaia Oeste	2.360	1.713	2.000	1.525	2.000	2.676	12.274	24.280
Expedicionários	3.073	2.598	3.144	3.019	3.210	3.289	18.333	28.858
Caucaia Norte	2.307	2.629	2.393	2.777	2.340	3.444	15.890	29.959
Castelão	3.696	3.497	3.605	3.828	3.785	4.466	22.877	43.080
Aldeota	3.941	2.907	3.758	3.841	4.035	4.171	22.653	43.321
Mucuripe	3.454	2.800	2.924	3.208	3.339	3.493	19.218	46.715
Caucaia Centro	2.604	2.320	2.560	3.865	2.413	3.587	17.349	50.304
Água Fria	6.601	5.174	6.576	6.949	7.473	6.900	39.673	67.206
Mondubim	5.888	4.721	5.517	5.586	5.777	5.459	32.948	71.157
Pici	3.956	3.992	3.895	3.959	4.726	4.568	25.096	71.948
Maracanaú	5.978	5.520	5.890	7.467	7.205	7.183	39.243	76.081
Vila Brasil	6.759	6.599	6.589	6.572	6.770	6.514	39.803	80.846
Messejana	10.171	7.972	9.011	9.313	10.821	9.078	56.366	115.304
Conjunto Ceará	13.906	12.400	13.353	13.657	14.023	14.490	81.829	145.175
Floresta	13.572	12.581	13.942	14.360	13.162	14.099	81.716	156.702

Fonte: Elaborado pelo autor.

A relação vazamento e ligação é disposta na tabela 8, na qual é disposta a taxa de vazamentos por números de ligações, com a finalidade de expor a relação de proporcionalidade entre ligações e vazamentos

Tabela 8 - Taxa de Vazamento/Ligação Zonas de Abastecimento

Zonas de Abastecimento	Total Retirada de Vazamentos	Nº Ligações	Vaz./Ligação
Benfica Centro	7.018	22.068	0,31801704
Caucaia Centro	17.349	50.304	0,34488311
Pici	25.096	71.948	0,34880747
Mucuripe	19.218	46.715	0,41138821
Maracanaú Centro	6.410	15.192	0,4219326
Caucaia Norte - Vila Velha	3.684	8.229	0,44768502
Mondubim	32.948	71.157	0,46303245
Messejana	56.366	115.304	0,48884687
Vila Brasil	39.803	80.846	0,4923311
Caucaia Oeste	12.274	24.280	0,50551895
Maracanaú	39.243	76.081	0,51580552
Floresta	81.716	156.702	0,52147388
Aldeota	22.653	43.321	0,52291037
Caucaia Norte	15.890	29.959	0,53039154
Castelão	22.877	43.080	0,53103528
Conjunto Ceará	81.829	145.175	0,56365765
Água Fria	39.673	67.206	0,59031932
Expedicionários	18.333	28.858	0,63528311
Cocorote	15.198	19.710	0,77108067

Fonte: Elaborado pelo autor.

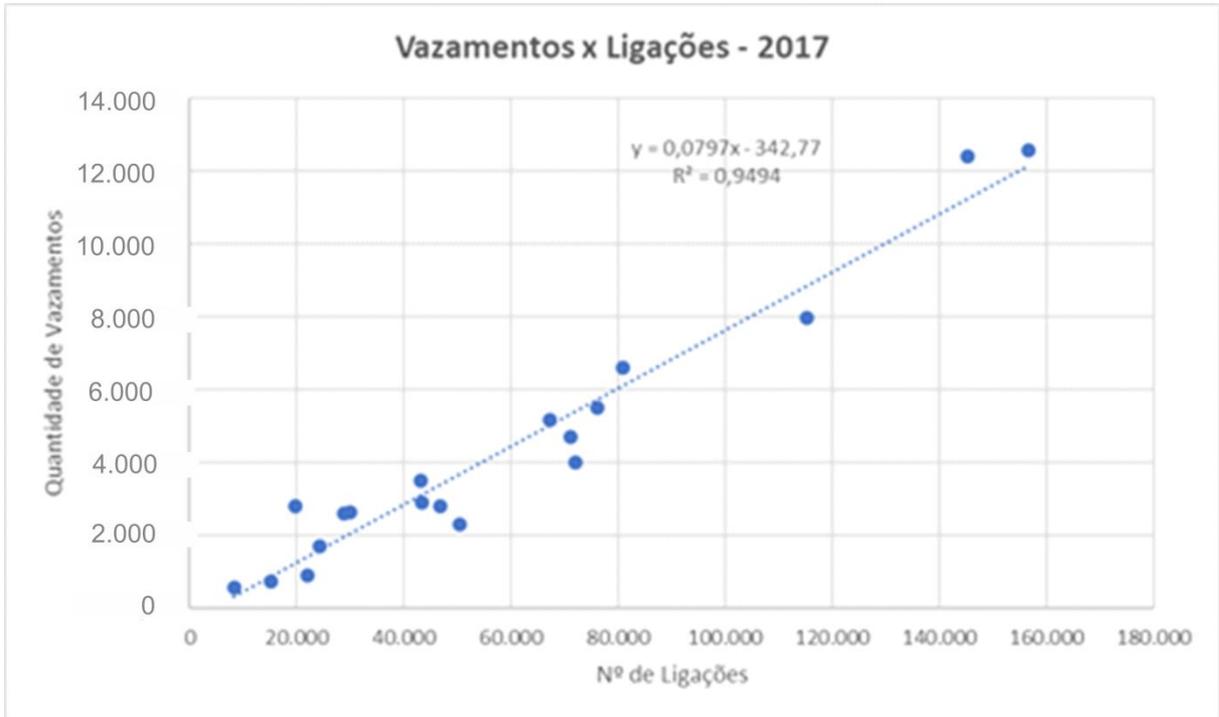
Os gráficos 20 a 25 demonstram relação de vazamento e quantidade de ligações, em vista de que o maior número de fraudes e vazamentos se encontram nas ligações prediais. Percebe-se a relação linear entre as duas variáveis.

Gráfico 20 - Gráfico de dispersão Vazamento por Número de Ligações 2018



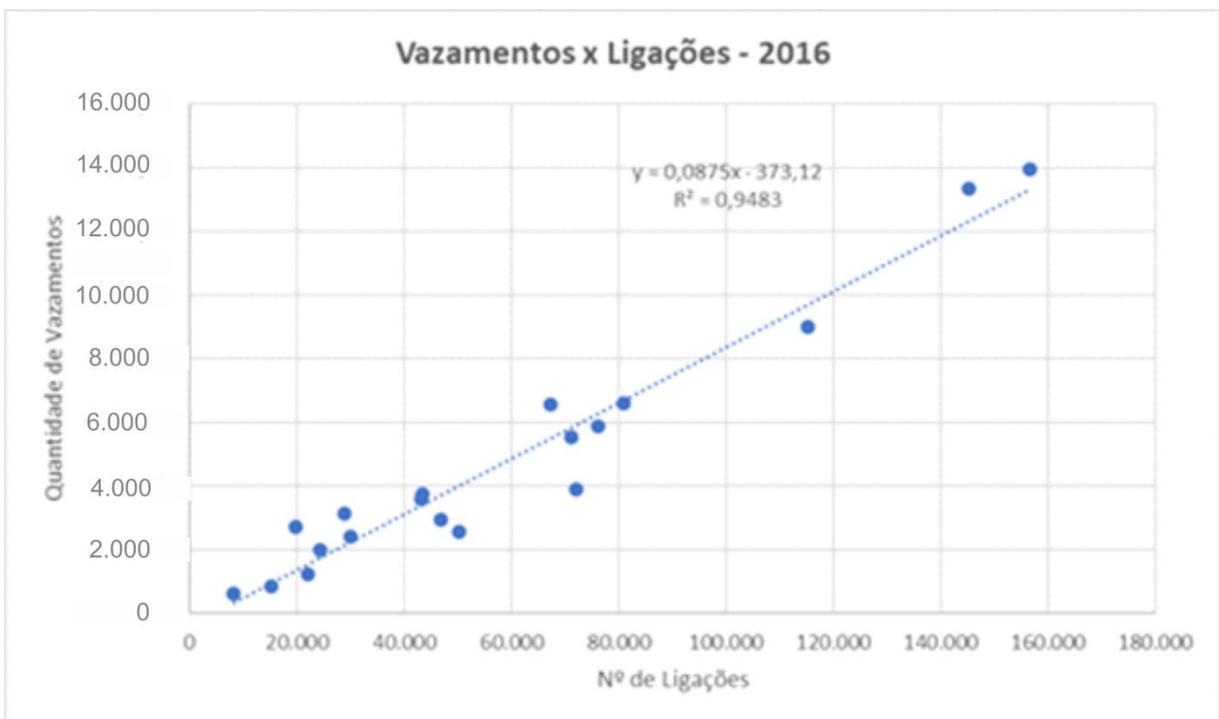
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 21 - Gráfico de dispersão Vazamento por Número de Ligações 2017



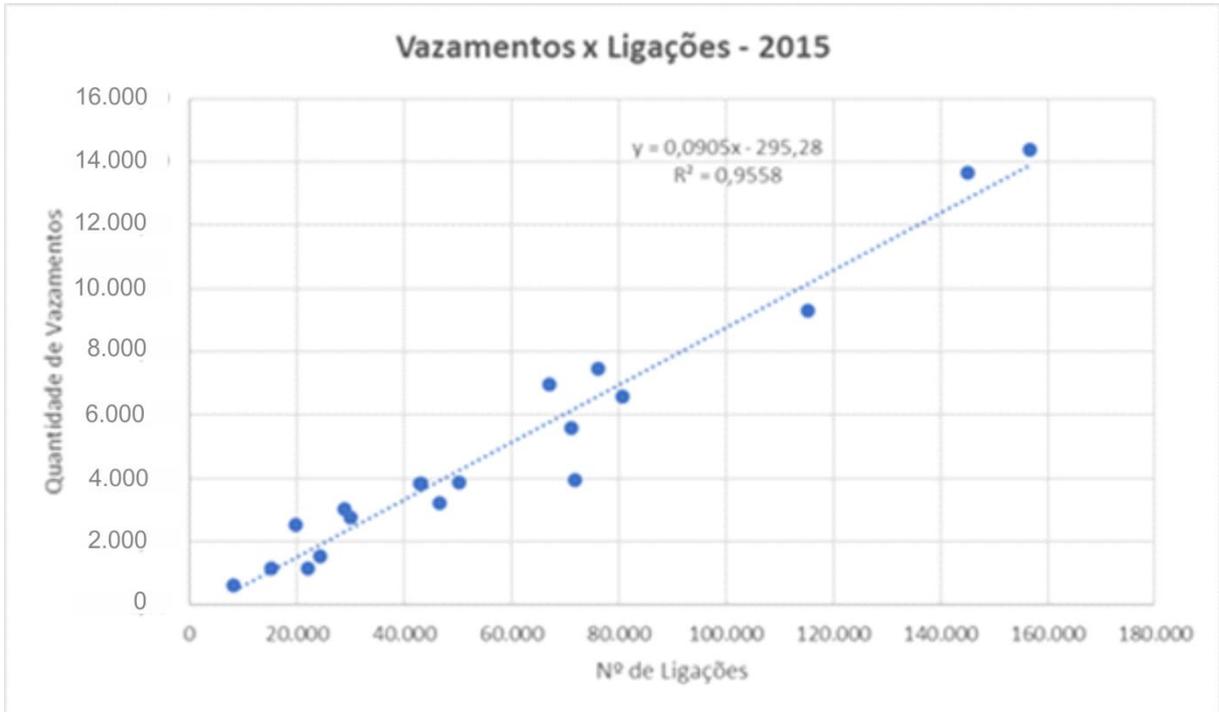
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 22 - Gráfico de dispersão Vazamento por Número de Ligações 2016



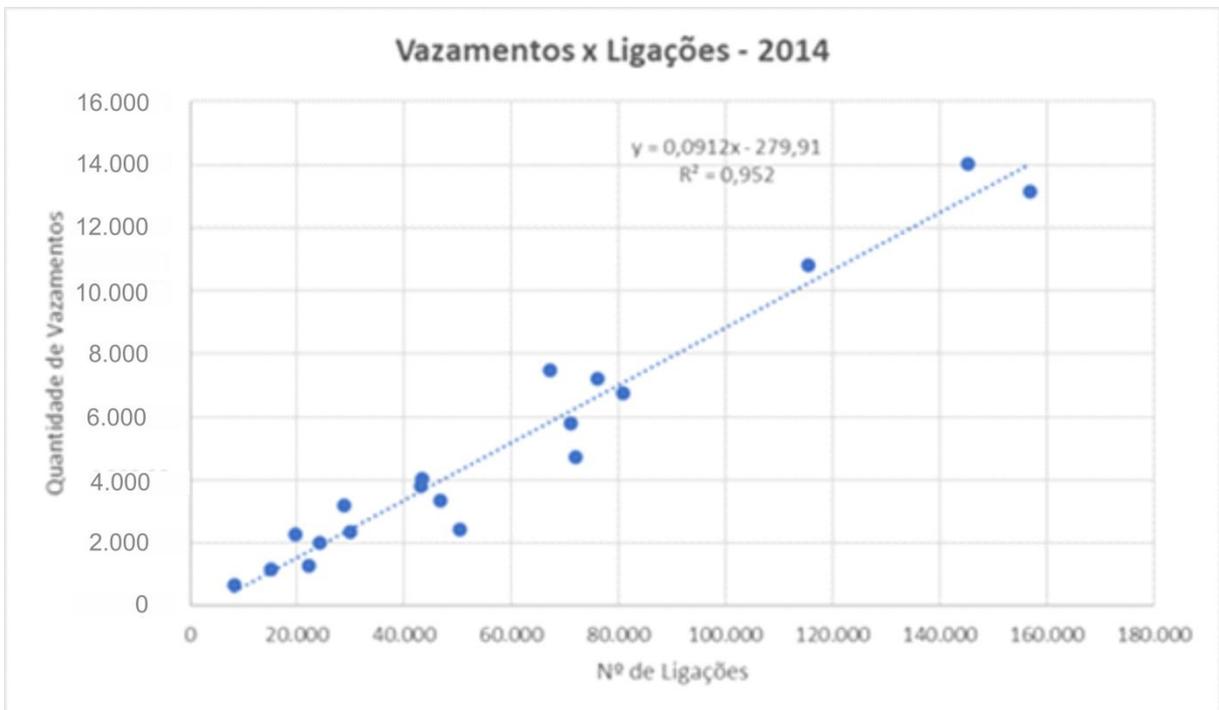
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 23 - Gráfico de dispersão Vazamento por Número de Ligações 2015



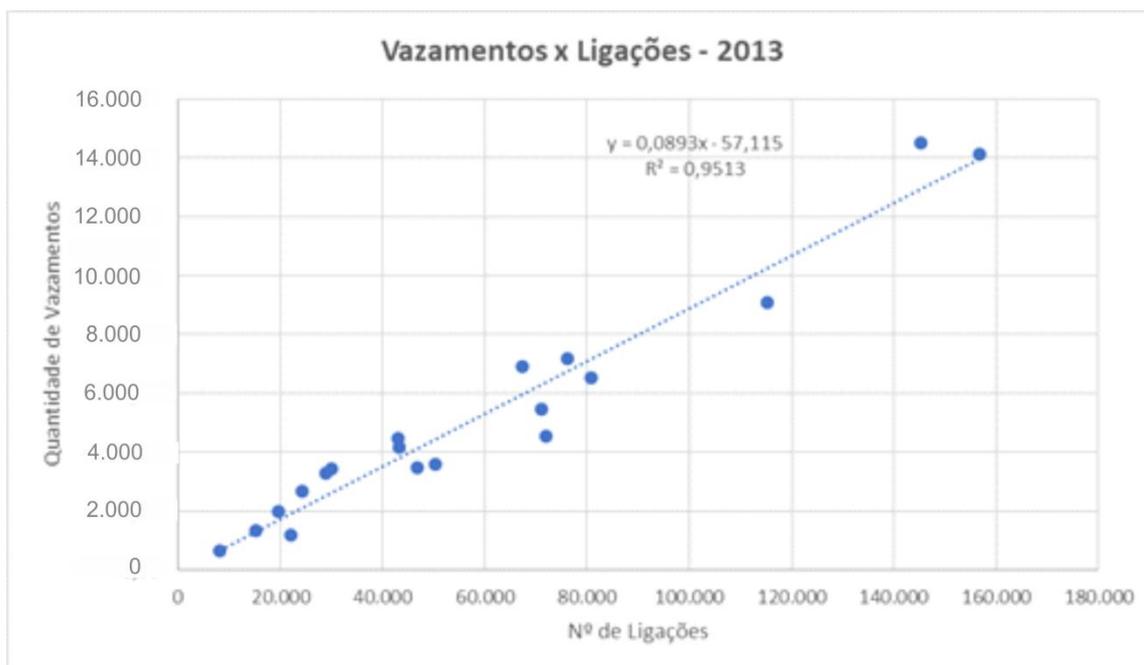
Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 24 - Gráfico de dispersão Vazamento por Número de Ligações 2014



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 25 - Gráfico de dispersão Vazamento por Número de Ligações 2013



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os dados de consumo, por sua vez, foram dispostos em função dos meses selecionados em 2018, ou seja, fevereiro, junho, julho e novembro. A tabela 9 mostra de forma ordenada crescente em função no número de ligações o ranking.

Tabela 9 - Valores de consumo por Zona de Abastecimento (m³)

Zonas de Abastecimento	Retirada de vazamentos em 2018	Nº Ligações	Consumo Fev 2018	Consumo Junho 2018	Consumo Julho 2018	Consumo Novembro 2018
Caucaia Norte - Vila Velha	563	8.229	40.839	43.122	40.520	45.217
Maracanaú Centro	1181	15.192	99.104	96.898	94.632	114.123
Cocorote	2848	19.710	172.644	174.479	163.517	179.250
Benfica Centro	1236	22.068	342.460	384.061	394.911	224.640
Caucaia Oeste	2360	24.280	178.957	166.959	163.601	193.479
Expedicionários	3073	28.858	274.245	339.026	350.086	356.357
Caucaia Norte	2307	29.959	197.186	172.906	176.774	202.784
Castelão	3696	43.080	352.561	353.431	353.071	396.439
Aldeota	3941	43.321	1.062.362	1.020.988	1.073.842	1.133.787
Mucuripe	3454	46.715	559.186	735.233	566.201	633.236
Caucaia Centro	2604	50.304	296.153	285.875	263.337	322.541
Água Fria	6601	67.206	949.330	962.278	743.022	812.698
Mondubim	5888	71.157	762.128	754.908	871.981	575.695
Pici	3956	71.948	578.260	559.710	552.631	573.582
Maracanaú	5978	76.081	954.584	1.032.334	1.057.764	770.509
Vila Brasil	6759	80.846	694.967	675.937	683.549	748.918
Messejana	10171	115.304	1.087.750	1.099.827	1.192.175	1.079.327
Conjunto Ceará	13906	145.175	943.602	918.019	902.274	1.030.249
Floresta	13572	156.702	1.113.822	1.054.505	1.040.202	1.147.443

Fonte: Elaborado pelo autor

De forma geral, as Zonas “Messejana” e “Floresta” representam 64% do consumo da capital e região metropolitana, o restante representativo está alocado nas demais zonas, conforme ilustrado no gráfico 26.

Gráfico 26 – Consumos mais representativos no ano de 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

A taxa de consumo por ligação no ano de 2018, conforme disposta na tabela 10, mostra de existe uma estabilidade entre as zonas e uma coerência quanto ao tamanho em que constam as ligações diversas. Entretanto, percebe-se uma variação no desvio padrão das zonas “Aldeota”, “Benfica” e “Água Fria”, reportando-se a necessidade de investigação quanto às perdas aparentes, comumente tratada pela mineração de dados comerciais das regiões.

Existe também um padrão interessante de se destacar na zona “cocorote”. Esta zona mostra como uma das menores áreas dentre as 19, com número de ligações que lhe confere o título de 3º menor zona em número de ligações. Porém, quanto se avalia valores de taxa vazamento/ligação e taxa de consumo, constata-se valores altos. No quesito taxa de consumo chega a ultrapassar zonas robustas como “Floresta” e “Conjunto Ceará”.

De forma geral, a média de consumo é estável retratando um valor de 9,93m³/ligação e desvio padrão médio de 0,93. Por fim, demonstra-se o valor da representatividade em termo de retirada de vazamentos da amostra adotada nos 4 meses, conforme é possível se observar na tabela 11, no valor de 30,98%.

Tabela 10 – Taxa de consumo por ligação (m³/liga)

Zonas de Abastecimento	Taxa de Consumo por Ligação Fev 2018 (m ³ /ligação)	Taxa de Consumo por Ligação Junho 2018 (m ³ /ligação)	Taxa de Consumo por Ligação Julho 2018 (m ³ /ligação)	Taxa de Consumo por Ligação Nov 2018 (m ³ /ligação)	Média	Desvio Padrão
Caucaia Norte - Vila Velha	4,96	5,24	4,92	5,49	5,16	0,27
Maracanaú Centro	6,52	6,38	6,23	7,51	6,66	0,58
Cocorote	8,76	8,85	8,30	9,09	8,75	0,33
Benfica Centro	15,52	17,40	17,90	10,18	15,25	3,53
Caucaia Oeste	7,37	6,88	6,74	7,97	7,24	0,56
Expedicionários	9,50	11,75	12,13	12,35	11,43	1,31
Caucaia Norte	6,58	5,77	5,90	6,77	6,26	0,49
Castelão	8,18	8,20	8,20	9,20	8,45	0,50
Aldeota	24,52	23,57	24,79	26,17	24,76	1,08
Mucuripe	11,97	15,74	12,12	13,56	13,35	1,75
Caucaia Centro	5,89	5,68	5,23	6,41	5,80	0,49
Água Fria	14,13	14,32	11,06	12,09	12,90	1,59
Mondubim	10,71	10,61	12,25	8,09	10,42	1,72
Pici	8,04	7,78	7,68	7,97	7,87	0,17
Maracanaú	12,55	13,57	13,90	10,13	12,54	1,71
Vila Brasil	8,60	8,36	8,45	9,26	8,67	0,41
Messejana	9,43	9,54	10,34	9,36	9,67	0,45
Conjunto Ceará	6,50	6,32	6,22	7,10	6,53	0,39
Floresta	7,11	6,73	6,64	7,32	6,95	0,32
Média	9,83	10,14	9,95	9,79	9,93	0,93

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 11 – Representatividade quanto ao número de vazamentos

Zonas de Abastecimento	Retirada de Vazamentos em 2018	Nº Ligações	Retirada de Vazamento Fev 2018	Retirada de Vazamento Junho 2018	Retirada de Vazamento Julho 2018	Retirada de Vazamento Nov 2018	TOTAL	%
Caucaia Norte - Vila Velha	563	8.229	23	45	54	53	175	31,08%
Maracanaú Centro	1.181	15.192	58	112	101	132	403	34,12%
Cocorote	2.848	19.710	161	215	183	247	806	28,30%
Benfica Centro	1.236	22.068	80	110	96	125	411	33,25%
Caucaia Oeste	2.360	24.280	115	194	144	290	743	31,48%
Expedicionários	3.073	28.858	207	268	308	238	1.021	33,22%
Caucaia Norte	2.307	29.959	117	212	202	306	837	36,28%
Castelão	3.696	43.080	204	292	294	409	1.199	32,44%
Aldeota	3.941	43.321	236	364	360	362	1.322	33,54%
Mucuripe	3.454	46.715	215	283	280	284	1.062	30,75%
Caucaia Centro	2.604	50.304	168	211	217	257	853	32,76%
Água Fria	6.601	67.206	366	641	183	745	1.935	29,31%
Mondubim	5.888	71.157	311	469	504	125	1.409	23,93%
Pici	3.956	71.948	206	338	355	407	1.306	33,01%
Maracanaú	5.978	76.081	369	484	577	450	1.880	31,45%
Vila Brasil	6.759	80.846	437	459	529	742	2.167	32,06%
Messejana	10.171	115.304	612	805	294	409	2.120	20,84%
Conjunto Ceará	13.906	145.175	766	1.055	1.205	1.880	4.906	35,28%
Floresta	13.572	156.702	815	1.277	1.298	1.210	4.600	33,89%
Total	94.094	1.116.135	6.807	9.630	9.751	11.475	29.155	30,98%

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.1.1 Análise de consumo e vazamento

Nessa subseção serão abordados dados dentro do escopo selecionado para os meses de fevereiro, junho, julho e novembro do ano de 2018. O intuito é poder se aproximar de dados mais discretos em cada mês, para se obter algumas relações entre as variáveis característica do Sistema de Abastecimento de Água de Fortaleza e Região Metropolitana.

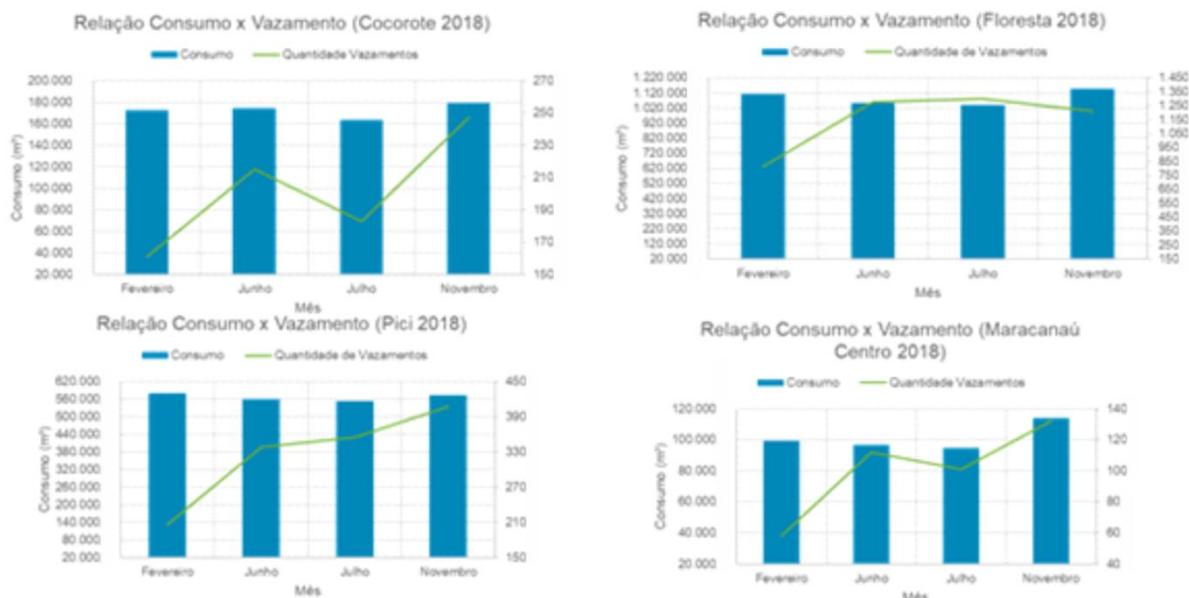
Realizando uma análise qualitativa no gráfico 27 percebe-se que há um paralelismo no comportamento da quantidade de vazamentos retirados e consumo. De forma geral, quando ocorre um aumento no consumo, o número de vazamentos cresce sob taxa diferente. Na Zona de Abastecimento “Cocorote” As mudanças no consumo são suaves, enquanto a variação na retirada de vazamentos é abrupta, acompanhado, porém, as respectivas tendências de crescimento e decrescimento. É importante ressaltar que a Zona “Cocorote” possui a maior taxa vazamento/ligação (0,77 vazamentos/ligação). Tal realidade reverbera no consumo, pois quando se há uma diminuição no consumo, muitos vazamentos deixam de ocorrer de forma não proporcional, sendo o contrário também válido.

A Zona “Floresta” possui maior número de ligações dentre as demais 18. Tal configuração ajuda a amortecer a ocorrência de vazamentos quando ocorrem alterações no consumo, explicando, dessa forma, a forma suave e quase inalterada nos meses de junho, julho e novembro. Destaca-se a ocorrência contrária entre consumo e vazamento entre os meses de fevereiro – junho e julho – novembro. No primeiro houve diminuição de consumo e aumento de vazamentos. No segundo houve aumento de consumo e diminuição de vazamentos. Esse comportamento pode ser explicado pela dificuldade operacional em se atender todos os vazamentos no mês corrente, ficando sempre demandas de tal gênero para o próximo mês, dado o tamanho da zona de abastecimento considerável que é o “Floresta”.

No caso da Zona “Pici” há um comportamento independente entre as duas variáveis, pois quando a tendência de consumo é ficar estável as ocorrências de vazamentos aumentam mês a mês. Tal situação é explicada puramente pela fadiga por tempo de uso nas tubulações de tal subsetor de abastecimento, ou seja, não é necessário haver maiores mudanças no comportamento de consumo da rede para se haver rupturas. As redes apenas encontram-se em final de vida útil.

O caso da Zona de “Maracanaú Centro” mostra-se semelhante a Zona “Pici”.

Gráfico 27 – Comportamento consumo por vazamento ano 2018



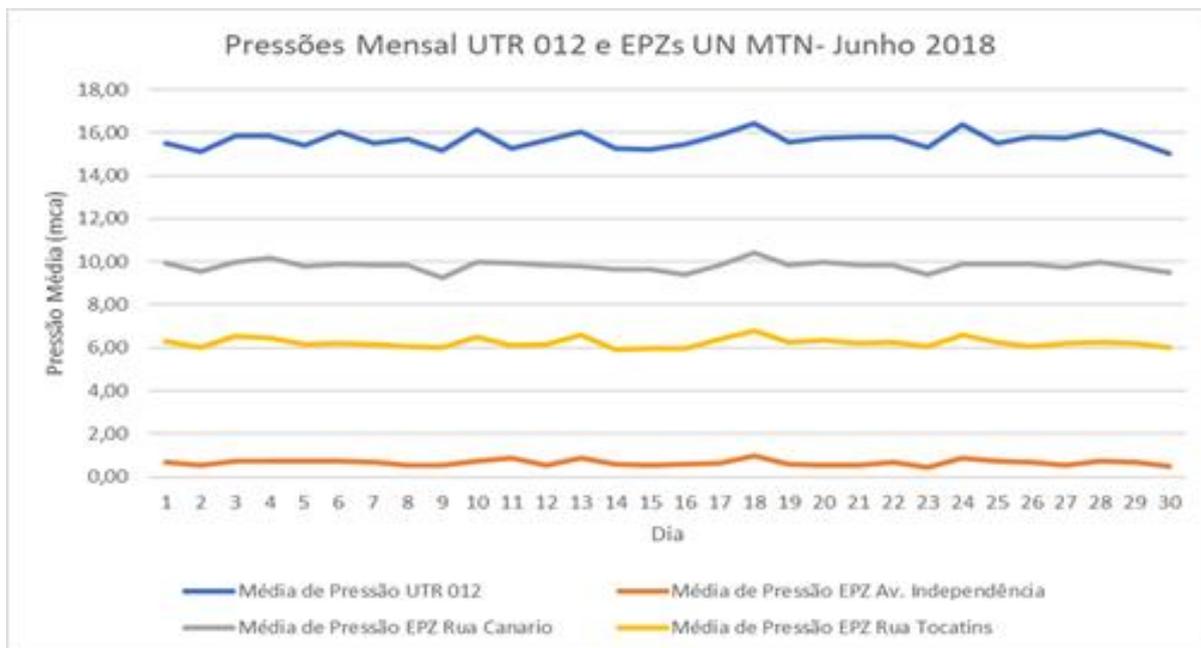
Fonte: Elaborador pelo autor.

Dessa forma, é possível constatar as possibilidades que uma plataforma SIG fornece ao gesto, como forma de extrair e relacionar dados característico, contudo, implícitos no banco de dados comercial de uma companhia. Uma caracterização mais profunda confere uma possibilidade de se conhecer melhor o sistema e suas deficiências, bem como seus pontos fortes. Direciona os operadores a tomarem decisões já nesse nível de forma a alocar melhor o foco dos trabalhos de manutenção e inspeção.

5.2 Séries de pressões e vazamentos

De posse dos dados das séries de pressão monitorados tanto para as UTRs como para as EPZs é possível dispô-los em gráficos de linhas o comportamento diário para cada mês e para cada unidade de negócio, a fim de se obter mais detalhes dos comportamentos entre equipamentos, conforme exemplo do gráfico 28 para dispositivos da UN MTN em junho de 2018. Nesse exemplo é possível visualizar a entrada no sistema em pressão superior pela UTR 012 (16 mca em média) e a reverberação que isso traz para as três EPZs instaladas dentro da zona de abastecimento “floresta”. Os demais gráficos encontram-se no apêndice B.

Gráfico 28 – Séries de pressão UN MTN junho 2018



Fonte: Elaborado pelo autor.

Realizando-se avaliação visual, percebe-se que as séries de pressão possuem periodicidade semanal. Entretanto, é difícil precisar os momentos de início e fim de alterações de curta duração característicos ou não do comportamento natural do sistema. Além disso, avaliações visuais ficam dependentes de interpretações pessoais a depender ainda da escala em que se realizada a inspeção.

Conforme proposto como hipótese, alterações na pressão do sistema podem ser gerado devido a ocorrências de vazamentos, sendo, entretanto, difícil estabelecer limites para se determinar o que é alteração comum ou é alteração devido á situações de rupturas.

Evidencia-se ainda a impossibilidade de se estabelecer relações de causa e efeito nos dados de pressão dos dois tipos de dispositivos que trabalham sobre regimes hidráulicos distintos, com pressões e volumes em escalas diferentes.

Em vista disso, será utilizado o método de controle estatístico para se determinar o grau de relacionamento ou afinidade entre as séries dos diferentes equipamentos para a mesma zona de abastecimento.

Além disso, seguindo o roteiro exposto nos objetivos específicos, foi necessário relacionar tais afinidades com os reportes de vazamentos nos meses selecionados e, com isso, determinar o grau de detecção do método de controle estatístico proposto no capítulo 4.

A disposição de vazamentos é colocada conforme exemplo do gráfico 29, em forma de radar com diâmetro diário variável proporcional ao número de reportes no mesmo

dia, para cada dia do mês. Todos os gráficos de reportes para cada mês de todas as 4 unidades se encontram no apêndice C. A princípio os reportes não demonstram uniformidade global entre si.

Gráfico 29 – Distribuição de frequência de reportes de vazamentos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para a UN MTL, em julho percebe-se menor quantidade de retirada com pico de 12 retiradas. Nos meses de fevereiro e novembro a frequência máxima fica no patamar de 16 retiradas e o mês de junho apresenta-se com maiores frequências, com picos em 19. A média de ocorrência é de 6,64 vezes ao mês de vazamentos. As séries dos 4 meses possuem desvios padrões elevados da ordem de 4,10. A distribuição não é homogênea, ocorrendo picos isolados intercalados com ausência ou poucas ocorrências.

Para a UN MTN, nos meses de fevereiro e julho percebe-se a maior uniformidade dentre as 4 distribuições de frequência. O mês de fevereiro possui a menor quantidade de retirada de vazamento com pico de 56 retiradas. No mês de novembro a frequência máxima fica no patamar de 81 retiradas. A média de ocorrência é de 37,80 vezes ao mês de vazamentos. As séries dos 4 meses possuem desvios padrões elevados da ordem de 18,36.

Para a UN MTO, não se percebe uniformidade na distribuição das frequências de retirada de vazamentos. O mês de fevereiro possui a menor quantidade de retirada de

vazamento com pico de 16 retiradas. No mês de novembro a frequência máxima fica no patamar de 32 retiradas. A média de ocorrência é de 10,71 vezes ao mês de vazamentos. As séries dos 4 meses possuem desvios padrões elevados da ordem de 5,97.

Para a UN MTS, não se percebe uniformidade na distribuição das frequências de retirada de vazamentos. Os meses de fevereiro e julho possuem a menor quantidade de retirada de vazamento com pico de 7 retiradas. No mês de junho a frequência máxima fica no patamar de 13 retiradas. A média de ocorrência é de 3,30 vezes ao mês de vazamentos. As séries dos 4 meses possuem os menores desvios padrões na ordem de 2,71.

Da mesma forma como os gráficos da série de pressão (gráfico 28) não é possível se correlacionar as ocorrências de vazamentos com as alterações nas pressões nos 2 tipos de dispositivos (UTR e EPZ). Sendo também necessário a aplicação de método estatístico para realização de tal avaliação.

5.3 Controle estatístico

Conforme exposto no capítulo 4 o método da Média Móvel Exponencialmente Ponderada - MMEP consiste em prever valores e comparar com os valores adquiridos ao longo de uma série instantânea. Nesse sentido é estabelecido limites baseados em coeficiente α de curto prazo e β para longo prazo. Caso esses limites sejam ultrapassados, constata-se uma anomalia.

O gráfico 30 dispõe da aplicação do método na série de dados da UTR 06A no mês de fevereiro de 2018. Nele ocorrem 13 superações de limites de curto prazo e, portanto, 13 anomalias ao longo dos 28 dias. O limiar de longo prazo não é ultrapassado.

O gráfico 31 mostra a aplicação na série de dados da EPZ Av. Borges de Melo e demonstra a ocorrência de 13 anomalias de curto prazo, sendo que o limiar de longo prazo é ultrapassado uma única vez. O gráfico 32, por sua vez, mostra a ocorrência de 12 anomalias de curto prazo na série de pressão da EPZ Rua Aspirante Mendes. Ocorreu apenas uma anomalia de longo prazo. Todos os gráficos das aplicações do método estão no apêndice D do trabalho.

Gráfico 30 – Controle estatístico UTR 06 UN MTL fevereiro

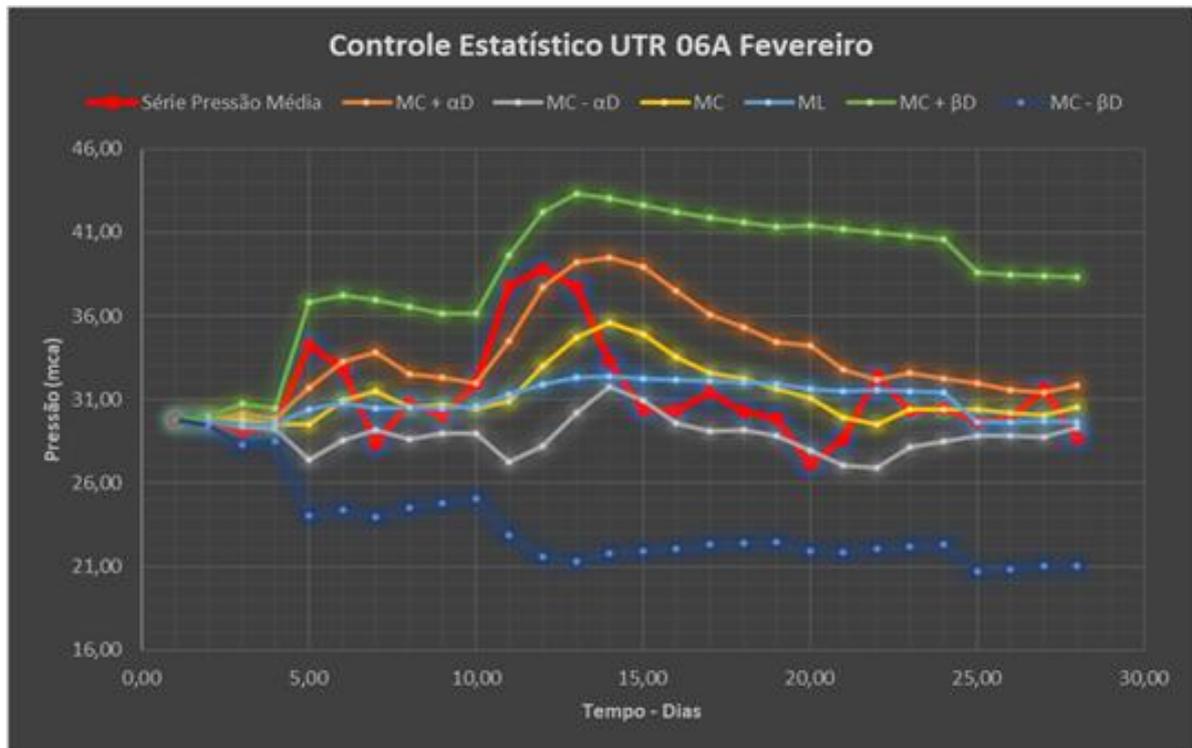


Gráfico 31 – Controle estatístico EPZ Av. Borges de Melo UN MTL fevereiro

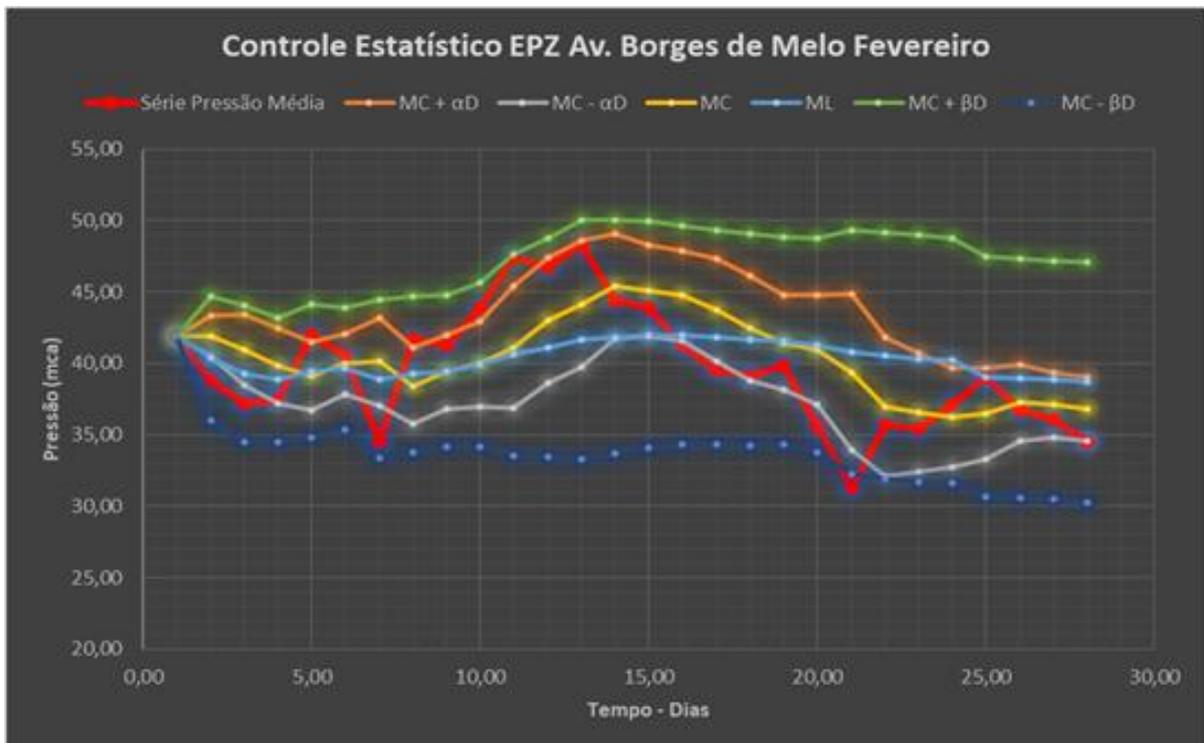
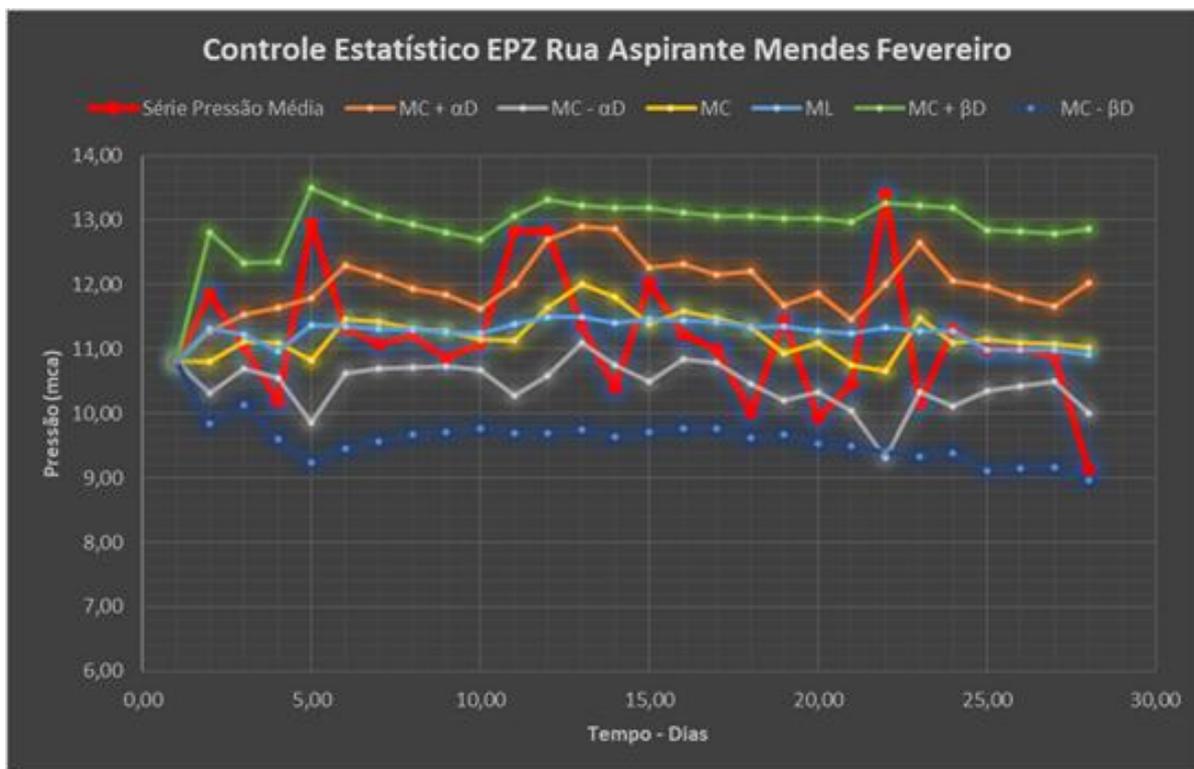


Gráfico 32 – Controle estatístico EPZ Rua Aspirante mendes UN MTL fevereiro



5.3.1 Afinidade entre dispositivos

A afinidade entre UTRs e EPZs foi determinada avaliando-se a quantidade de pontos coincidentes para anomalias detectadas. Para o caso obtido da UN MTL constatou-se que em fevereiro dos 28 pontos analisados 9 alterações classificadas como anomalias na UTR 06A coincidiram nos mesmos dias em que as anomalias foram detectadas na EPZ I, ou seja, 32,14% dos dados observados. De forma semelhante, para o mesmo mês, a EPZ II apresentou 7 pontos coincidentes, representando 25% dos pontos.

A tabela 12 dispõe dos resultados obtidos para todos os meses na UN MTL para todos os dispositivos. As tabelas 13 a 15 dispõe os valores obtidos de afinidade para a UN MTN, UN MTO e UN MTS.

Tabela 12 – Grau de afinidade dispositivos UN MTL

Pontos Coincidentes UTR x EPZ UN MTL		
Mês	EPZ Av. Borges de Melo - I	EPZ Rua Aspirantes Mendes - II
Fevereiro	9	7
Junho	3	-
Julho	8	11
Novembro	-	5
Pontos Coincidentes UTR x EPZ UN MTL Percentual		
Mês	EPZ Av. Borges de Melo - I	EPZ Rua Aspirantes Mendes - II
Fevereiro	32,14%	25,00%
Junho	10,00%	-
Julho	25,81%	35,48%
Novembro	-	16,67%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 13 - Grau de afinidade dispositivos UN MTN

Pontos Coincidentes UTR x EPZ UN MTN		
Mês	EPZ Rua Canário - I	EPZ Rua Tocantins - II
Fevereiro	6	10
Junho	10	11
Julho	9	11
Novembro	7	10
Pontos Coincidentes UTR x EPZ UN MTN Percentual		
Mês	EPZ Rua Canário - I	EPZ Rua Tocantins - II
Fevereiro	21,43%	35,71%
Junho	33,33%	36,67%
Julho	29,03%	35,48%
Novembro	23,33%	33,33%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 14 - Grau de afinidade dispositivos UN MTO

Pontos Coincidentes UTR x EPZ UN MTO		
Mês	EPZ Rua Ant. Ivo - I	EPZ Rua Professor Vieira - II
Feveiro	-	5
Junho	5	3
Julho	4	5
Novembro	7	14

Pontos Coincidentes UTR x EPZ UN MTO Percentual		
Mês	EPZ Rua Ant. Ivo - I	EPZ Rua Professor Vieira - II
Feveiro	-	17,86%
Junho	16,67%	10,00%
Julho	12,90%	16,13%
Novembro	23,33%	46,67%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 15 - Grau de afinidade dispositivos UN MTS

Pontos Coincidentes UTR x EPZ UN MTS		
EPZ Rua Gabriel Ferreira de		
Mês	Souza - I	EPZ Rua Samuel Uchoa - II
Feveiro	4	NA
Junho	6	7
Julho	11	6
Novembro	12	NA

Pontos Coincidentes UTR x EPZ UN MTS Percentual		
EPZ Rua Gabriel Ferreira de		
Mês	Souza - I	EPZ Rua Samuel Uchoa - II
Feveiro	14,29%	-
Junho	20,00%	23,33%
Julho	35,48%	19,35%
Novembro	40,00%	-

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os valores médios de afinidade mensal para cada unidade de negócio foram expostos na tabela 16.

Tabela 16 – Valores médios de afinidade

Unidade	Afinidade UTR x EPZ Mensal			
	Fevereiro	Junho	Julho	Novembro
UN MTL	28,57%	10,00%	30,65%	16,67%
UN MTN	28,57%	35,00%	32,26%	28,33%
UN MTO	17,86%	13,33%	14,52%	35,00%
UN MTS	14,29%	21,67%	27,42%	40,00%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A melhor relação de afinidade ocorreu na UTR 018 (“Maracanaú Centro”) e suas respectivas EPZs no mês de novembro com 40% de afinidade entre os dispositivos. Valores entre 35% e 30% representam menos da metade das observações, revelando que existe pouca probabilidade de se constatar mudanças ocorridas nas EPZs nas séries de pressões existentes nas UTRs. A causa para tal situação pode ser atribuída à deficiência no isolamento hidráulico das zonas de abastecimento, distâncias muito longas entre os dispositivos de saída e entrada e mesmo falhas de medição devido a calibração incorreta. Por outro lado, há também necessidade em se ter um maior número de EPZs para certa quantidade funcional de ligações e consumidores. Outro ponto a ser considerado é da necessidade de melhor calibração do limiar α .

5.3.2 Detecção de vazamentos

A análise quanto a detecção de vazamentos embasou-se na compilação de dias detectados no método de controle estatístico. A detecção apenas foi considerada quando coincidente entre UTR e EPZ, ou seja, caso uma anomalia fosse detectada separadamente na UTR ou EPZ, está não é contabilizada como detecção efetiva para o método estabelecido nesse trabalho. Tal critério de detecção foi determinado para se segregar anomalias existentes na malha do macrossistema que venham a interferir na detecção da respectiva zona de abastecimento.

Posteriormente a tal quantificação, procurou-se simplificar a determinação da quantidade de dias para detecção dos vazamentos. A tabela 17 exemplifica o procedimento, na qual a primeira coluna expõe os dias em que se detectou a anomalia (conjunto UTR e EPZ). Na segunda coluna é disposto os dias de ocorrência de vazamentos reportados. A diferença de dias é então calculada através de subtração dos dias de vazamentos e dias de anomalias. Quando existem caso em que mais de 1 dia são registrados tanto para a primeiro quanto para a

segunda coluna, é efetuada uma média na respectiva coluna e tomado tal valor como representativo.

Tabela 17 – Tempo de resposta da detecção de vazamentos

Análise do Controle Estatístico Un MTL Julho 2018 - EPZ Av. Borges de Melo			
Dias Anomalias	Dias Vazamentos	Dias de Diferença	Número Médio de Vazamentos
2;3	3	0,50	9,78
5	6;9;12;16;17	7	
19	20	1	
24;25;27	27	1,67	
29	31	2,00	
-	-	-	
Média de Tempo de Resposta (dias):			2,43

Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante lembrar que muitas das ocorrências de vazamento aconteceram em um mesmo dia. Com isso, foi possível a obtenção de valores consolidados de tempo de detecção e quantidade de vazamentos detectados, conformes disposto nas tabelas 18 a 21.

Tabela 18 - Tempo de detecção e quantidade de vazamentos detectados UN MTL

Tempo Média de Resposta x Número de Vazamentos (Dias) UN MTL						
Mês	Tempo EPZ Av. Borges de Melo (Dias)	Nº Vazamentos Monitorado	Tempo EPZ Rua Aspirante Mendes (Dias)	Nº Vazamentos Monitorado	Nº Vazamentos Mês	% Vazamentos Detectados
Feveiro	1	75	2	75	161	46,58%
Junho	4	102	-	-	215	47,44%
Julho	2	88	1	88	183	48,09%
Novembro	-	-	4	115	247	46,56%
Média:	2	88	3	93	202	47,17%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 19 - Tempo de detecção e quantidade de vazamentos detectados UN MTN

Tempo Média de Resposta x Número de Vazamentos (Dias) UN MTN						
Mês	Tempo EPZ Rua Canário (Dias)	Nº Vazamentos Monitorado	Tempo EPZ Rua Tocantins (Dias)	Nº Vazamentos Monitorado	Nº Vazamen tos Mês	% Vazamentos Detectados
Feveiro	3	462	1	462	815	56,69%
Junho	2	838	2	838	1.277	65,62%
Julho	2	867	3	867	1.298	66,80%
Novembro	1	812	1	812	1.210	67,11%
Média:	2	745	2	745	1.150	64,05%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 20 - Tempo de detecção e quantidade de vazamentos detectados UN MTO

Tempo Média de Resposta x Número de Vazamentos (Dias) UN MTO						
Mês	Tempo EPZ Rua Ant. Ivo (Dias)	Nº Vazamentos Monitorado	Tempo EPZ Rua Professor Vieira (Dias)	Nº Vazamentos Monitorado	Nº Vazamen tos Mês	% Vazamentos Detectados
Feveiro	-	-	2	101	206	49,03%
Junho	2	170	3	170	338	50,30%
Julho	4	226	4	226	355	63,66%
Novembro	3	252	2	252	407	61,92%
Média:	3	216	3	187	327	56,23%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 21 - Tempo de detecção e quantidade de vazamentos detectados UN MTS

Tempo Média de Resposta x Número de Vazamentos (Dias) UN MTS						
Mês	Tempo EPZ Rua Gabriel Ferreira de Souza (Dias)	Nº Vazamentos Monitorado	Tempo EPZ Rua Samuel Uchoa (Dias)	Nº Vazamentos Monitorado	Nº Vazamen tos Mês	% Vazamentos Detectados
Feveiro	4	34	-	-	58	58,62%
Junho	2	61	2	61	112	54,46%
Julho	2	53	7	53	101	52,48%
Novembro	1	88	-	-	132	66,67%
Média:	2	59	4	57	101	58,06%

Fonte: Elaborado pelo autor.

O tempo de detecção médio da UN MTL foi de 2,82 dias, da UN MTN 1,89 dias, da UN MTO 3,18 dias e UN MTS 2,76 dias. Ou seja, a média global de tempo de detecção foi

de 2,66 dias. Em relação ao percentual de detecção de vazamentos a média para UN MTL foi de 47,17%, UN MTN de 64,05%, UN MTO de 56,23% e da UN MTS de 58,06%, gerando uma média global de 56,38%.

Diante disso, a avaliação do método de detecção de vazamentos foi de fato melhor que o resultado obtido para a afinidade, demonstrando que apesar das falhas expostas para a relação UTR e EPZs, o método de controle estatístico adotado nesse trabalho retorna resultados satisfatórios.

Destaca-se alguns resultados como o tempo médio de detecção na UN MTN de 1,89 dias, o menor entre as 4 unidades. Tal situação pode ser explicada pelo fato da Zona de Abastecimento “Floresta” possuir o maior número de ligações. Infelizmente o resultado de tempo para as demais unidades não possuem explicação direta em relação ao número de ligações.

Diante de algumas lacunas geradas com a obtenção desses resultados, partiu-se para a avaliação de possíveis relações entre as variáveis expostas ao longo desse trabalho com o intuito de auxiliar no entendimento das possíveis causas.

A primeira relação refere-se a questão quantidade de ligações x tempo de detecção. O gráfico 33 mostra que quanto menor o número de ligações mais rápido se detecta um conjunto de vazamentos. Tal relação é compreensível, pois para um conjunto menor de ligações existe menores ocorrências de vazamentos se comparado com setores com maiores quantidades de ligação.

As afinidades entre UTRs e EPZs aumentam quanto menor o número de ligações existente, gráfico 34, indicando que para haver uma melhor interação entre os 2 dispositivos é interessante haver uma distribuição proporcional ao número de ligações em vez de equitativa.

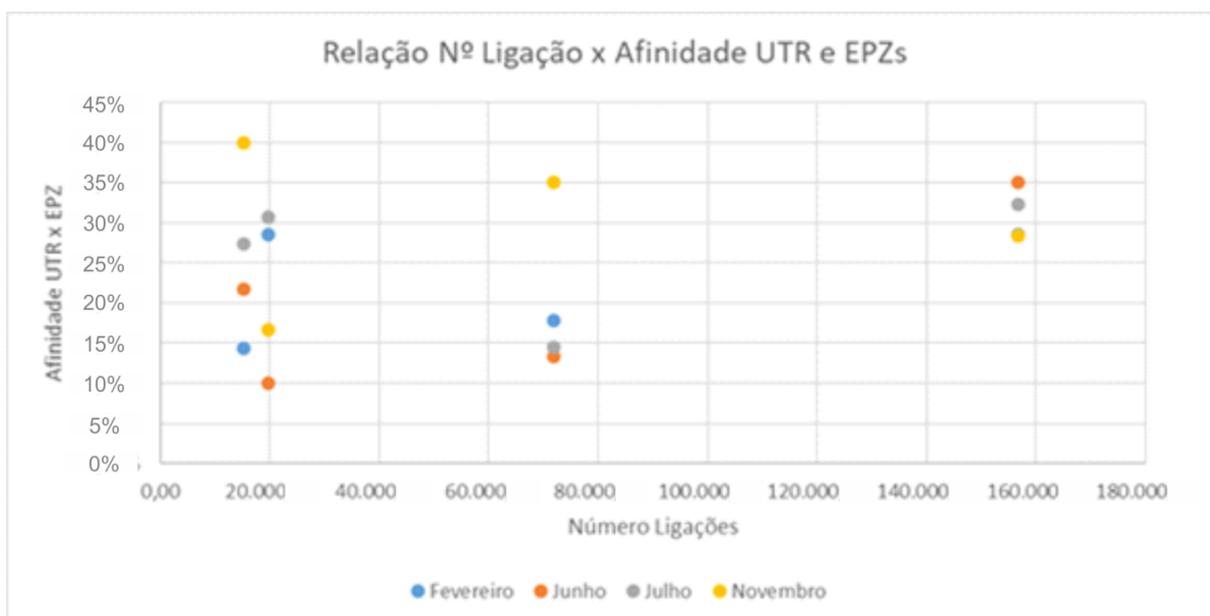
Em termos de eficiência obteve-se que o tempo médio para se haver a primeira detecção de anomalias com a metodologia proposta foi de 2,40 dias, conforme demonstrado na tabela 22.

Gráfico 33 – Relação tempo de detecção por número de ligações



Fonte: Elaborado pelo autor.

Gráfico 34 – Relação afinidade por número de ligações



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 22 – Tempo mínimo para detecção de anomalias

Unidade	Fevereiro		Junho		Julho		Novembro		Média
	EPZ I	EPZ II	EPZ I	EPZ II	EPZ I	EPZ II	EPZ I	EPZ II	
UN MTS	2	-	2	2	2	2	2	-	2,00
UN MTL	3	2	2	-	3	3	3	-	2,67
UN MTO	3		2	2	3	3	2	3	2,57
UN MTN	3	3	2	3	2	2	2	2	2,38
									2,40

Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro ponto interessante é o estabelecimento da quantidade mínima de vazamentos para se detectar através do método proposto. Em média necessita-se de 13,81 vazamentos para que acusar algum tipo de anomalia que seja característico de vazamento. Obviamente, esse número varia entre as unidades, como pode ser observado na tabela 23, pois cada área possui quantidade de número de ligações distintas, como também de vazamentos, localização e número de EPZs.

Tabela 23 – Quantidade mínima de vazamentos necessários à detecção

Unidade	Nº Ligações	Quantidade mínima de vazamentos necessários para a detecção				
		Fevereiro	Junho	Julho	Novembro	Média
UN MTS	15.192	3	3	4	5	4
UN MTL	19.710	5	11	6	10	8
UN MTO	71.948	6	12	11	10	10
UN MTN	156.702	23	50	40	22	34

Fonte: Elaborado pelo autor.

6 DISCUSSÕES

A utilidade de ferramenta SIG foi comprovada por aplicação prática em um sistema de abastecimento de água complexo, principalmente em termos de apoio à gestão de perdas, assim como foi previsto na pesquisa conduzida por ABDELBAKI *et al.* (2017) em seu estudo de caso na Algeria. Nele, também foi constatada que a integração de ferramenta SIG à técnicas de modelagem permitem um melhor diagnóstico dos problemas existentes, dando a oportunidade de projetar futuros problemas, como foi o caso de obtenções de resultados do comportamento vazamento e número de ligações, ranking de vazamentos ao longo dos anos, perfil consumidor em diferentes zonas e períodos.

Não foi possível aplicar método disposto no estudo de Zhong *et al.* (2019) que utilizou imagens de satélite infravermelhos obtidas por sensoriamento remoto. Tal técnica ainda não foi testada em sistemas de abastecimento nas companhias brasileiras de forma robusta, principalmente, pela a água não conduzir tanto calor quanto outros elementos da infraestrutura urbana, como cabos de fibra ótica, tubulações de gás, redes elétricas subterrâneas e mesmo tubulações de esgoto. No estudo dirigido, Zhong *et al.* (2019) aplicou tal insumo à redes que conduziam água para aquecimento distrital, uma realidade não presente no estado do Ceará devido ao clima semiárido presente.

Entrando no item de técnicas de detecção de vazamentos pela análise de sinais em tempo real, a aplicação do controle estatístico através do cálculo da Média Móvel Exponencialmente Ponderada – MMEP reportou valores de afinidade baixos de em média 24,63%, situada entre máximo de 40% e mínimo de 10%. Isso denota, sobremaneira, que há uma distribuição ineficiente das EPZs e uma desproporcionalidade em relação ao número de ligações que se quer monitorar, sendo necessário, portanto, se realizar estudo de locação ótima conforme conduzido nos trabalhos de YE *et al.* (2011), Arai *et al.* (2017) e Gamboa-Medina (2017), nos quais apontam que geralmente os sensores de pressão em redes de abastecimento são instalados em pontos topograficamente elevados e que por isso não são contribuem devidamente para percepção e sensibilidade necessárias de rupturas nas tubulações.

Com relação a capacidade e eficiência de detecção, obteve-se percentual de detecção próximo a 60% (56,38%). No campo da detecção por meio de análise de sinais em tempo real, Li *et al.* (2011) obteve resultado de 14,20% de detecção em Pequim, sendo, entretanto, uma área 5 vezes maior que Fortaleza. O método utilizado baseou-se também em plataforma GIS que integraram a recepção de dados de sensores de ruídos. Os autores reportaram também dificuldade e necessidade de melhor distribuição de sensores ao longo da

rede de abastecimento, apesar de a operação na cidade de Pequim possuir controle de qualidade e fluxos de informações de nível ótimo, integralmente controlada via DMCs.

Mounce, Boxall e Machell (2010), por sua vez, obtiveram valores médios de detecção próximos a 44%, utilizando método robusto com Inteligência Artificial e sistema de inferência Fuzzy. Destaca-se nesse trabalho o fornecimento de faixas de intervalos de confiança para cada detecção em tempo real, aplicado também em situação real. Não foi possível avaliar os resultados em termos de precisão de locação do vazamento reportado, como em Saldarriaga, Fernando e Galvis (2006).

Romano, Kapelan e Savi (2014) selecionaram 5 DMCs no Reino Unido para aplicação de Algoritmo Evolutivo, também obtiveram valores próximos à 45% na detecção de vazamentos reportados a partir de observações de campo ou mesmo reclamações de usuários, semelhante à forma de registro de vazamentos ocorridas em Fortaleza utilizadas nessa dissertação.

Gamboa-Medina (2017) testou 3 métodos de detecção, sendo que um deles foi o método proposto nessa dissertação, ou seja, controle estatístico, sendo que não conseguiu obter resultado para a detecção de vazamentos à título de comparação. Foram utilizados 9 sensores de pressão na rede abrangendo pouco mais de 6000 ligações, em contraste com os 7 sensores utilizados neste trabalho e mais de 1 milhão de ligações. A quantidade de reporte de vazamentos foi menor do que o verificado neste trabalho. Ao final, a autora reportou grande dificuldade em sem atrelar o reporte de vazamentos com as anomalias do método, além da impossibilidade de se calibrar um único fator α e β para todas as zonas de abastecimento.

Percebe-se, entretanto, avaliações de eficiência distintas da realizada no estudo conduzido nessa dissertação de mestrado, porém os resultados mostram-se convergentes. Ressalta-se que em todos os trabalhos de abordagem semelhantes as aplicações deram em DMCs consolidados, situação que não foi possível replicar para Fortaleza.

Nesse sentido algumas limitações devem ser levadas em consideração para se distinguir de forma qualitativa os resultados obtidos nesse trabalho com os constatados na literatura. O método de detecção necessita de um número mínimo de vazamentos para indicar se uma anomalia é ou não vazamento. Em média necessitou-se de 13,81 vazamentos, ou seja, para se haver detecção uma amostra de 6% dos vazamentos detectados necessitou ocorrer antes de qualquer indicação. Fora isso, cita-se o fato de que no momento da aplicação do método, vazamentos já poderiam estar atuantes, ou seja, não há certeza quanto ao início dos eventos de ruptura. Os trabalhos citados citam a mesma limitação e não fazem menção a esse

parâmetro de quantidade mínima de dados para se chegar a um resultado inicial, portanto não há como se ponderar se tal valor (13,81) é ou não ineficaz.

O tempo médio de detecção foi de 2,66 dias entre a detecção no modelo e o reporte de retirada. Entretanto tal dado traz consigo imprecisões, pois não há absoluta certeza de que a detecção se refere ao vazamento de reporte. Existe, portanto, um indicativo que precisa ser melhor avaliado. O reporte de retirada deve-se, principalmente a situações em que o vazamento surge na superfície. O ideal seria ter a certeza de se saber se para cada anomalia de fato refere-se ao respectivo vazamento na linha do tempo. Dessa forma, conclui-se que método empregado no trabalho detecta inicialmente vazamentos mais significativos, não sendo precisar nesse momento se foi possível a detecção de vazamentos ainda com menor intensidade.

Existem também incertezas quanto aos parâmetros adotados no cálculo da MMEP, pois o fator α não foi calibrado para todas as situações, conforme executado por Gamboa-Medina (2017), ou seja, existe a incerteza se tal coeficiente pode ser calibrado e qual valor pode ser tomado como padrão para todo o sistema de abastecimento. Tal situação caracteriza-se como uma imprecisão do método e precisará ser aprimorado posteriormente com ferramentas mais rebuscadas, como as utilizadas no trabalho de Mounce, Boxall e Machell (2010).

Em vista disso, o trabalho de dissertação propõe metodologia inicial que fornece um potencial de identificações de vazamentos. Apesar das limitações, o método não deixa de ser promissor por indicar potenciais, considerando que sua aplicação se deu em um estudo de caso real e, como tal, traz à tona complexidades intrínsecas de um sistema robusto em que existem na sua base incertezas básicas de cunho operacional. Portanto, avalia-se que se conseguiu contemplar as metas estabelecidas nos objetivos específicos e na hipótese proposta, logrando-se êxito no atingimento do objetivo geral.

Como o trabalho teve em seu cerne natureza de aplicação em caso real, é interessante e justo que se listem recomendações que venham a ajudar a companhia na missão da diminuição de vazamentos ao longo de sua malha.

Cita-se primeiramente a necessidade de implantar novos DMCs e consolidar os existentes. O isolamento hidráulico é uma certeza básica necessária a aplicação de qualquer método e foi constatado nos trabalhos em que se aplicou técnicas em situações reais. O não isolamento aumenta o número de incertezas no fluxo de operação, dificultando a interpretação de resultados. Em segundo momento, recomenda-se o aumento da densidade de EPZs de

forma racional e dirigida que permitirá uma localização mais precisa dos incidentes por meio de uma “grade” de pressões.

Com relação a intervenções imediatas recomenda-se investigação de campo do setor “cocorote”, tendo em vista que apesar de seu reduzido tamanho possui taxas de vazamentos e consumo elevados. Ressalta-se que por se tratar de um setor pequeno os resultados de tal intervenção logo serão sentidos na gestão de perdas. É interessante também que se priorize ações de isolamento hidráulico, recuperação de ativos, gestão de pressão, além da locação diária de equipes “caça vazamentos” nas zonas “Messejana”, “Floresta” e “Conjunto Ceará”. Em consulta aos gráficos 14 a 19 é facilmente constatado que não houve mudança na incidência vazamentos, sendo que no ranking disposto elas se mantem ao longo de 6 anos como as maiores zonas de retirada de vazamentos.

Em paralelo com as ações nas zonas “Messejana”, “Floresta” e “Conjunto Ceará”, entretanto com menor esforço operacional devido ao tamanho menor, recomenda-se, por fim, a realização de isolamento hidráulico, recuperação de ativos, gestão de pressão, além da locação diária de equipes “caça vazamentos” nas zonas “Caucaia Norte – Vilha Velha”, “Maracanaú Centro”, “Benfica Centro” e “Caucaia Oeste”. Essas 4 zonas mantiveram-se ao longo de 6 anos como as que menos tiveram reportes de retirada de vazamentos. A recomendação de intervenção prioritária também nessas zonas, que a princípio estão no fim da lista de situação crítica, se dá pelo fato de aplicação de estratégia de combate nas extremidades, com locação ótima de equipes.

Ressalta-se a constatação da relação linear obtida entre o número de ligações e quantidade de vazamentos, ou seja, como a tendência é de sempre haver aumento população, proporcionalmente a isso o crescimento de vazamentos é irremediável. Soluções eficazes devem ser implementadas de forma urgente para, primeiramente, cessar o aumento e manter-se em um número de índices.

7 CONCLUSÕES

Neste documento é apresentada dissertação de mestrado cujo objetivo é o desenvolvimento de método para detecção de vazamentos de forma ativa baseado em dados comerciais e operacionais reais de um Companhia de Água e Esgoto do estado do Ceará, na cidade de Fortaleza e Região Metropolitana. Para organização e consolidação de dados foi utilizado ferramenta SIG através da utilização de software Qgis em sua versão gratuita que se mostrou útil na manipulação de dados de diversas fontes, na medida em que foi capaz de produzir novas informações e agregar valor aos registros em sua forma “bruta” que se encontravam desagregadas.

As características e dados originados da manipulação do SIG tornou possível a realização da estruturação do funcionamento do macrossistema e microssistema, como estabelecimento de fluxos e derivações, locação de consumidores, vazamentos e redes de abastecimento.

Após a organização dos dados realizou-se tratamento de outliers tanto para níveis macro como para micro do abastecimento, produzindo banco de dados de vazão e pressão devidamente tratados e selecionados. Apesar de se estar disponível dados ao longo de 6 anos no macrossistema, o acompanhamento das pressões na escala do microabastecimento iniciou no final do ano de 2017. Dessa forma, optou-se por se restringir o estudo de sinais de pressão ao longo do ano de 2018.

Tentou-se com tais dados a execução de balanço hídrico ao longo do ano de 2018, sendo, contudo, inviável, devido a falhas e inexistência de registros estratégicos. A possibilidade existente era a realização de balanço semanal em alguns meses ao longo do ano de 2018, sendo isto destoante com o objetivo e metodologia propostos nesse trabalho, pois a representatividade ficaria comprometida.

Superada essa etapa definiu-se para cada unidade de negócio (norte, sul, leste e oeste) os dispositivos representativos do macrossistema (UTRs) e do microssistema (EPZs). Dentro desse espaço geográfico, determinaram-se períodos representativos (meses) em função da quantidade de vazamentos retirados ao longo do ano de 2018, chegando-se ao número de 4 meses: fevereiro, junho, julho e novembro.

A partir daí se iniciou a análise dos sinais de pressão mensal para cada unidade de negócio, no entanto não sendo possível indicar apenas sob análise visual relação de causa e efeito tanto os dispositivos UTR e EPZs, quanto para a relação com as ocorrências de

vazamentos reportados no ano de 2018. Para superar tal dificuldade aplicou-se método estatístico baseado no cálculo da Média Móvel Exponencialmente Ponderada – MMEP. Com tal técnica foi possível a definição do grau de afinidade entre dispositivos UTRs e EPZs através da avaliação de pontos coincidentes de anomalias.

Estabeleceu-se como critério de detecção, ou seja, só se considerou que houve uma detecção quanto havia coincidência das anomalias nos 2 (dois) tipos de dispositivos UTR e EPZ. Essa decisão se fundamental por dois motivos:

- I. Segregar ocorrências de anomalias que ocorrem nas manobras do macrossistema e que são captados pelos sinais das UTRs ao longo de um dia das ocorrências que acontecem nas redes de abastecimento. O foco da detecção são as redes de abastecimento, pois são nelas que ocorrem a maior parte das rupturas, além de representarem a maior parte da malha de abastecimento em uma cidade;
- II. Viabilizar a detecção em tempo real com a hierarquia operacional da estrutura existente.

Como resultado obteve-se uma relação baixa entre dispositivos UTR e EPZ, atribuindo-se a isso uma má distribuição das EPZs, bem como quantidade desproporcional aos tamanhos das zonas analisadas. A detecção, por sua vez, reportou um potencial de quase 60%, realizando-se comparativo com os reportes de vazamento no ano de 2018.

A importância da afinidade se dá pelo fato de que são as UTRs que realizam o monitoramento em tempo real do macrossistema. Entretanto, os vazamentos ocorrem, sem sua grande parte, nas redes de abastecimento e estas não são monitoradas em tempo real. Por esse motivo, o estabelecimento da relação entre dispositivos responsável pela detecção de dados em 2 escalas distintas foi fundamental.

O método necessitou de 2,40 dias em média para se indicar a primeira ocorrência de vazamento, sem, entretanto, ser possível indicar o início imediato e o local de cada evento de ruptura. Além disso, o modelo necessita de uma quantidade mínima de vazamentos, em média 13,81, para se começar a ter algum resultado, incidindo, assim, um desperdício de água ao longo do tempo.

Como o intuito do método é a detecção ativa de vazamentos, utilizando-se, para isso, sinais de pressão ao longo de toda a malha de abastecimento, além da estrutura existente, sem necessidade de modelos hidráulicos atrelados a ele, as UTRs mostram-se como o pivô da aplicação prática da detecção em tempo real utilizando a técnica proposta no respectivo trabalho.

A afirmação embasa-se no fato de que na concepção existente na estrutura de macro abastecimento de Fortaleza é monitorada em tempo real apenas pelas UTRs em um Centro de Controle Operacional – CECOP.

Em vista disso, o trabalho se focou em utilizar as UTRs como centro de alerta de vazamentos em tempo real, conforme indicado no trabalho de Mounce, Boxall e Machell (2010) e também abordado por Taylor et al. (2009), o qual afirma que a detecção precoce de vazamentos e a ação rápida melhoram o nível de serviço, pois situações anormais podem ser evitadas ou controladas, dificultando o processo de ruptura ou detecção rápida e ação antecipada.

Com essa preocupação foram recomendadas intervenções imediatas nas 3 zonas críticas (“Messejana”, “Floresta” e “Conjunto Ceará”) que demandará investimento considerável, alocação máxima de equipamentos, estrutura, obras e gestão dado a magnitude da quantidade de vazamentos existentes. Entretanto, o resultado de tal intervenção trará efeitos robustos para os indicadores de perdas da companhia, aliviando, assim, o desperdício que reverbera de forma direta no faturamento, melhorando o faturamento sem haver ampliação de abastecimento, sem citar na diminuição da pressão social e melhoria na prestação de serviço. Fora isso, foram elencadas medidas estruturantes no Sistema de Abastecimento de Água de Fortaleza, a fim de prover melhor gestão de informação e controle de perdas e, com isso, melhorar o desempenho do método proposto através da diminuição de incertezas.

Somada às medidas estruturantes, para próximas pesquisas recomenda-se:

- Avaliação integral de todo o sistema ao longo de um ano completo, utilizando-se, para isso, todos os dados disponíveis e tratados fornecidos no trabalho com o SIG;
- Realização de comparativo de resultados realizando-se o controle de *Outliers* com fator β de longo prazo, já que tal fator já constatou a característica de estacionaridade das séries. Caso o tratamento com o fator β reporte resultados semelhantes ao tratamento de *outliers* por AIQ haverá uma proposta de metodologia mais simplificada;
- Calibração dos fatores α e β para as diversas unidades de negócio.

REFERÊNCIAS

- ABDELBAKI, C. ; et al. Management of a water distribution network by coupling GIS and hydraulic modeling : a case study of Chetouane in Algeria. **Applied Water Science**, v. 7, n. 3, p. 1561–1567, 2017.
- ABE, N. **Proposição de Calibração de Redes de Sistemas de Abastecimento de Água Através de Método Híbrido**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2014.
- AGATHOKLEOUS, A.; KOURTI, E. Waterloss Detection in Water Distribution Networks using Wavelet Change-Point Detection. **Water Resources Management**, v. 31, n. 3, p. 979–994, 2016.
- ALEGRE, H.; BAPTISTA, J. M.; CABRERA JR., E. **Performance Indicators for Water Supply Services**. 3 ed. 2016.
- ARAI, Y. et al. A Planning Model for Optimal deployment of water pipeline leak sensors and verification of its effectiveness. **Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. G (Environmental Research)**, v. 73, p. II_101-II_108, 2017.
- BRASIL, I. T. **Perdas de Água 2018 (SNIS 2016): Desafios para Disponibilidade Hídrica e Avanço da Eficiência do Saneamento Básico**. Disponível em: <www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/perdas-2018/estudo-completo.pdf%0A>. Acesso em: 3 abr. 2019.
- CHEUNG, P.; ZYL, V. J. E.; REIS, L. F. R. Extension of epanet for pressure driven demand modeling in water distribution system. **Eight International Conference on Computing and Control in the Water Industry**. p. 2–7, 2005.
- COVAS, D.; RAMOS, H. Case Studies of Leak Detection and Location in Water Pipe Systems by Inverse Transient Analysis. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 135, n. April, p. 248–257, 2010.
- COVAS, I. C.; REIS, L. F. R.; SOARES, A. K. Leak detection by inverse transient analysis in an experimental PVC pipe system. **Journal of Hydroinformatics**, v. 13, n. 2, p. 153–166, 2011.
- FARLEY, B.; MOUNCE, S. R.; BOXALL, J. B. Field testing of an optimal sensor placement methodology for event detection in an urban water distribution network. **Urban Water Journal**, v. 7, n. 6, p. 345–356, 2010.
- FÁVERO, L. P. L.; BELFIORE, P. P. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com excel, SPSS e stata**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- FERRANTE, M.; BRUNONE, B.; MENICONI, S. Leak detection in branched pipe systems coupling wavelet analysis and a Lagrangian model. **Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA**, v. 58, n. 2, p. 95–106, 2009.

GAMBOA-MEDINA, M. M. **Detecção de Vazamentos e Alterações em Redes de Distribuição de Água para Abastecimento, Durante a Operação, Usando Sinais de Pressão.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2017.

GHAZALI, M. F. et al. Comparative study of instantaneous frequency based methods for leak detection in pipeline networks. **Mechanical Systems and Signal Processing**, v. 29, n. 5, p. 187–200, 2012.

GIUSTOLISI, O.; SAVIC, D.; KAPELAN, Z. Pressure-Driven Demand and Leakage Simulation for Water Distribution Networks. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 5, n. 134, p. 626–635, 2008.

GOUVEIA, R. M. M. **Mineração de Dados em Data Warehouse.** [s.l.] Universidade Federal da Paraíba, 2009.

HIDROLÓGICO, P. **Portal Hidrológico.** Disponível em: <<http://www.hidro.ce.gov.br/reservatorios/quantidade/resenha-diaria>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

HO, CHENG-I ; LIN, MIN-DER; LO, S. Use of a GIS-based hybrid artificial neural network to prioritize the order of pipe replacement in a water distribution network. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1, p. 177–189, 2010.

IBGE. **Panorama Fortaleza.** Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/fortaleza/panorama>>.

KAPELAN, Z. S.; SAVIC, D. A.; WALTERS, G. A. A hybrid inverse transient model for leakage detection and roughness calibration in pipe networks. **Journal of Hydraulic Research**, v. 41, n. 5, p. 481–492, 1 set. 2003.

KAPELAN, Z. S.; SAVIC, D. A.; WALTERS, G. A. Optimal Sampling Design Methodologies for Water Distribution Model Calibration. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 3, n. March, p. 190–200, 2005.

LI, W. et al. Development of systems for detection , early warning , and control of pipeline leakage in drinking water distribution : A case study. **Journal of Environmental Sciences**, v. 23, n. 11, p. 1816–1822, 2011.

MENICONI, S. et al. Potential of Transient Tests to Diagnose Real Supply Pipe Systems : What Can Be Done with a Single Extemporary Test. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 137, n. 2, p. 238–241, 2011.

MESEGUER, J. et al. Environmental Modelling & Software A decision support system for on-line leakage localization. **Environmental Modelling & Software**, v. 60, n. Outubro, p. 331–345, 2014.

MOUNCE, S. R.; BOXALL, J. B.; MACHELL, J. Development and Verification of an Online Artificial Intelligence System for Detection of Bursts and. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 136, n. 5, p. 309–318, 2010.

NAZIF, S. et al. Pressure management model for urban water distribution networks. **Water Resources Management**, v. 24, n. 3, p. 437–458, 2010.

POULAKIS, Z.; VALOUGEORGIS, D.; PAPADIMITRIOU, C. Leakage detection in water pipe networks using a Bayesian probabilistic framework. **Probabilistic Engineering Mechanics**, v. 18, n. 4, p. 315–327, 2003.

ROMANO, M.; KAPELAN, Z.; SAVI, D. A. Evolutionary Algorithm and Expectation Maximization Strategies for Improved Detection of Pipe Bursts and Other Events in Water Distribution Systems. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 140, n. May, p. 572–584, 2014.

SALDARRIAGA, J. G.; FERNANDO, L.; GALVIS, C. Implementation of the hydraulic Transient and Steady Oscillatory Flow With Genetic Algorithms for Leakage Detection in Real Water Distribution. **Water Distribution Systems Analysis Symposium 2006.**, v. 52, n. 247, p. 1–14, 2006.

SANZ, G. et al. Leak Detection and Localization through Demand Components Calibration. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 2, n. 2009, p. 1–13, 2016.

SOARES, A. K. **Calibração de modelos de redes de distribuição de água para abastecimento considerando vazamentos e demandas dirigidas pela pressão.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 2003.

SRIRANGARAJAN, S. et al. Wavelet-based Burst Event Detection and Localization in Water Distribution Systems. **Journal of Signal Processing Systems**, v. 72, n. 1, p. 1–16, 2013.

TAYLOR, P. et al. Leakage detection in a real distribution network using a SOM. **Urban Water Journal**, v. 6, n. August 2014, p. 37–41, 2009.

TSUTIYA, M.T. **Abastecimento de água.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento, 2006.

VÍTKOVSKÝ, J. P.; SIMPSON, A. R.; LAMBERT, M. F. Leak Detection and Calibration Using Transients and Genetic Algorithms. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 4, n. 8, p. 262–265, 2000.

YE, G. et al. Kalman Filtering of Hydraulic Measurements for Burst Detection in Water Distribution Systems. **Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice**, v. 2, n. 1, p. 14–22, 2011.

ZHONG, Y. et al. Pipeline leakage detection for district heating systems using multisource data in mid- and high-latitude regions. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 151, n. July 2018, p. 207–222, 2019.

ZYL, J. E. VAN et al. Realistic Modeling of Leakage and Intrusion Flows through Leak Openings in Pipes. **Journal of Hydraulic Engineering-ASCE**, v. 143, n. 9, p. 3–9, 2017.

APÊNDICE A - NÍVEIS MENSAIS RAP ANCURI



APÊNDICE B - SÉRIES DE PRESSÕES

Séries de Pressões

UN MTL

Figura B1 - Série de pressões UN MTL Fevereiro 2018

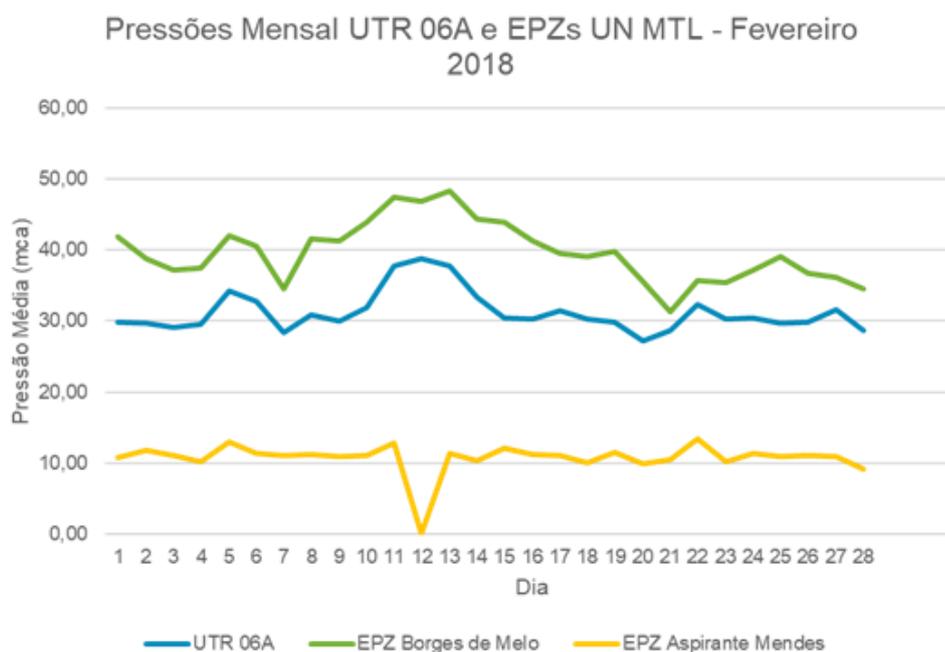


Figura B2 - Série de pressões UN MTL Junho 2018

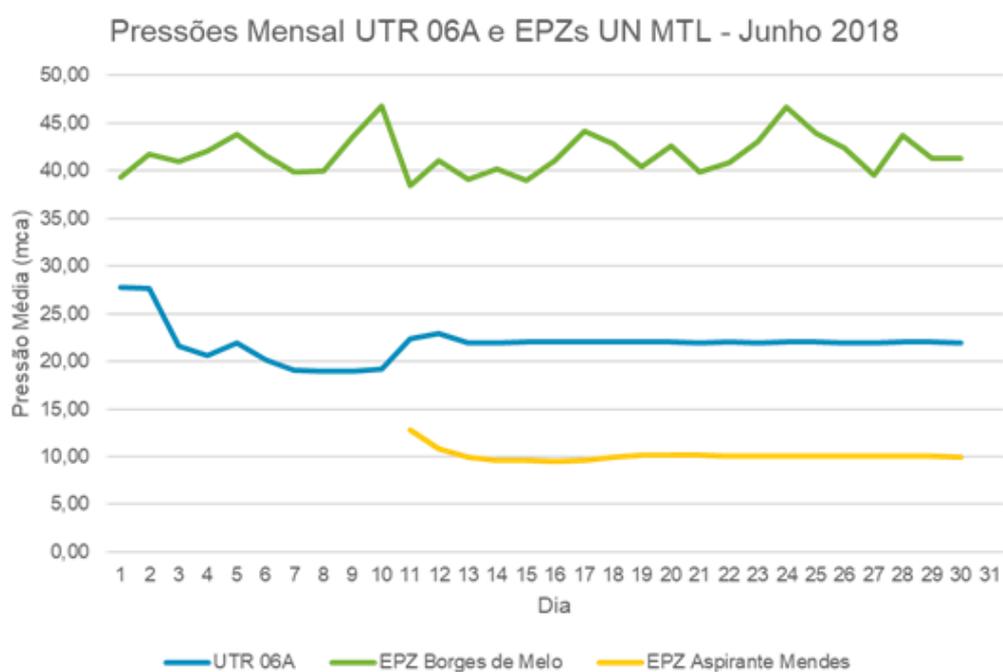


Figura B3 - Série de pressões UN MTL Julho 2018

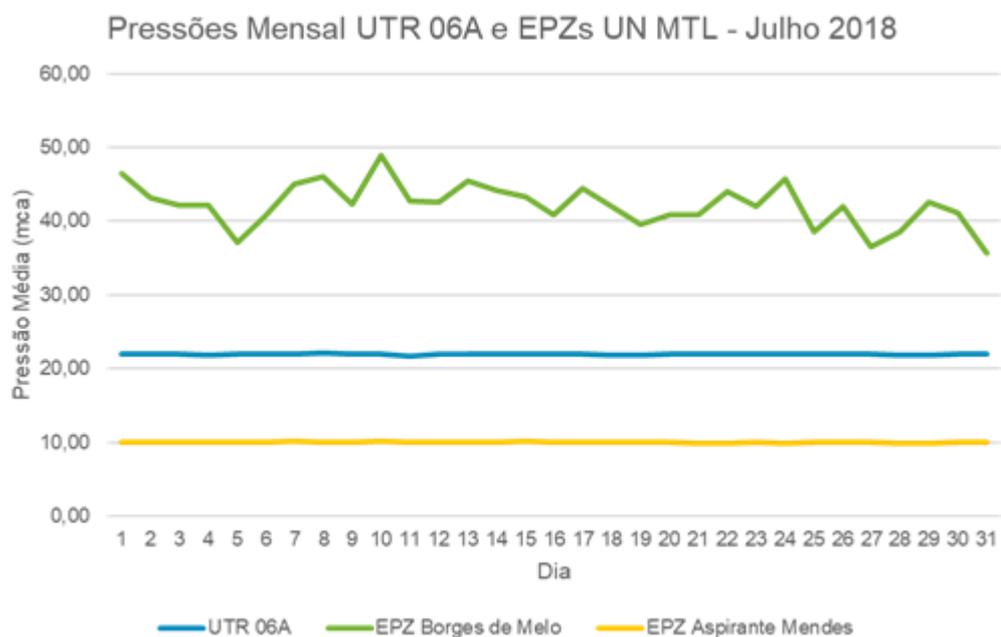
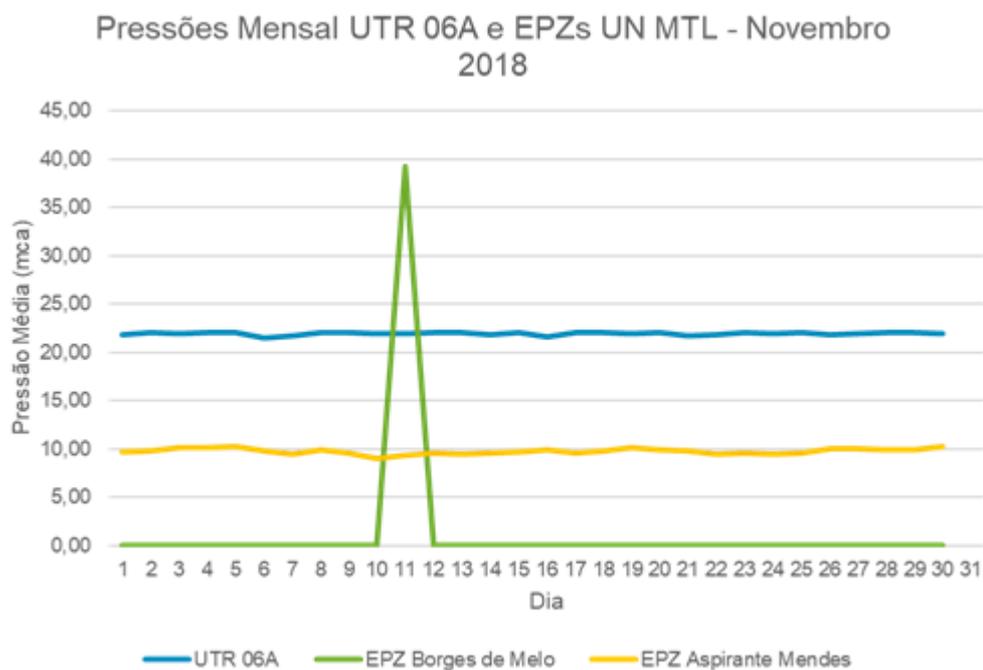


Figura B4 - Série de pressões UN MTL Novembro 2018



UN MTN

Figura B5 - Série de pressões UN MTN Fevereiro 2018

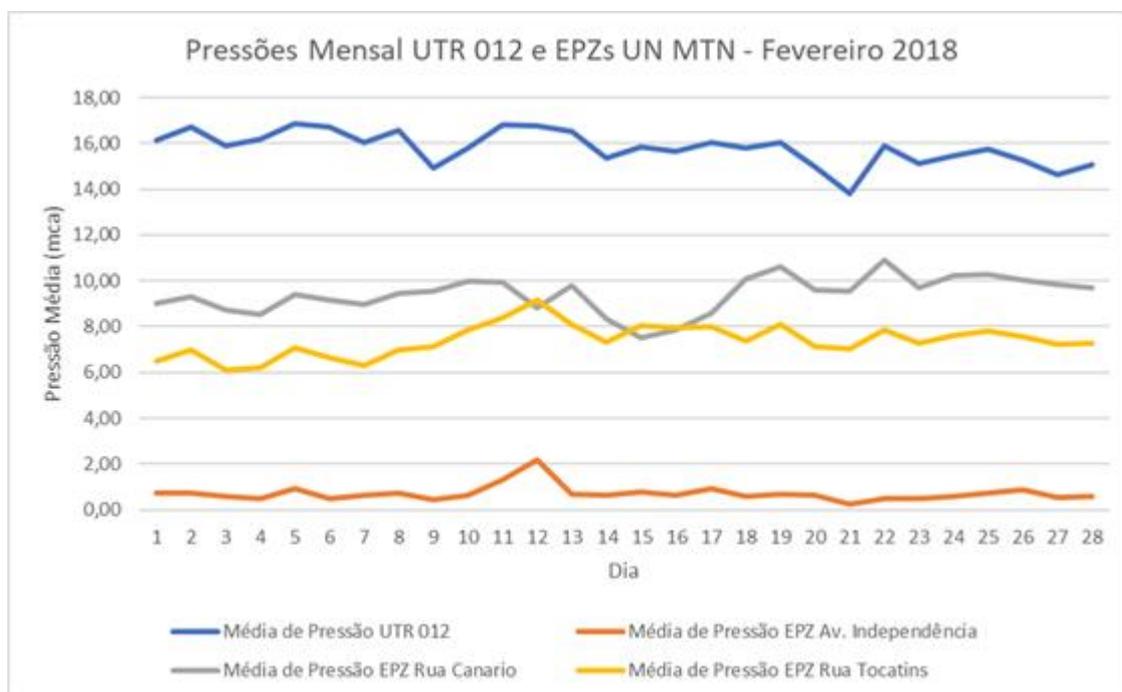


Figura B6 - Série de pressões UN MTN Junho 2018

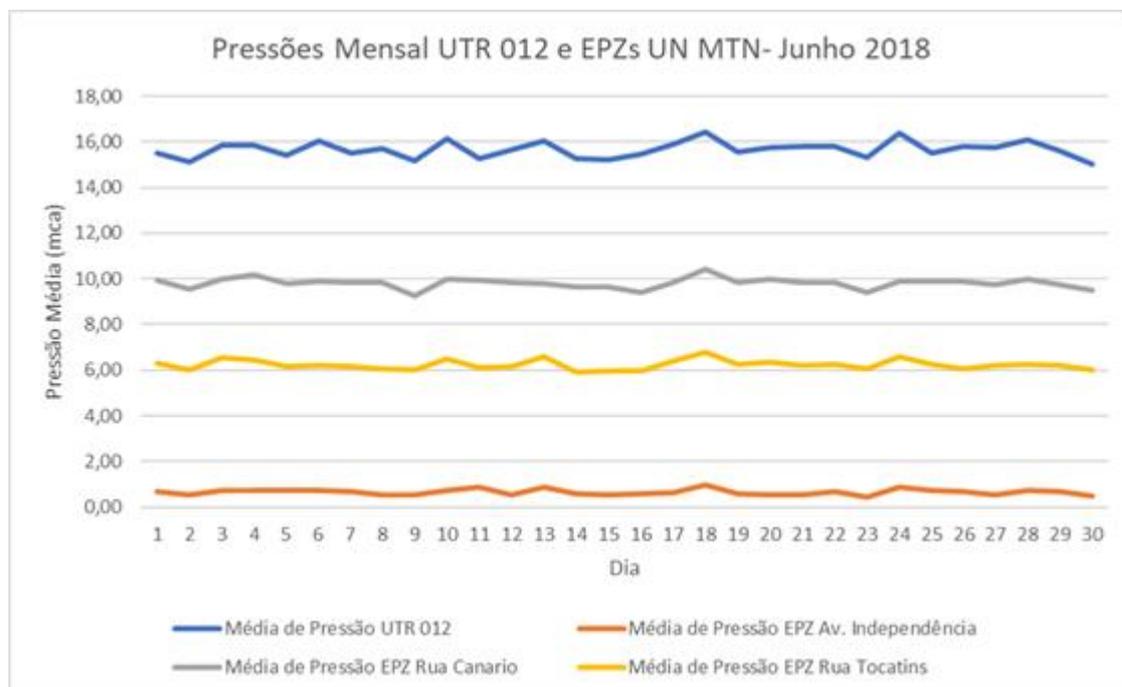


Figura B7 - Série de pressões UN MTN Julho 2018

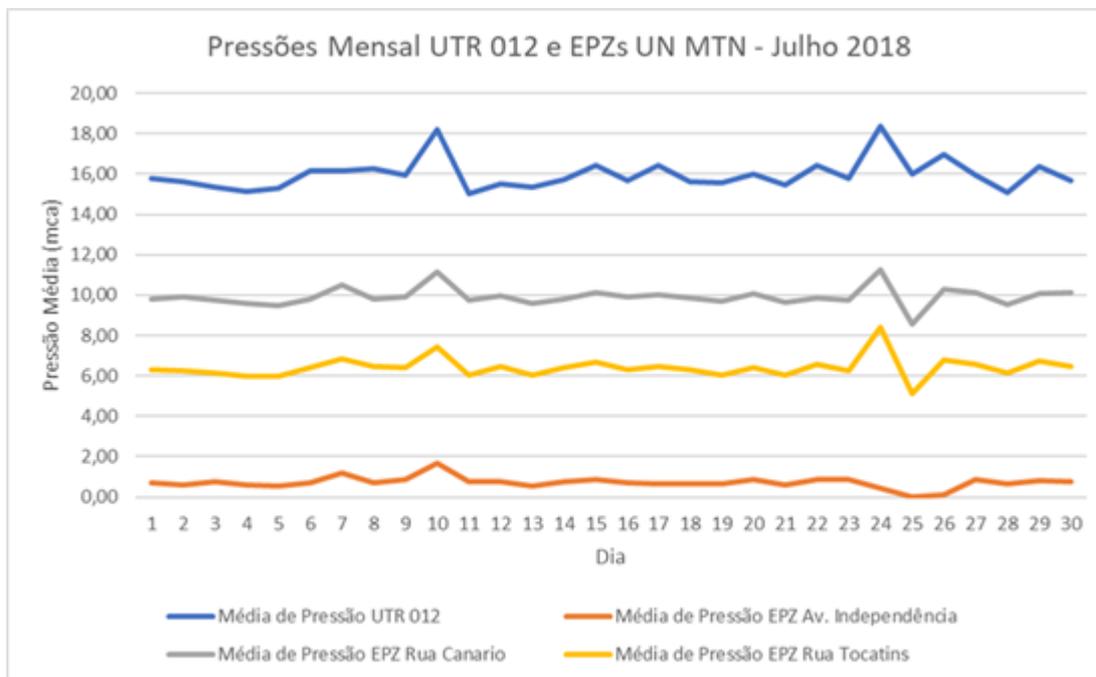
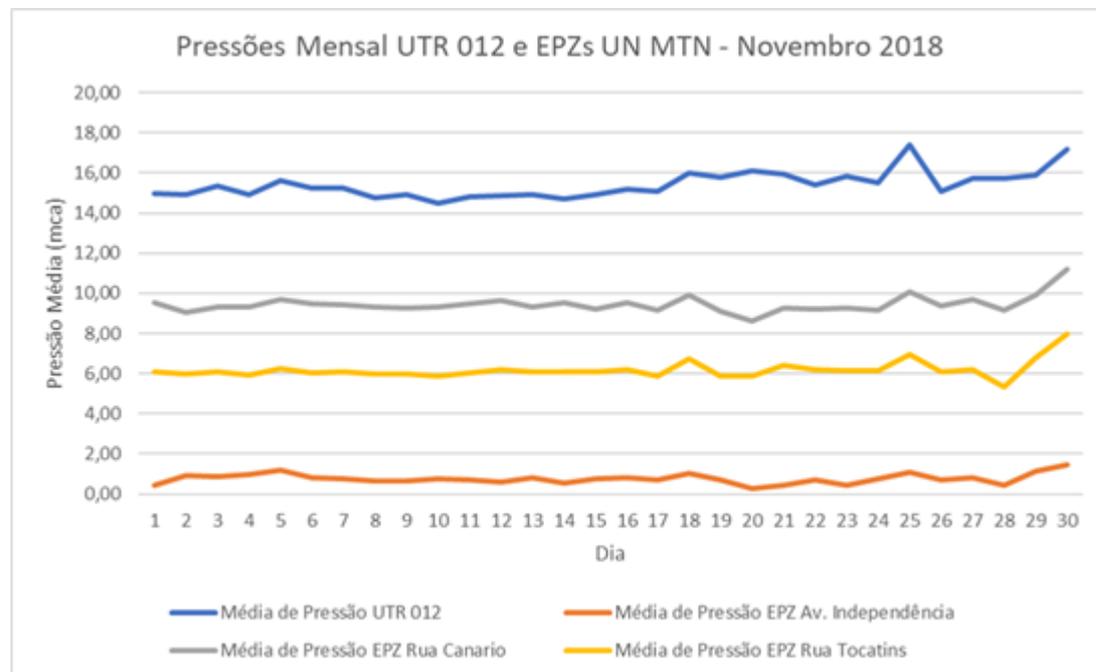


Figura B8 - Série de pressões UN MTN Novembro 2018



UN MTO

Figura B9 - Série de pressões UN MTO fevereiro 2018

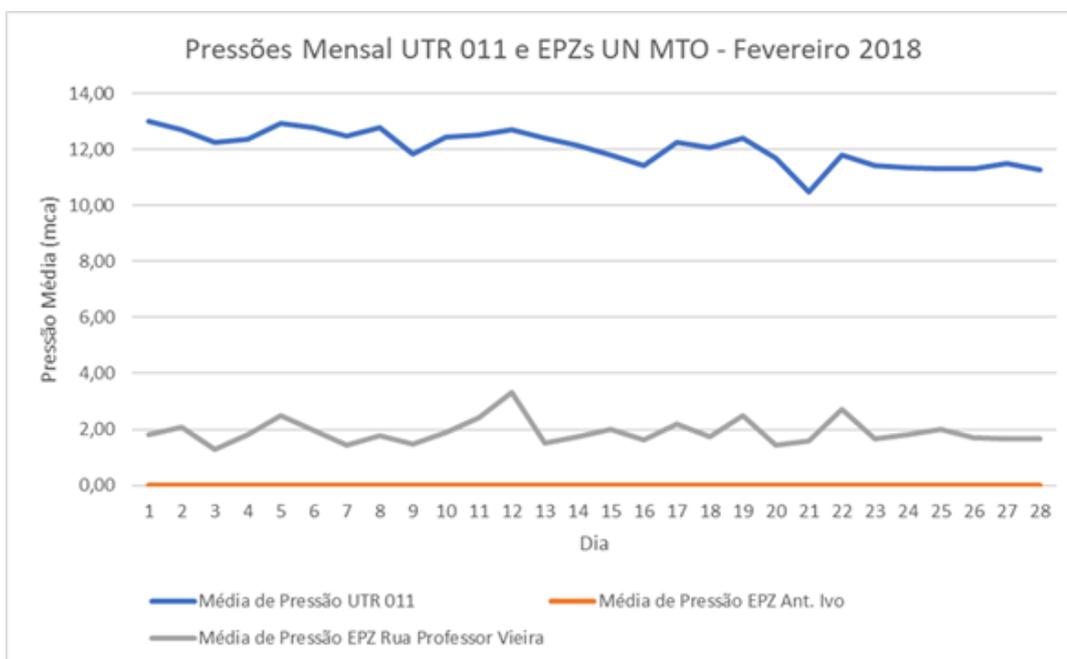


Figura B10 - Série de pressões UN MTO Junho 2018

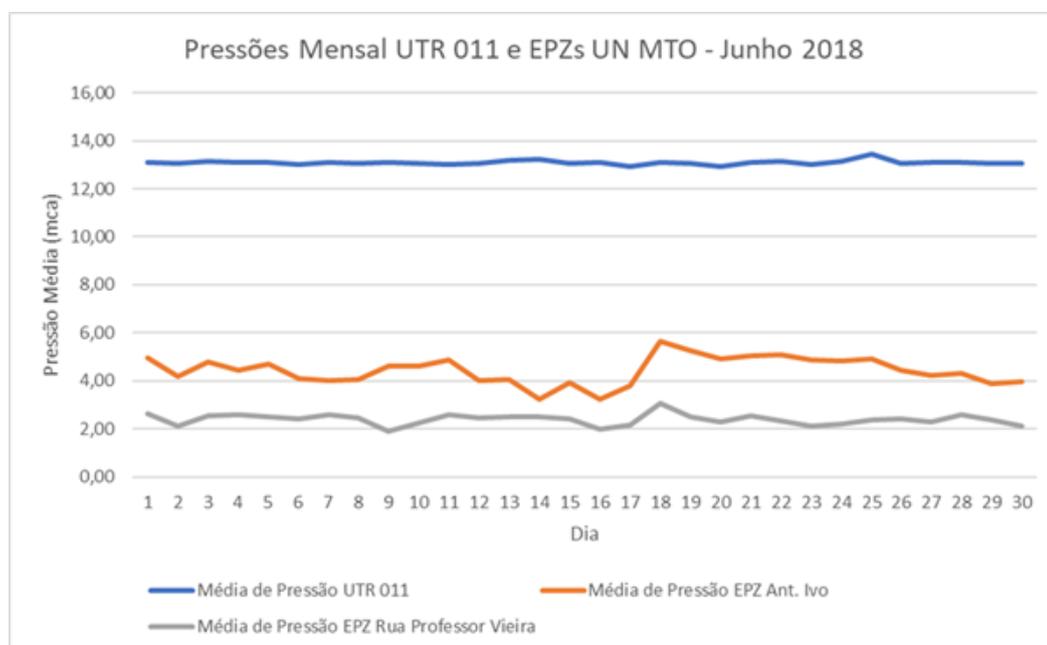


Figura B11 - Série de pressões UN MTO Julho 2018

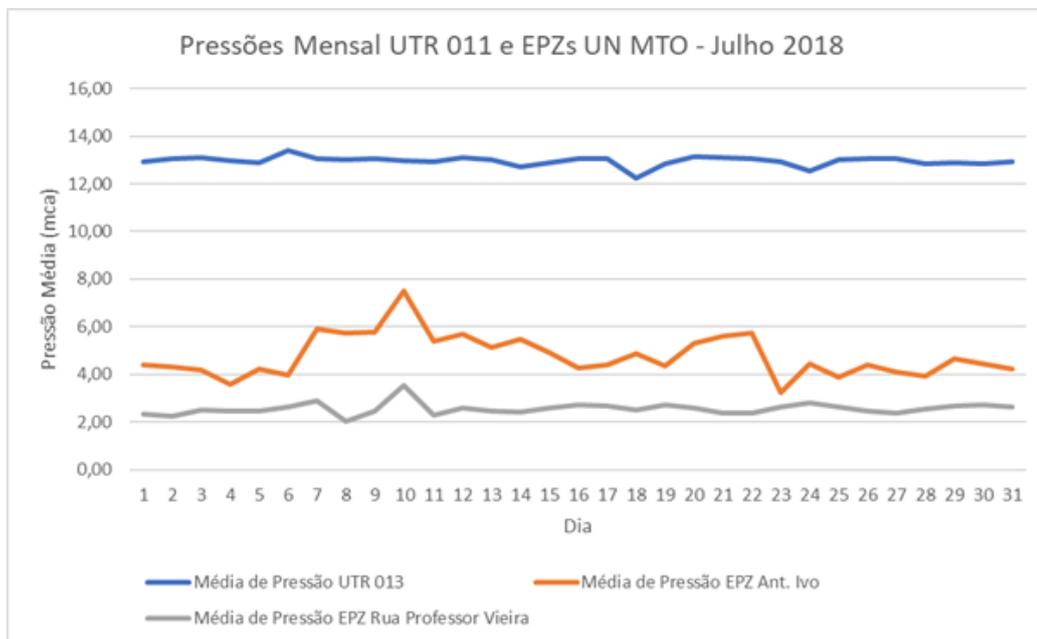
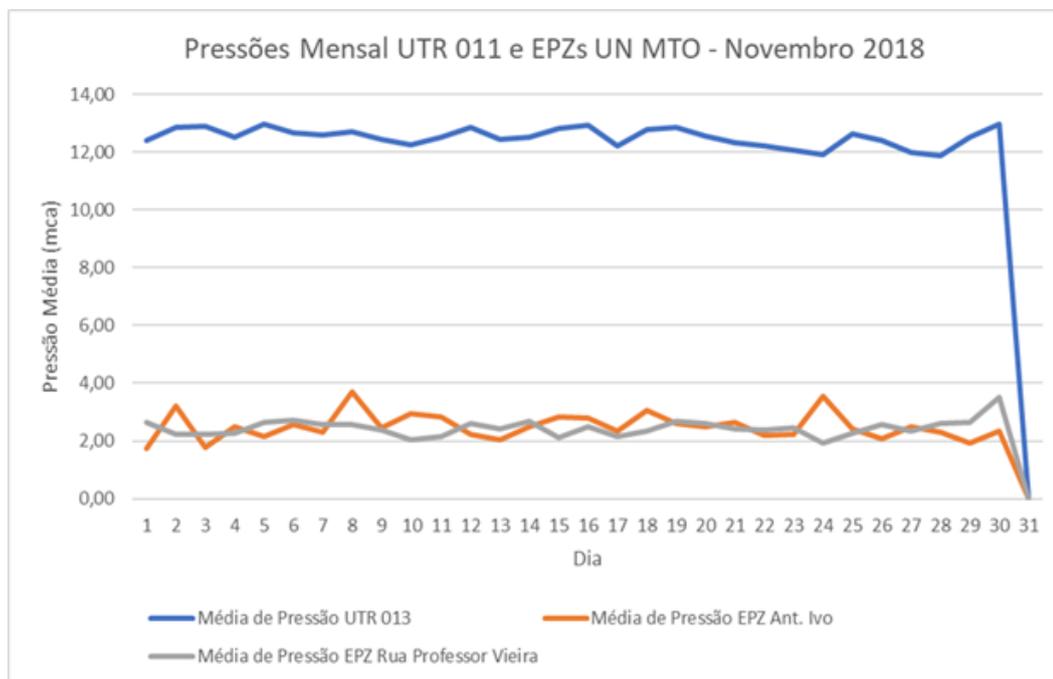


Figura B12 - Série de pressões UN MTO Novembro 2018



UN MTS:

Figura B13 - Série de pressões UN MTS Fevereiro 2018

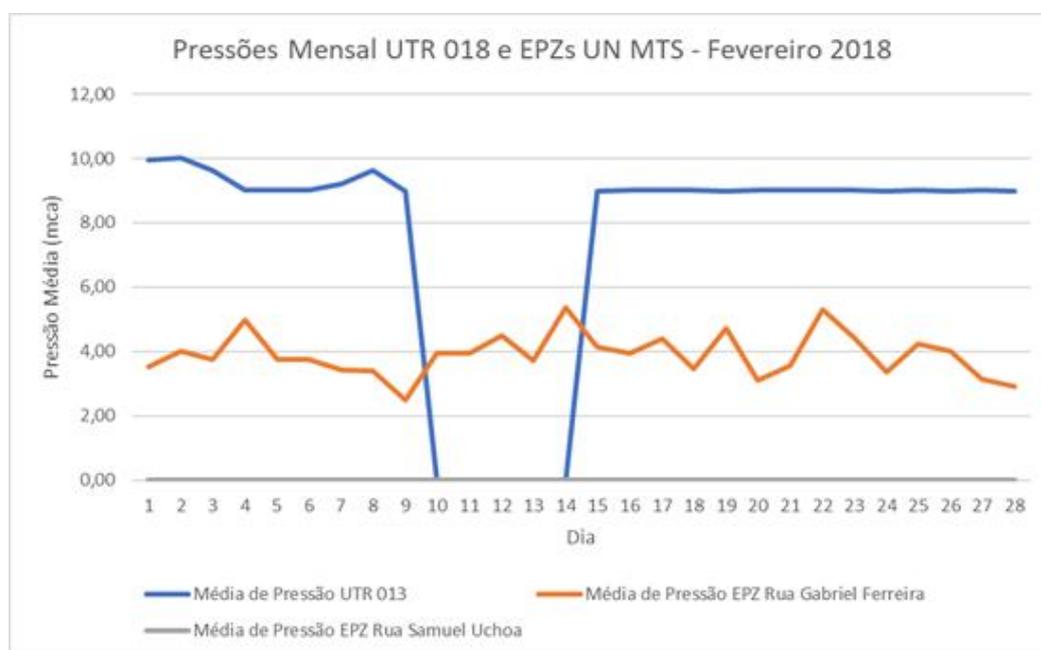


Figura B14 - Série de pressões UN MTS Junho 2018

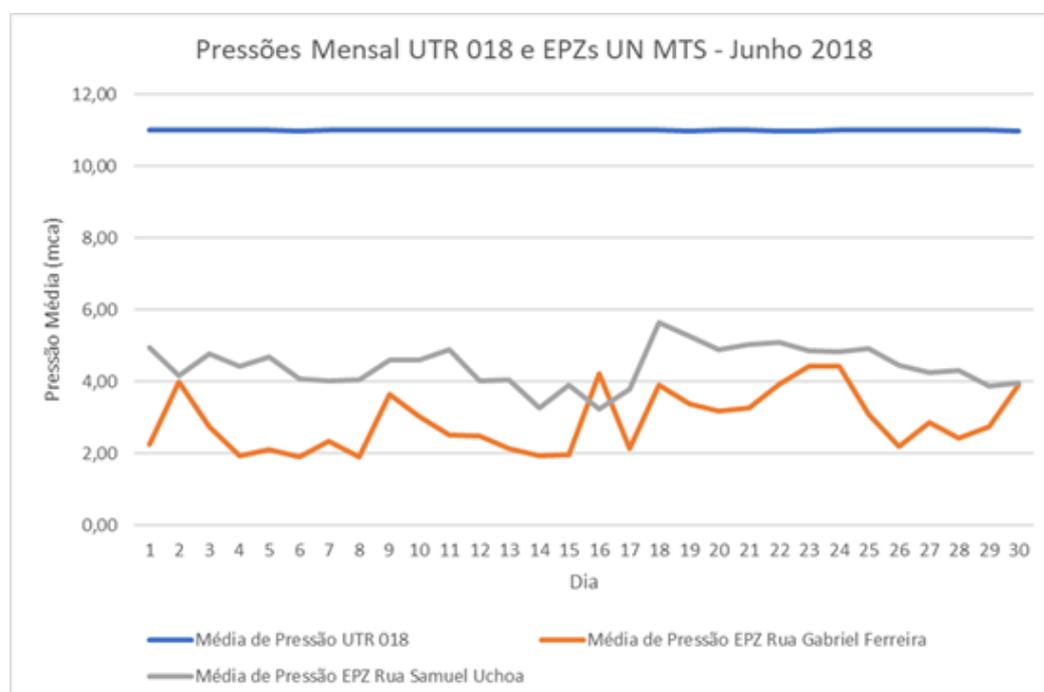


Figura B15 - Série de pressões UN MTS Julho 2018

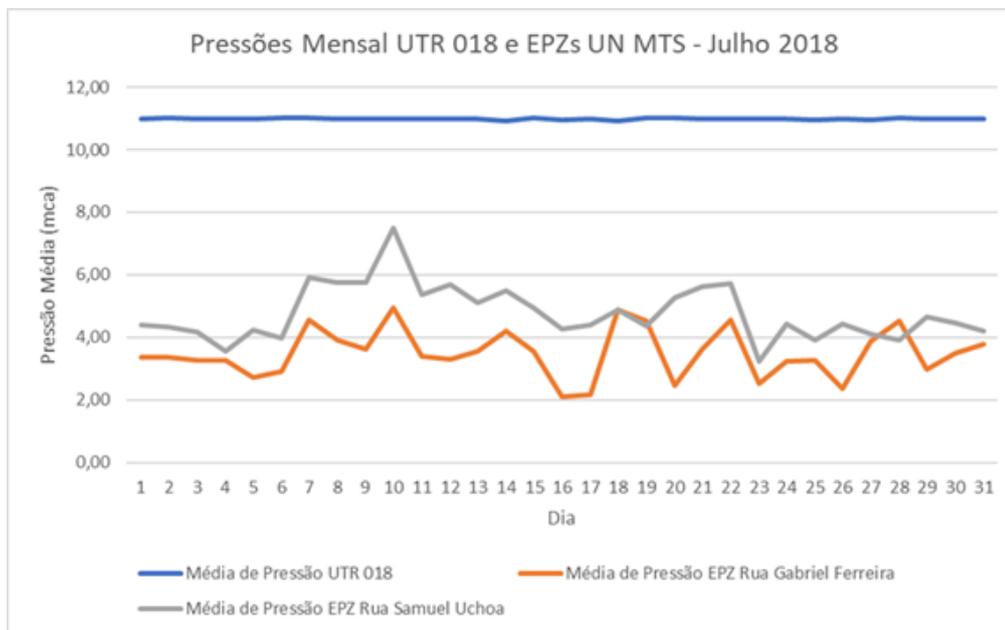
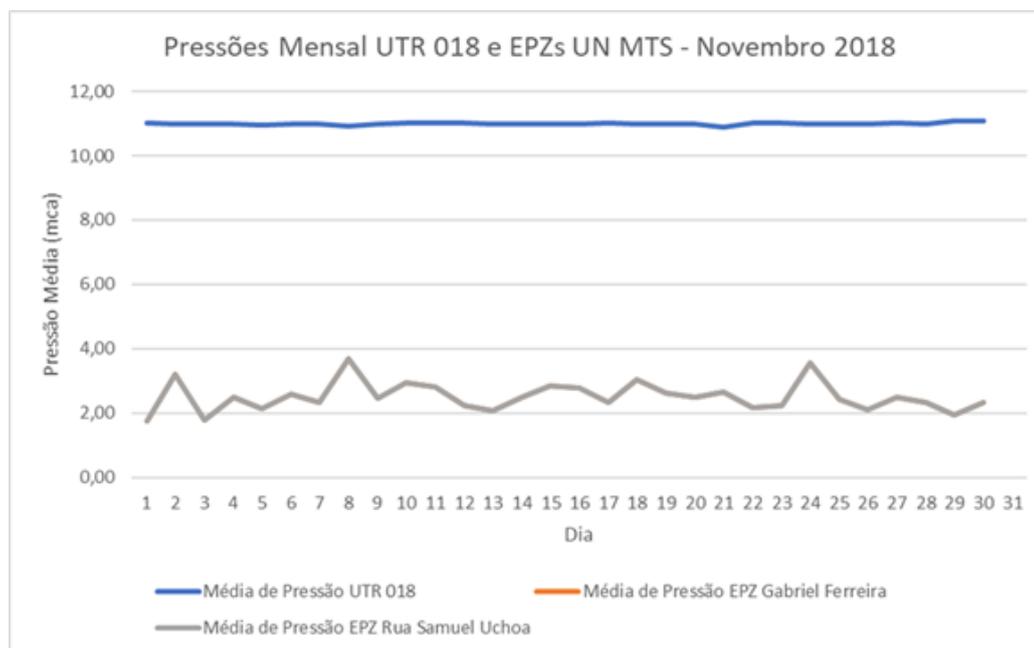


Figura B16 - Série de pressões UN MTS Novembro 2018

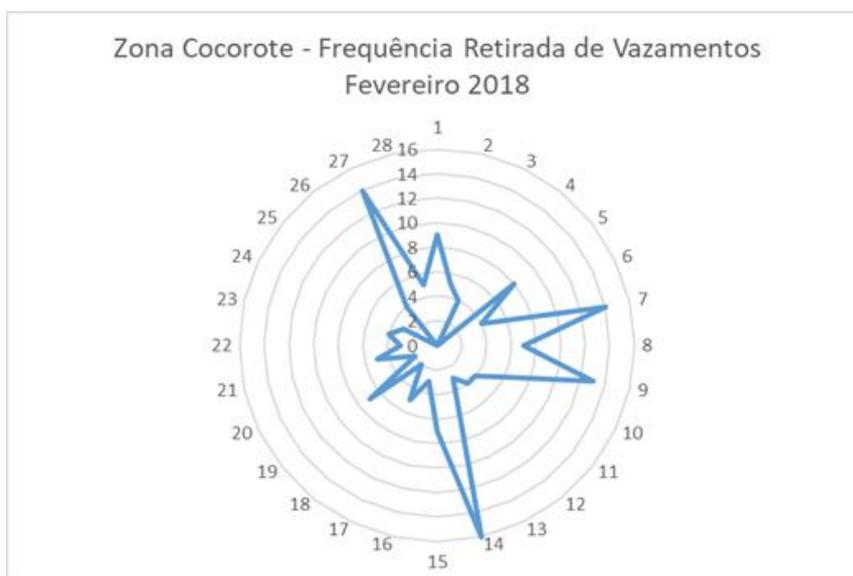


APÊNDICE C - SÉRIE DE VAZAMENTOS

Os gráficos de vazamentos foram postos no tipo radial para se dispor a homogeneidade e intensidade das ocorrências em cada mês para cada Unidade de Negócio.

UN MTL

Figura C1 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Cocorote fevereiro 2018.



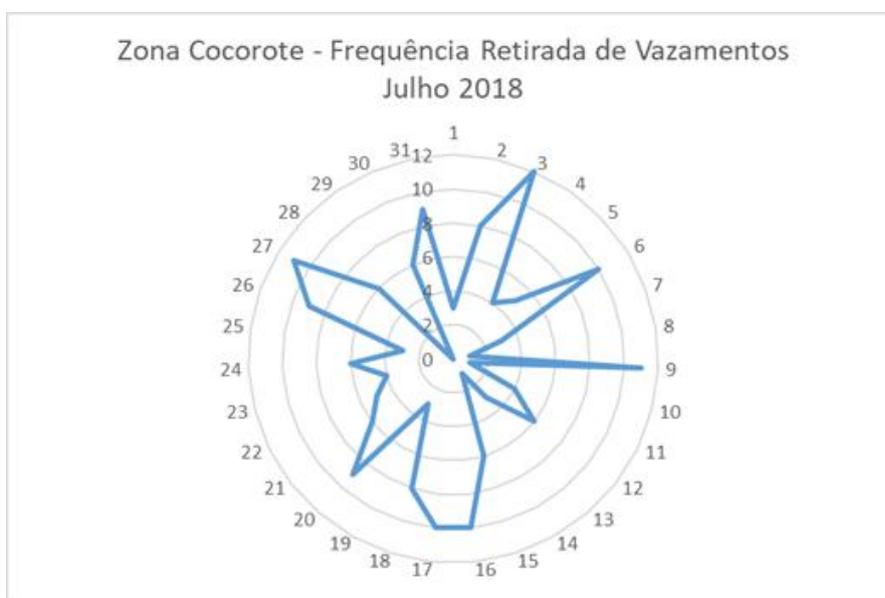
Fonte: Próprio autor.

Figura C2 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Cocorote junho 2018.



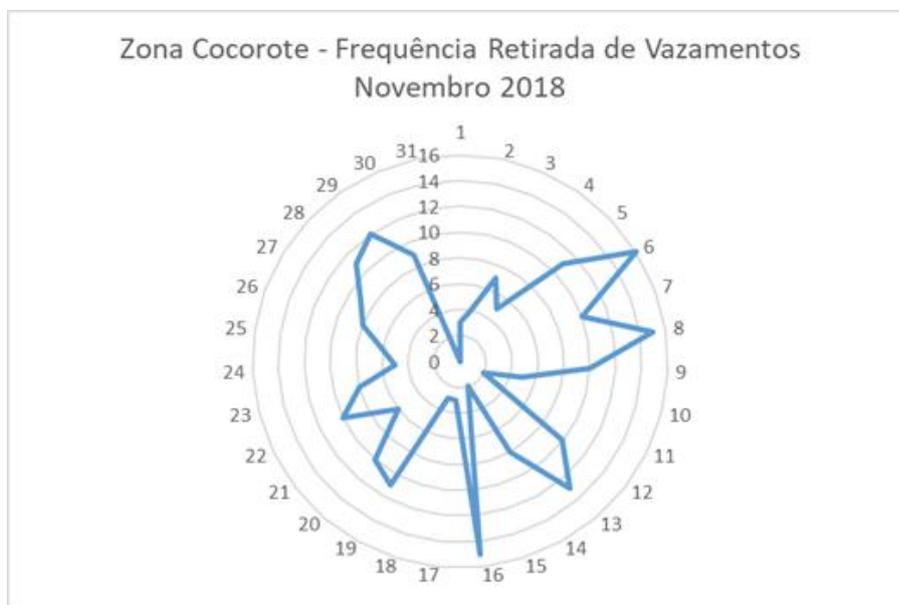
Fonte: Próprio autor.

Figura C3 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Cocorote julho 2018.



Fonte: Próprio autor.

Figura C4 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Cocorote novembro 2018.



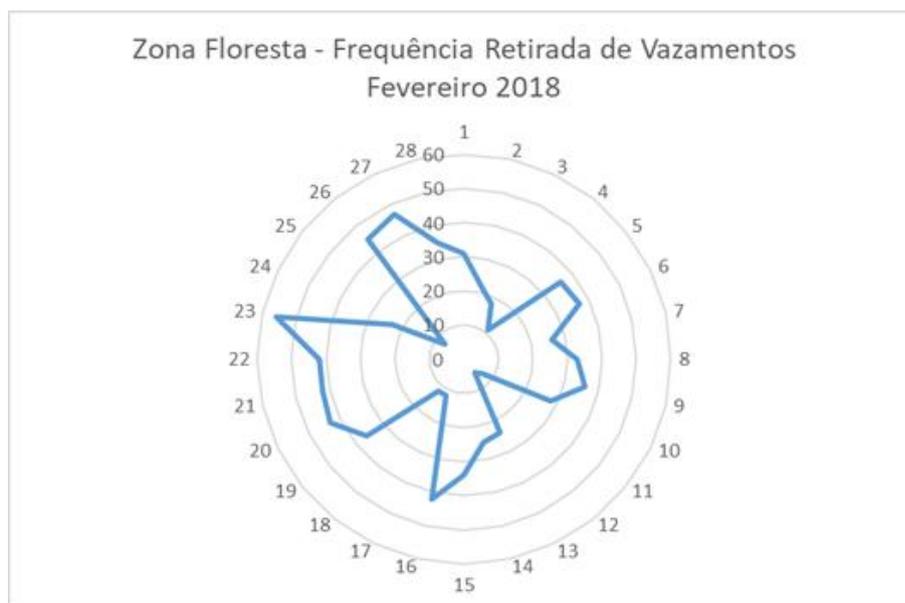
Fonte: Próprio autor.

Para zona “cocorote”, em julho percebe-se menor quantidade de retirada com pico de 12 retiradas. Nos meses de fevereiro e novembro a frequência máxima fica no patamar de 16 retiradas e o mês de junho apresenta-se com maiores frequências, com picos em 19. A média de ocorrência é de 6,64 vezes ao mês de vazamentos. As séries dos 4 meses possuem

desvios padrões elevados da ordem de 4,10. A distribuição não é homogênea, ocorrendo picos isolados intercalados com ausência ou poucas ocorrências.

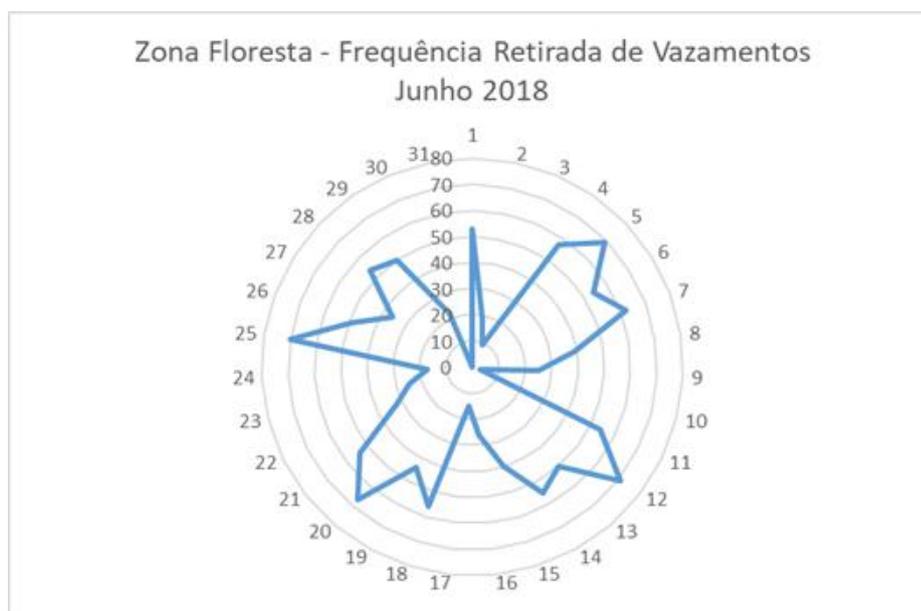
UN MTN:

Figura C5 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Floresta fevereiro 2018



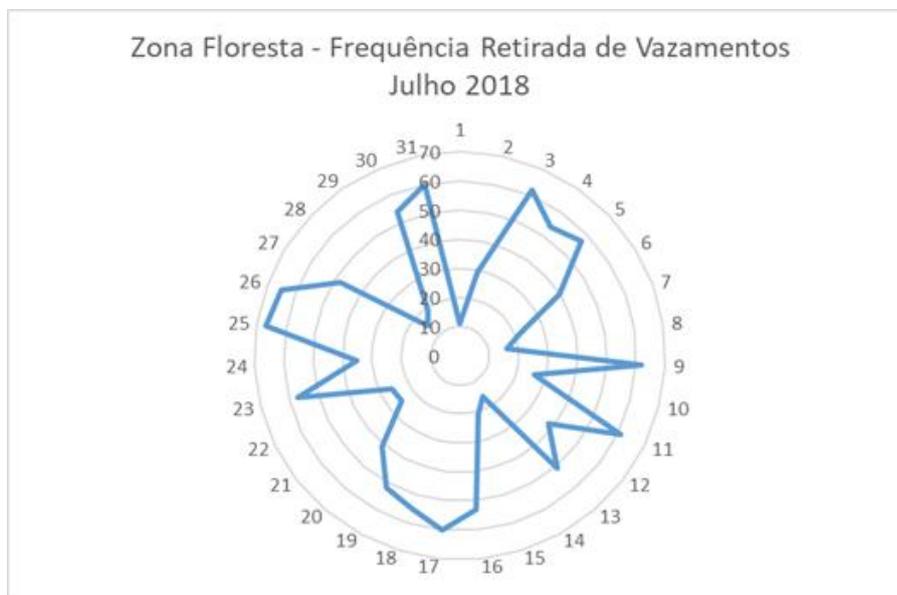
Fonte: Próprio autor

Figura C6 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Floresta junho 2018



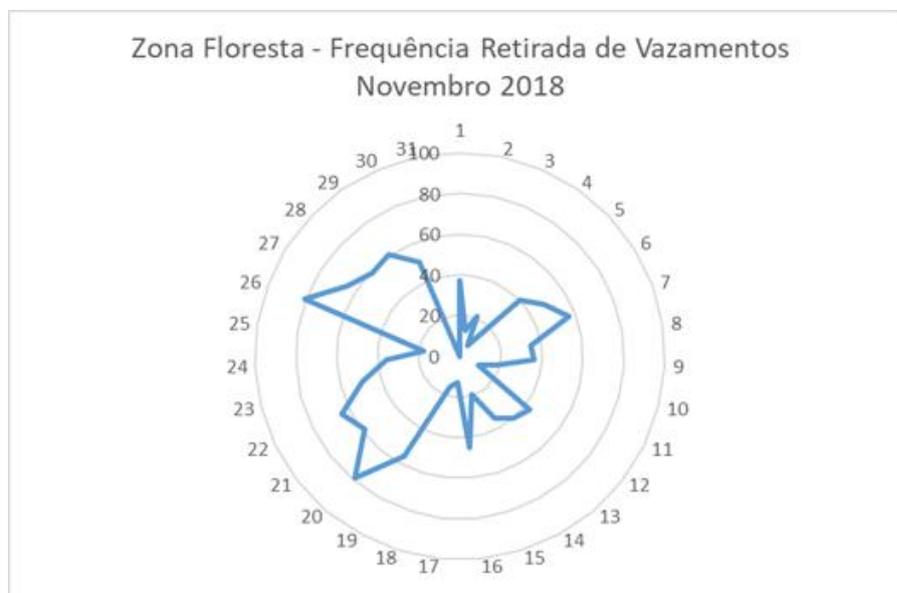
Fonte: Próprio autor

Figura C7 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Floresta julho 2018



Fonte: Próprio autor

Figura C8 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Floresta novembro 2018



Fonte: Próprio autor

Para a zona “floresta”, nos meses de fevereiro e julho percebe-se a maior uniformidade dentre as 4 distribuições de frequência. O mês de fevereiro possui a menor quantidade de retirada de vazamento com pico de 56 retiradas. No mês de novembro a frequência máxima fica no patamar de 81 retiradas. A média de ocorrência é de 37,80 vezes

ao mês de vazamentos. As séries dos 4 meses possuem desvios padrões elevados da ordem de 18,36.

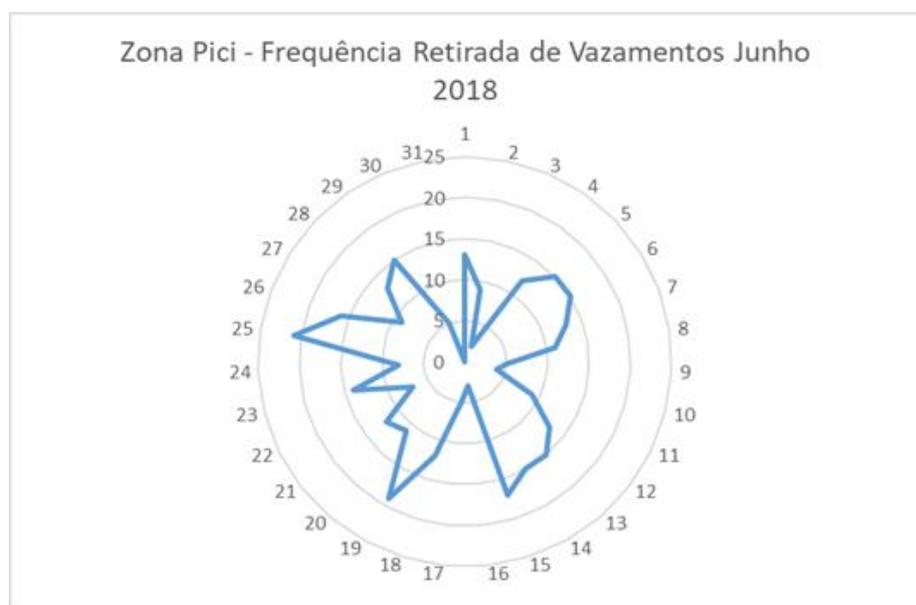
UN MTO

Figura C9 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Pici fevereiro 2018



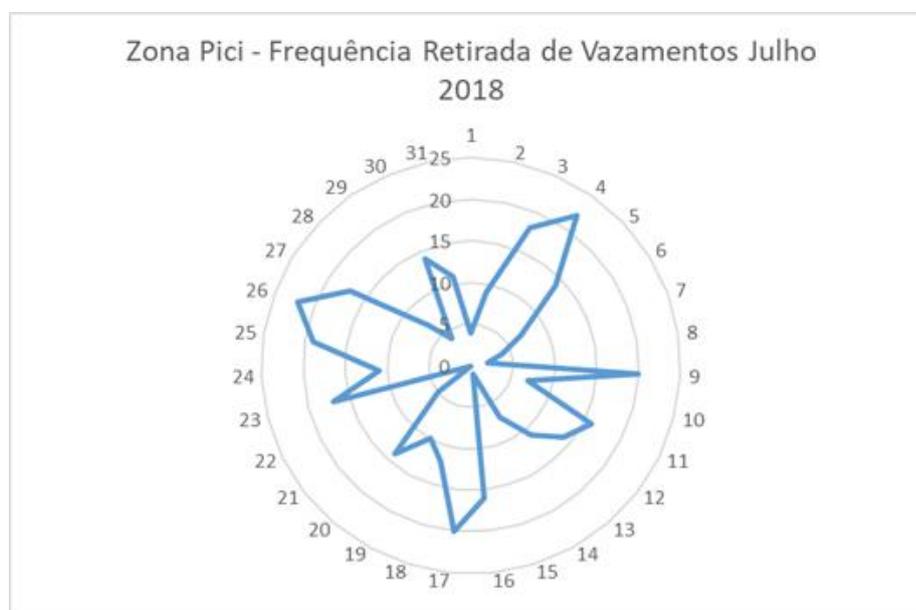
Fonte: Próprio autor

Figura C10 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Pici junho 2018



Fonte: Próprio autor

Figura C11 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Pici julho 2018



Fonte: Próprio autor

Figura C12 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Pici novembro 2018



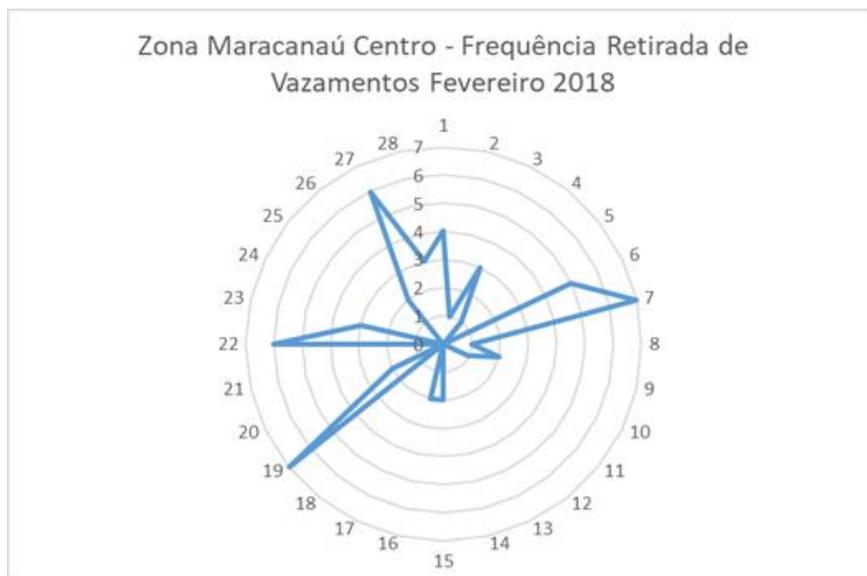
Fonte: Próprio autor

Para a zona “Pici”, não se percebe uniformidade na distribuição das frequências de retirada de vazamentos. O mês de fevereiro possui a menor quantidade de retirada de vazamento com pico de 16 retiradas. No mês de novembro a frequência máxima fica no

patamar de 32 retiradas. A média de ocorrência é de 10,71 vezes ao mês de vazamentos. As séries dos 4 meses possuem desvios padrões elevados da ordem de 5,97.

UN MTS

Figura C13 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Maracanaú Centro fevereiro 2018



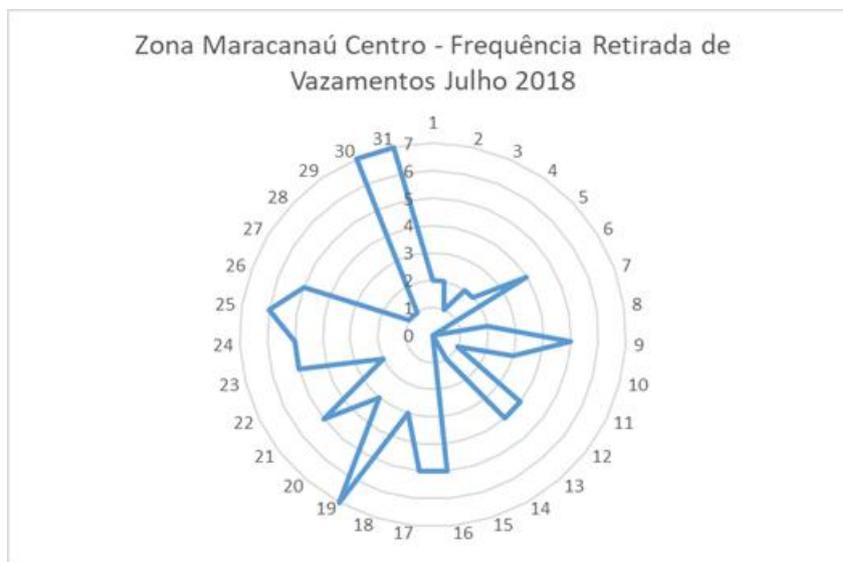
Fonte: Próprio autor

Figura C14 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Maracanaú Centro junho 2018



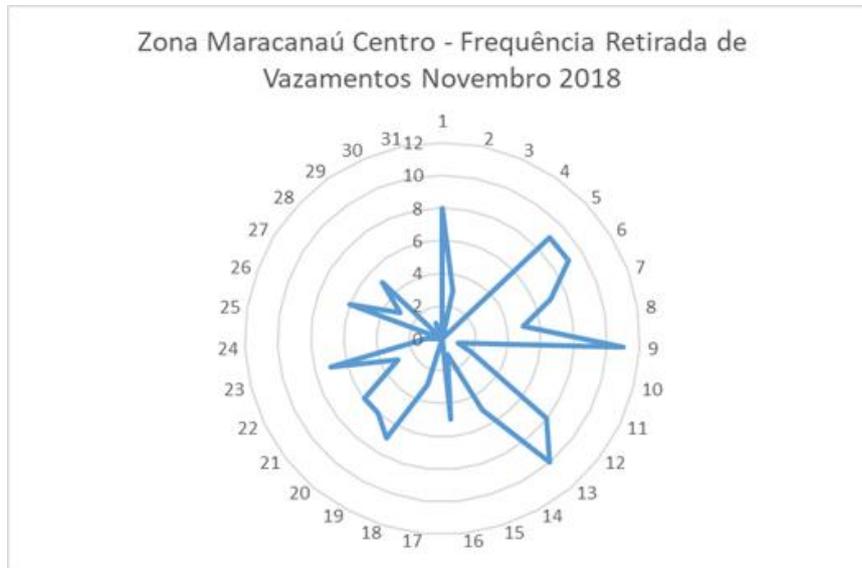
Fonte: Próprio autor

Figura C15 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Maracanaú Centro julho 2018



Fonte: Próprio autor

Figura C16 - Gráfico de distribuição de frequência de retirada de vazamentos Zona Maracanaú Centro novembro 2018



Fonte: Próprio autor

Para a zona “Maracanaú centro”, não se percebe uniformidade na distribuição das frequências de retirada de vazamentos. Os meses de fevereiro e julho possuem a menor quantidade de retirada de vazamento com pico de 7 retiradas. No mês de junho a frequência máxima fica no patamar de 13 retiradas. A média de ocorrência é de 3,30 vezes ao mês de vazamentos. As séries dos 4 meses possuem os menores desvios padrões na ordem de 2,71.

APÊNDICE D - GRÁFICOS CONTROLE DE ESTATÍSTICO

UN MTL

Figura D1 - Controle Estatístico UTR UN MTL fevereiro

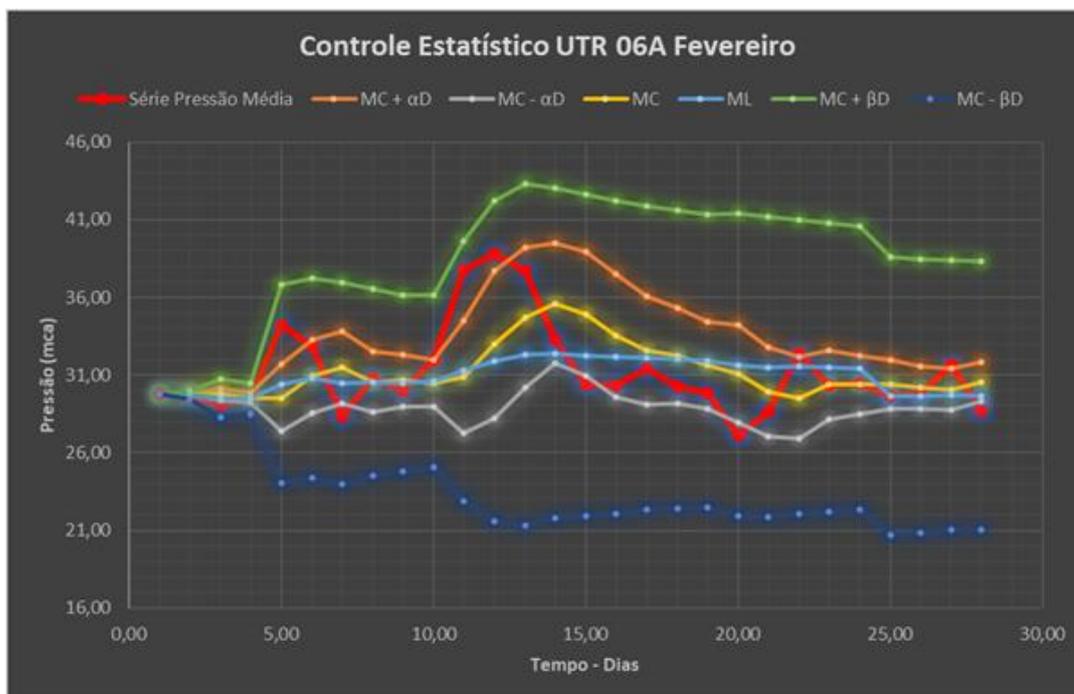


Figura D2 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTL fevereiro

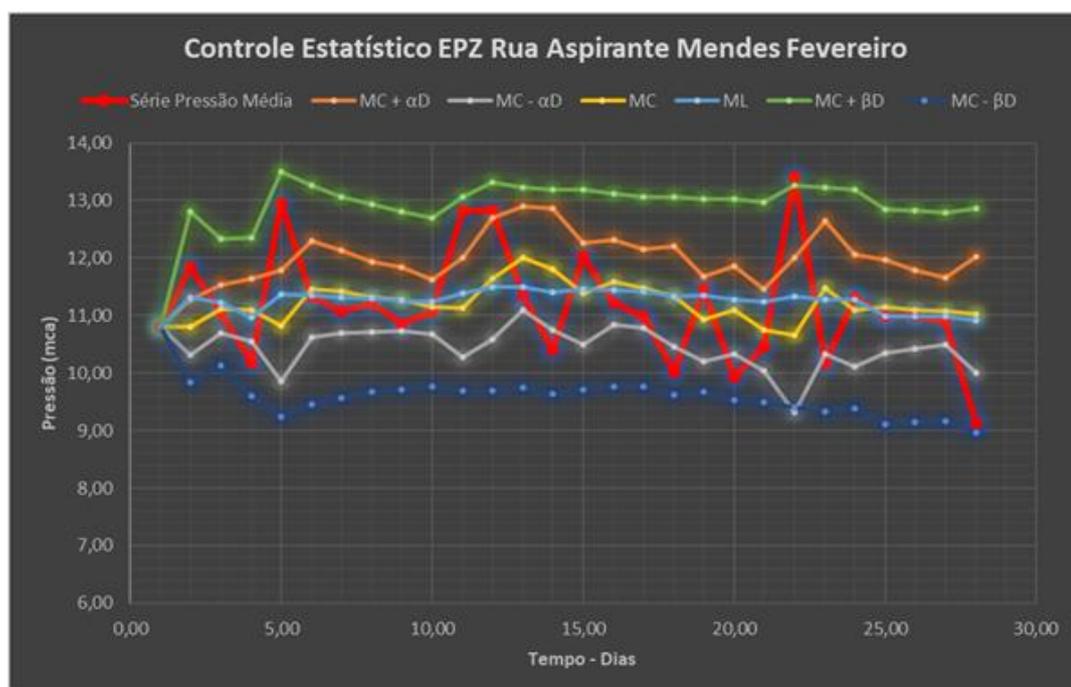


Figura D3 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTL fevereiro

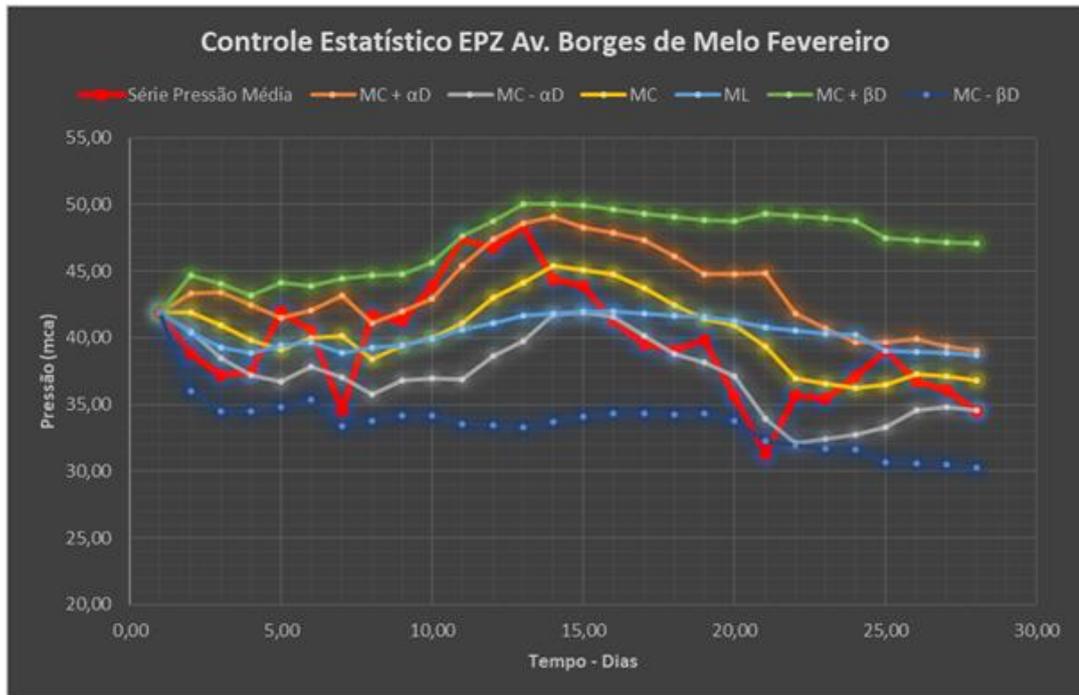


Figura D4 - Controle Estatístico UTR UN MTL Junho

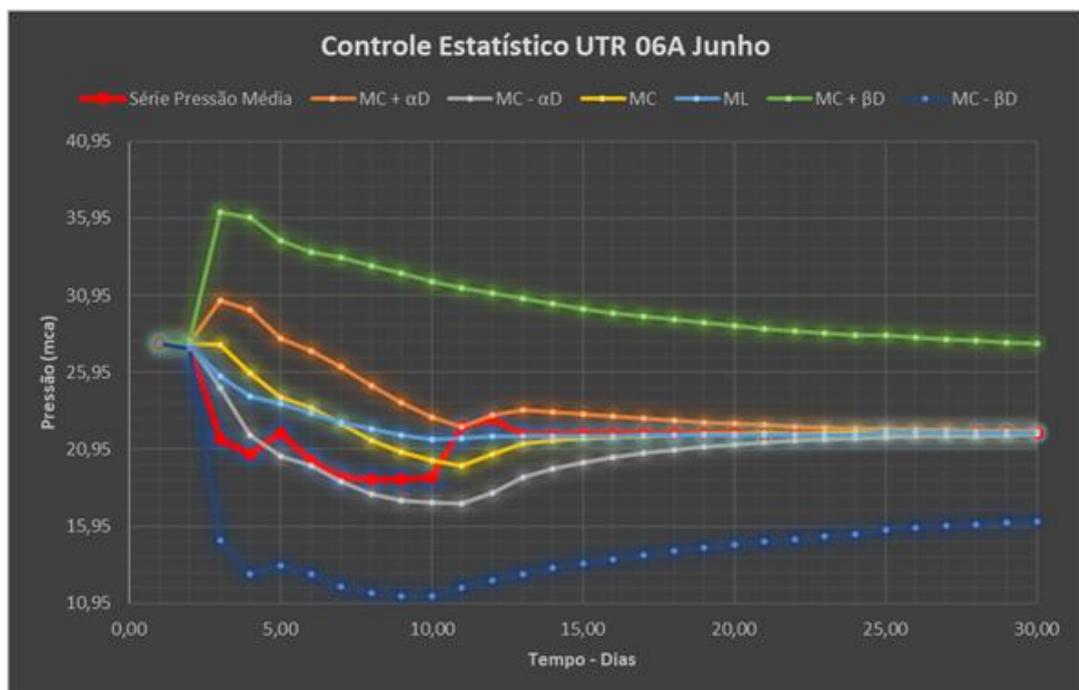


Figura D5 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTL Julho

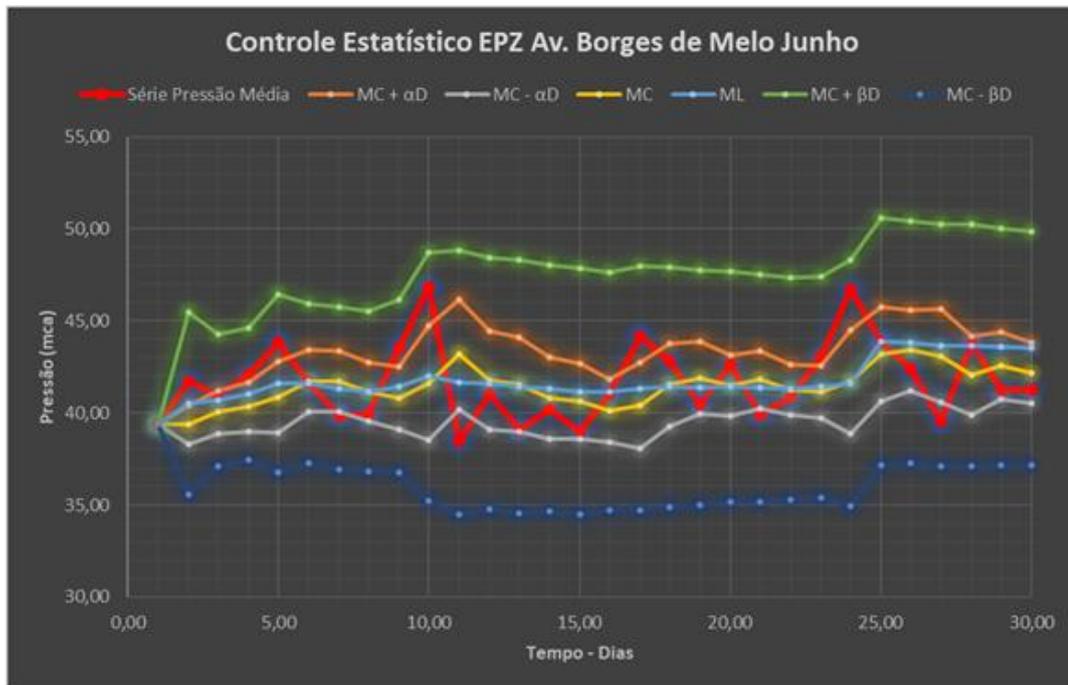


Figura D6 - Controle Estatístico UTR UN MTL Julho

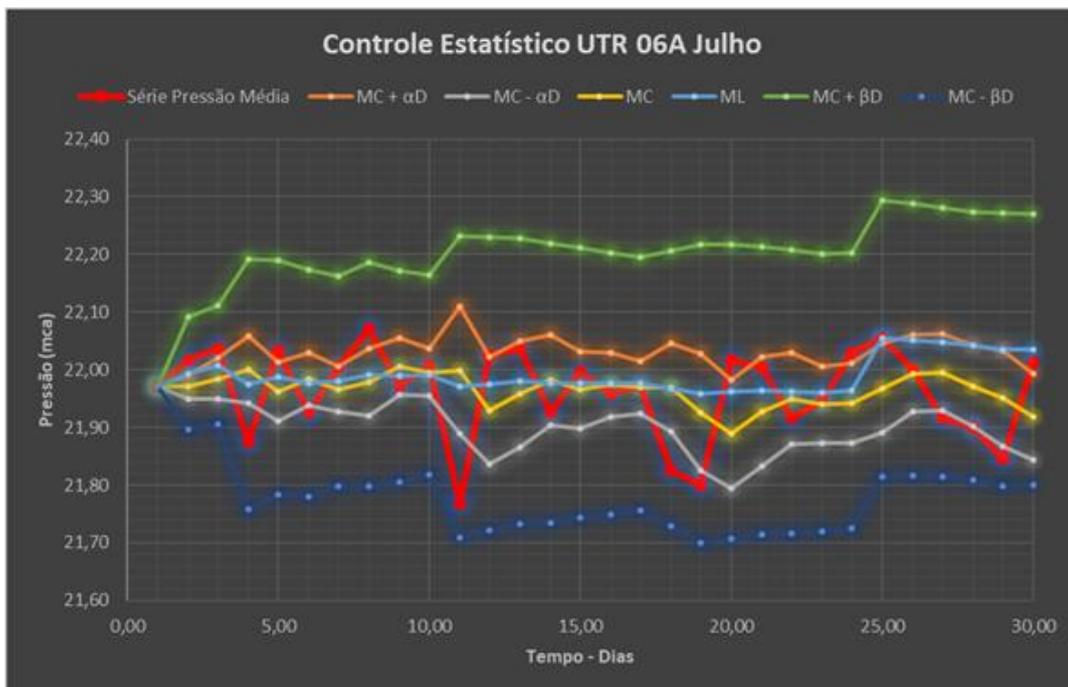


Figura D7 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTL Julho

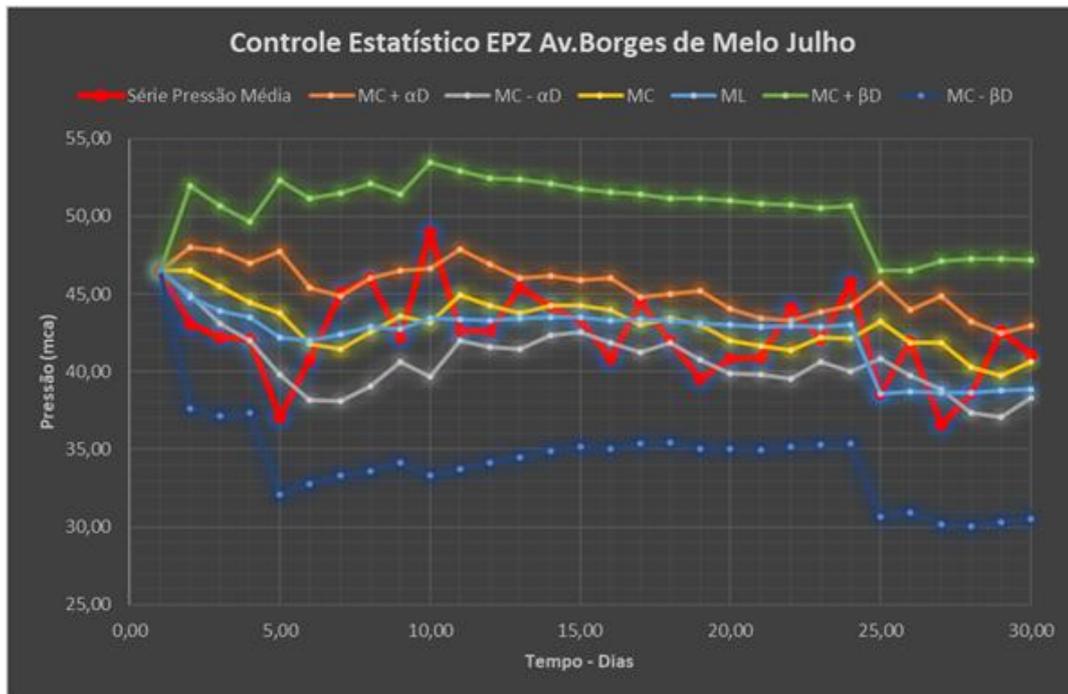


Figura D8 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTL Julho

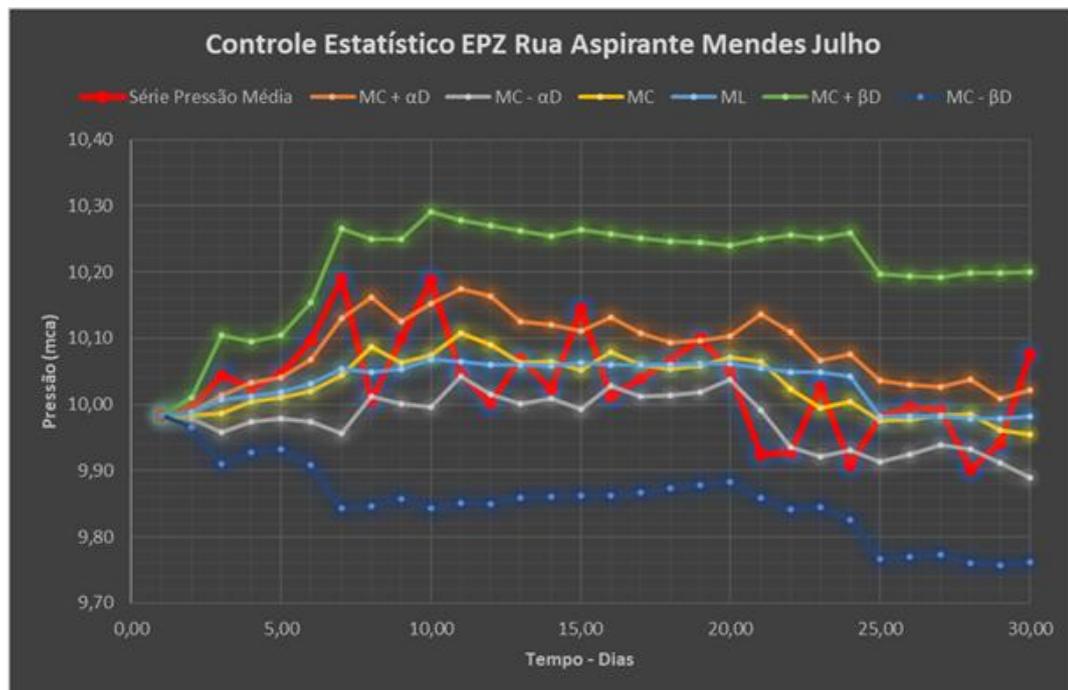


Figura D9 - Controle Estatístico UTR UN MTL Novembro

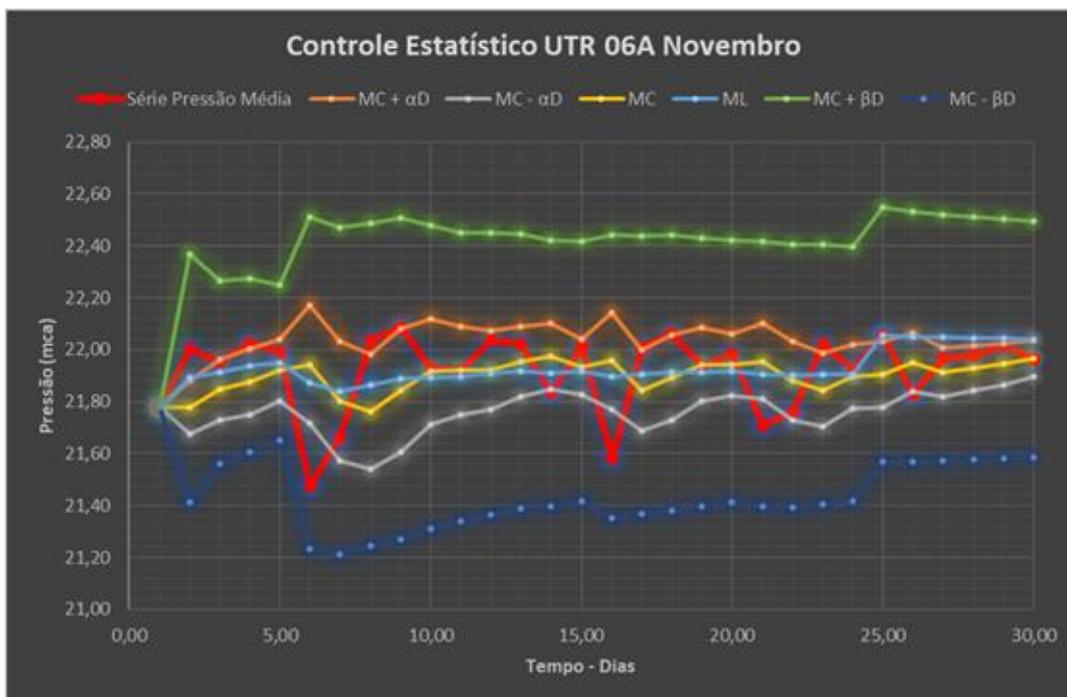
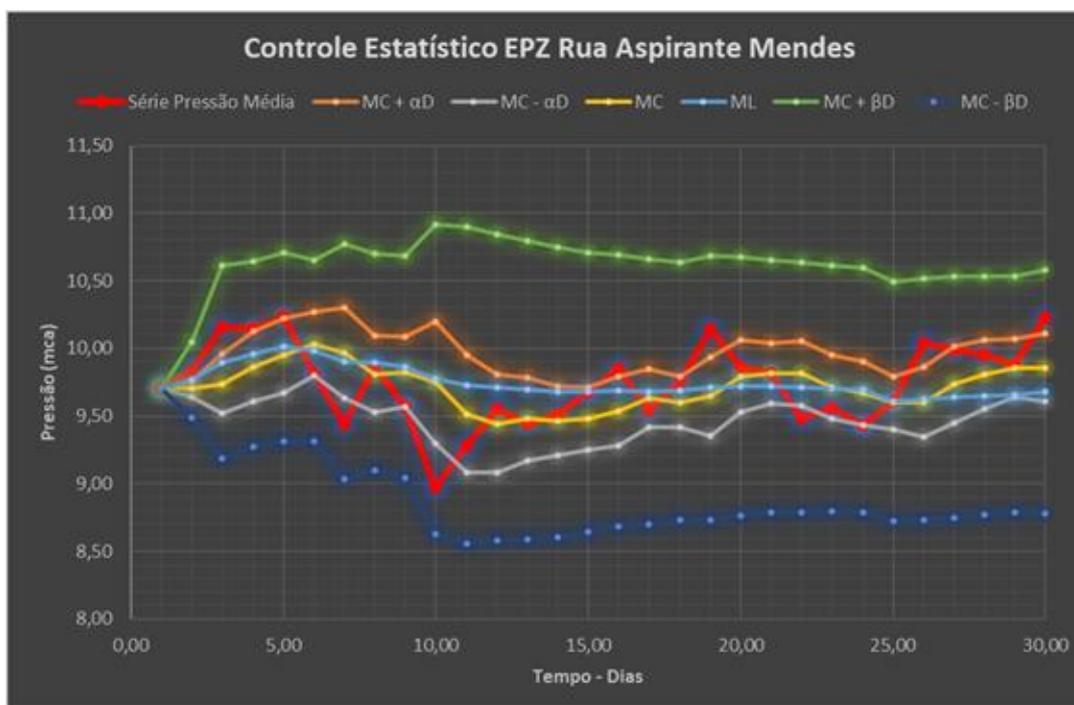


Figura D10 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTL Novembro



UN MTN

Figura D11 - Controle Estatístico UTR UN MTN fevereiro

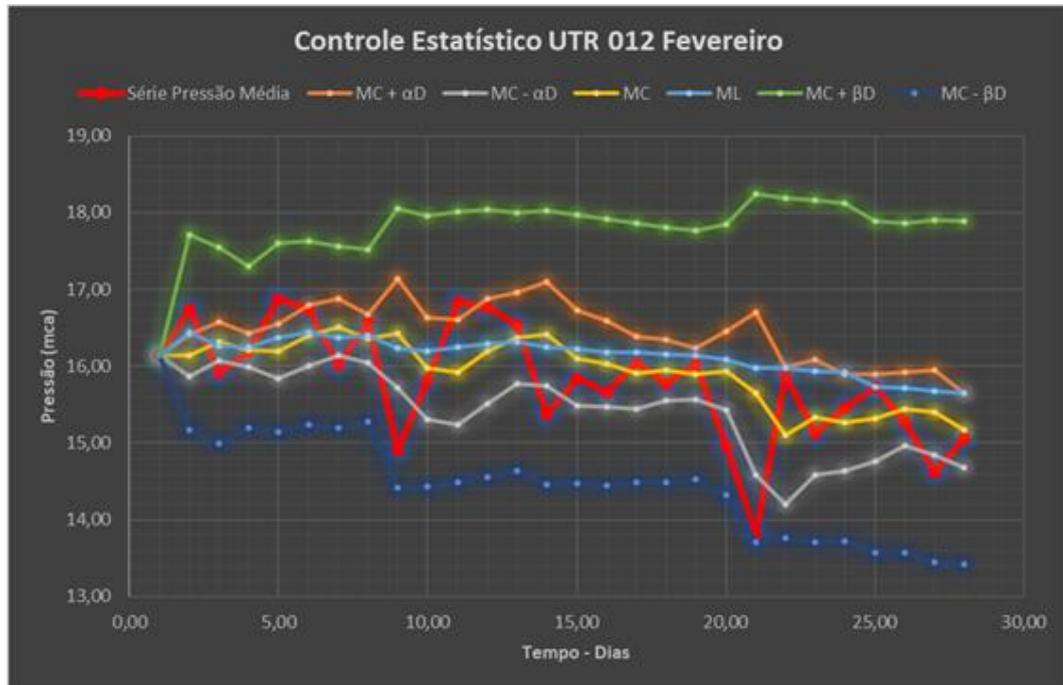


Figura D12 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTN fevereiro

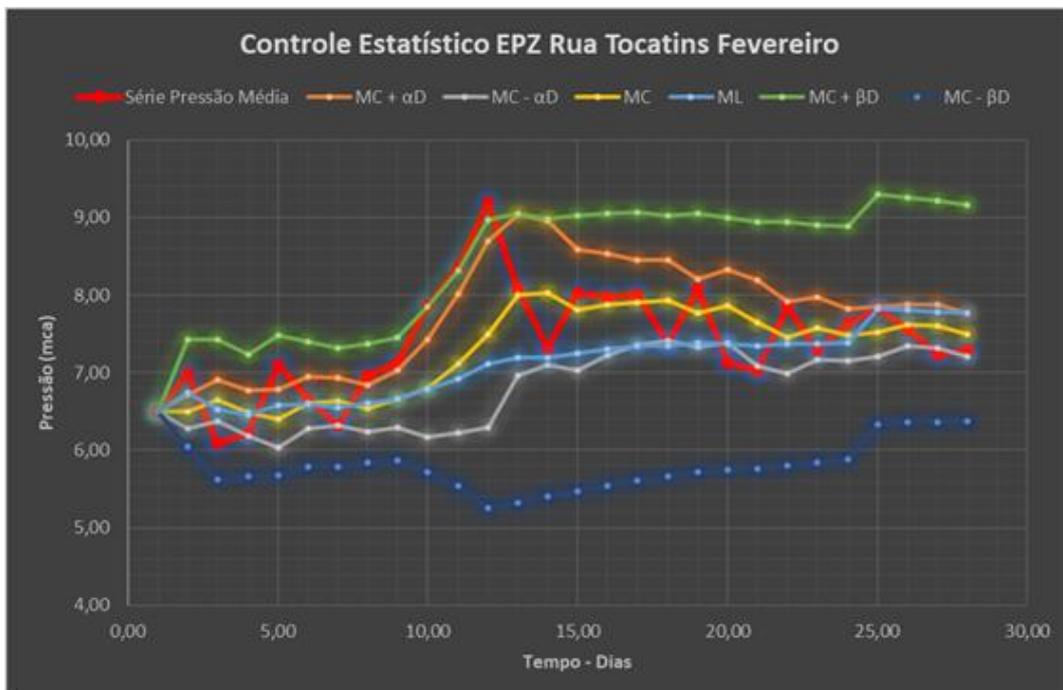


Figura D13 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTN fevereiro

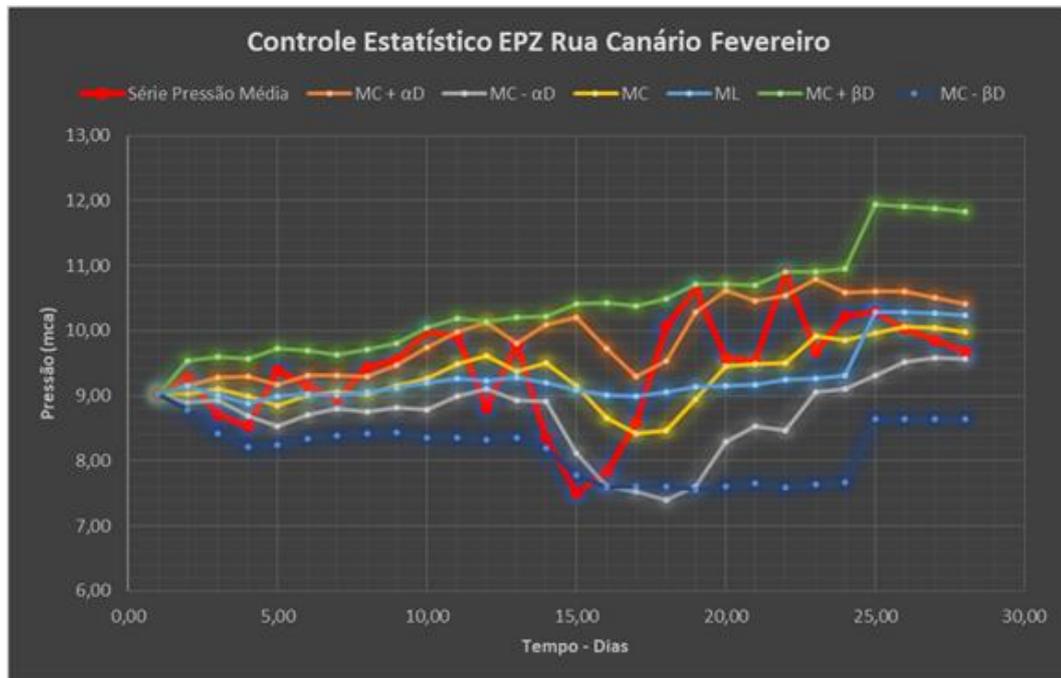


Figura D14 - Controle Estatístico UTR UN MTN junho

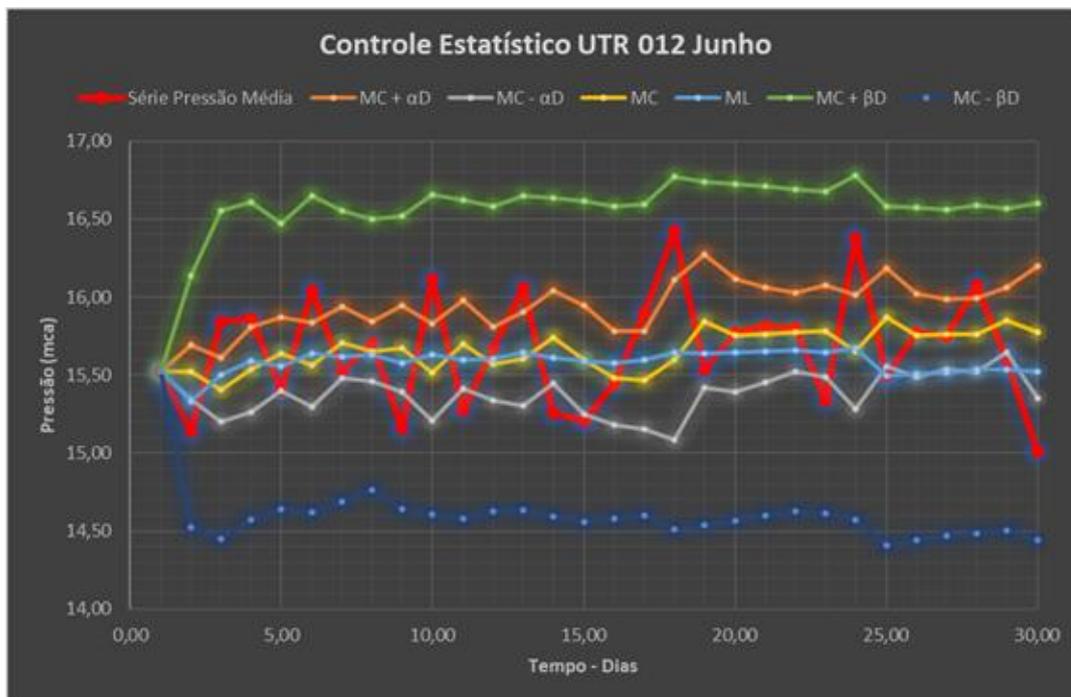


Figura D15 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTN junho

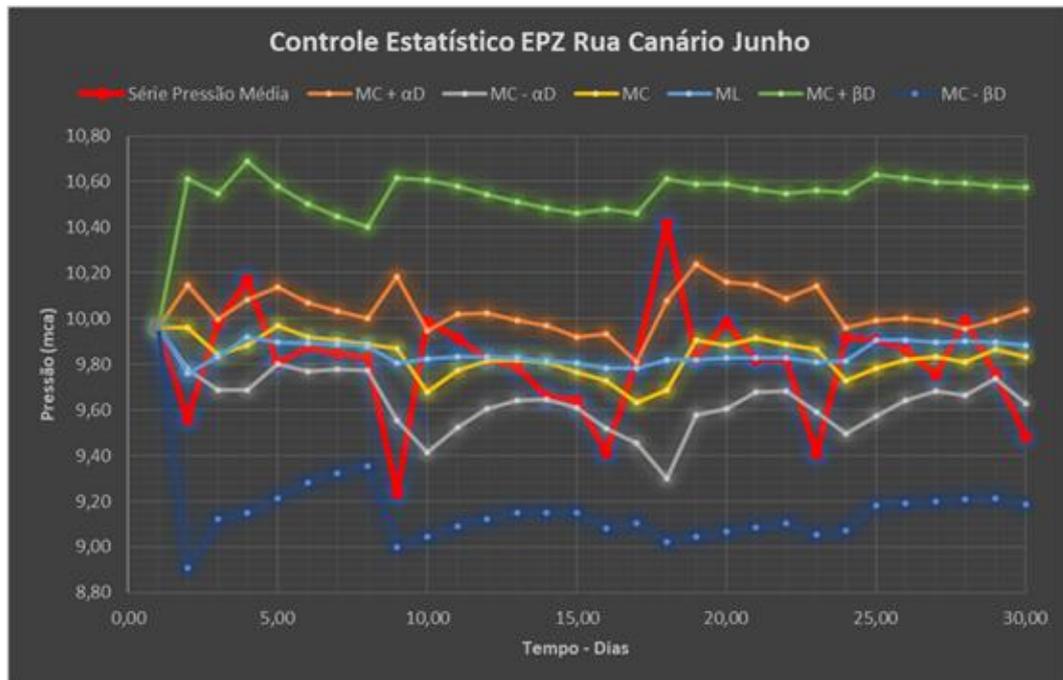


Figura D16 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTN junho

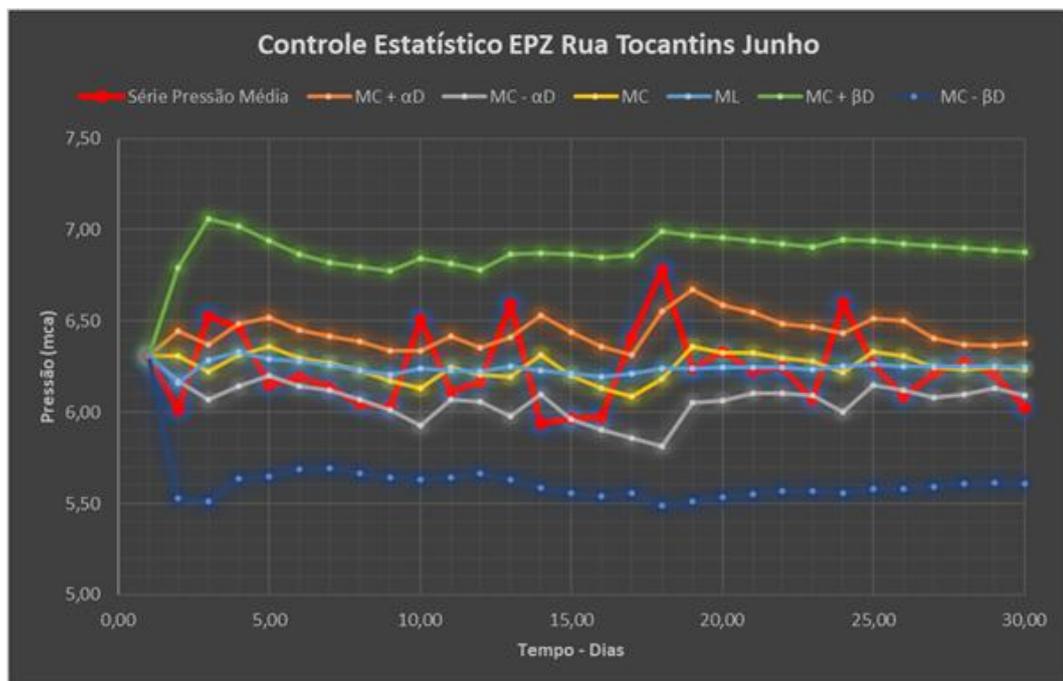


Figura D17 - Controle Estatístico UTR UN MTN julho

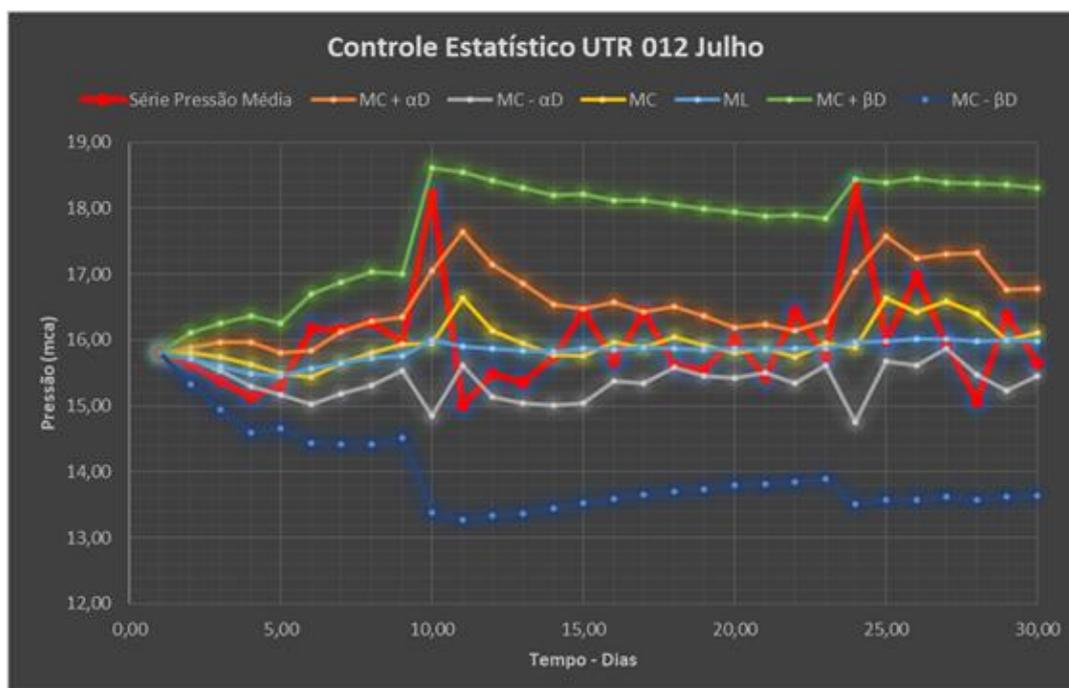


Figura D18 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTN julho

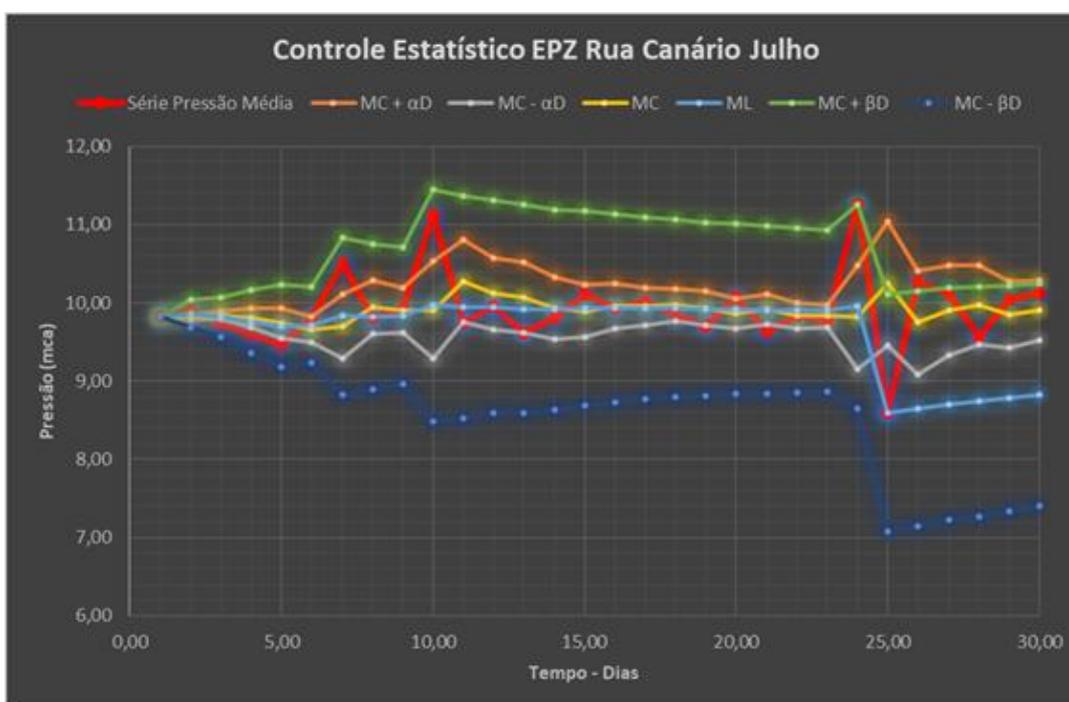


Figura D19 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTN julho

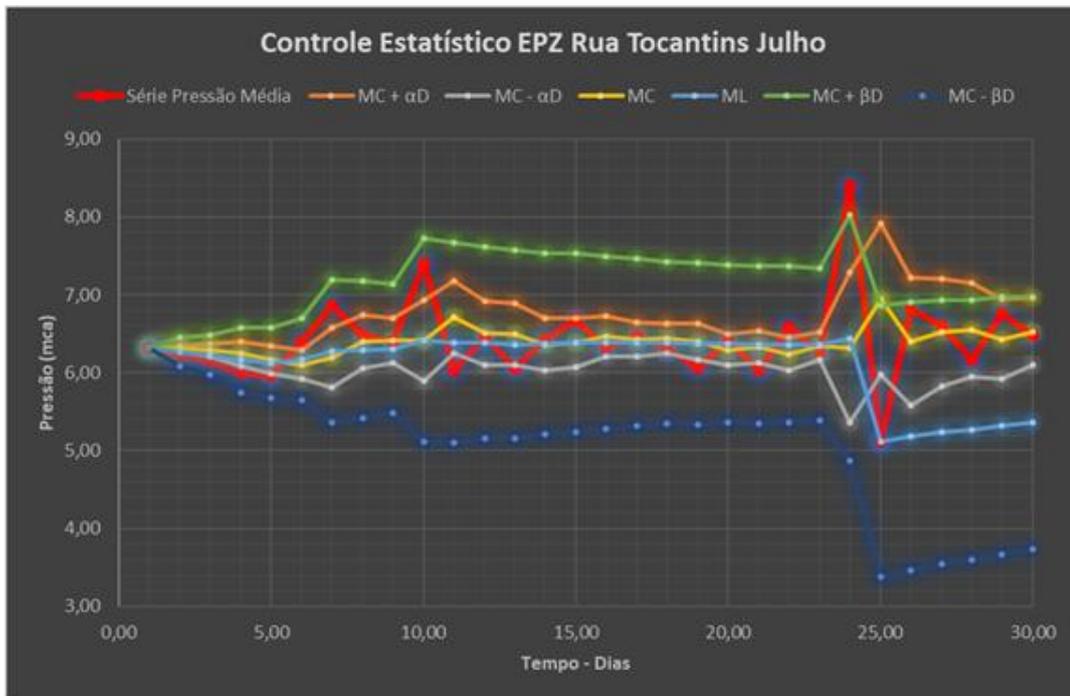


Figura D20 - Controle Estatístico UTR UN MTN novembro

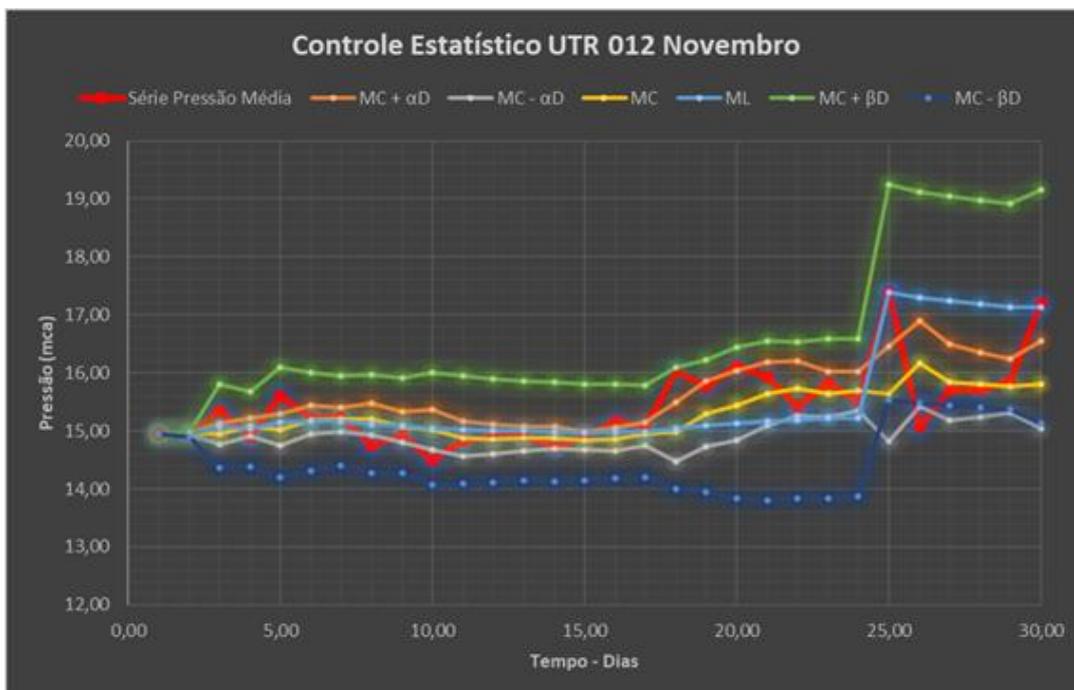


Figura D21 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTN novembro

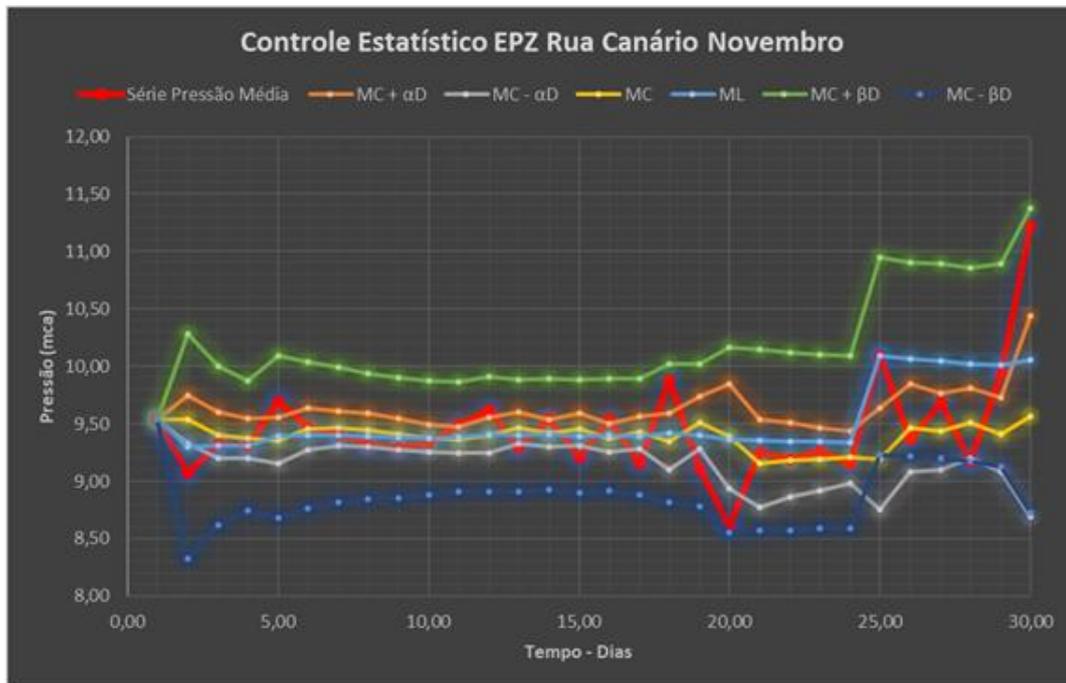
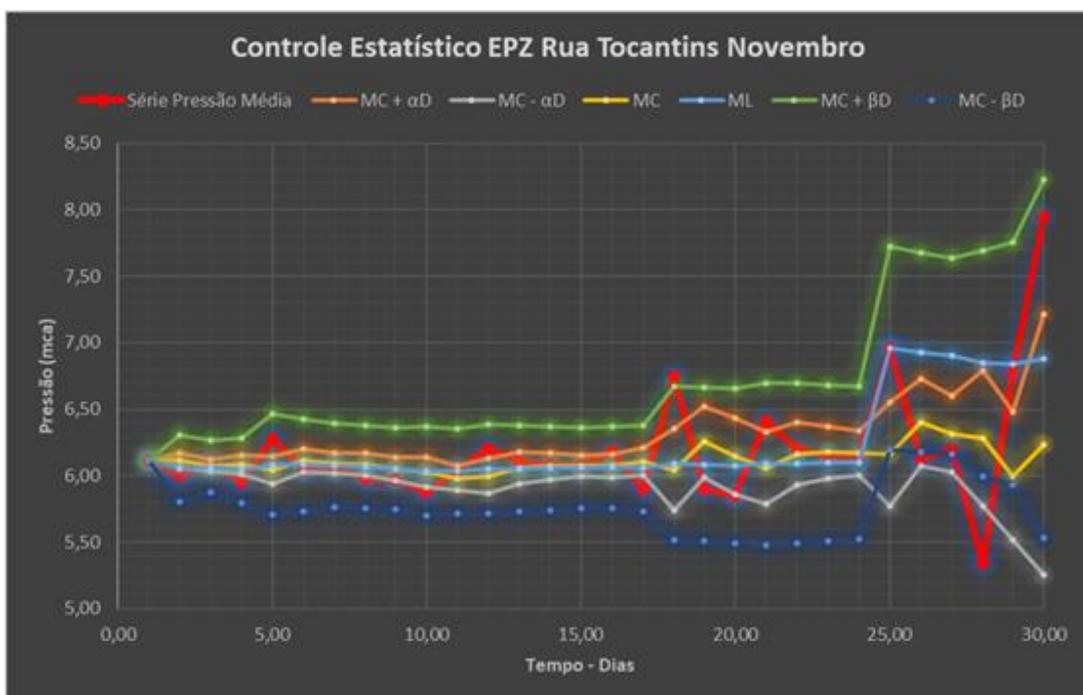


Figura D22 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTN novembro



UN MTO

Figura D23 - Controle Estatístico UTR UN MTO fevereiro

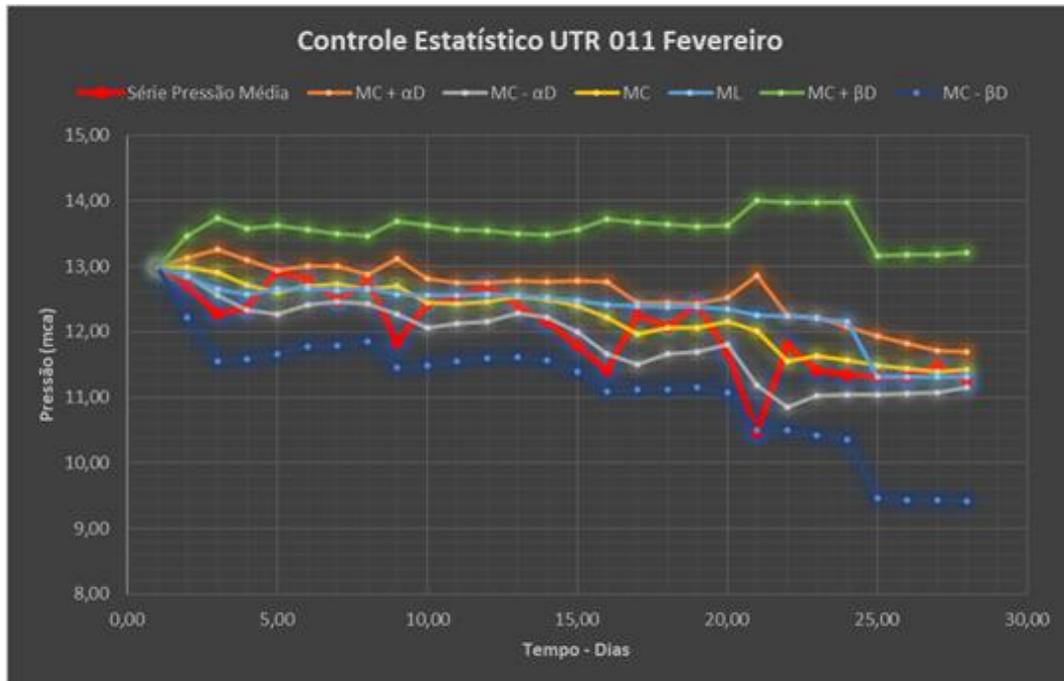


Figura D24 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTO fevereiro

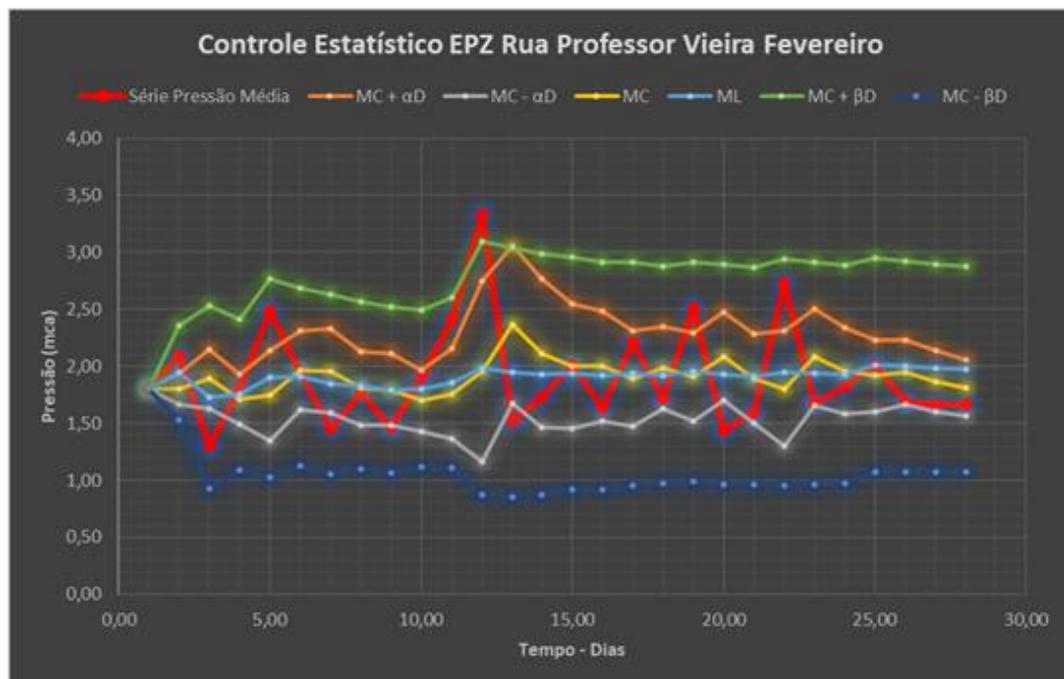


Figura D25 - Controle Estatístico UTR UN MTO Junho

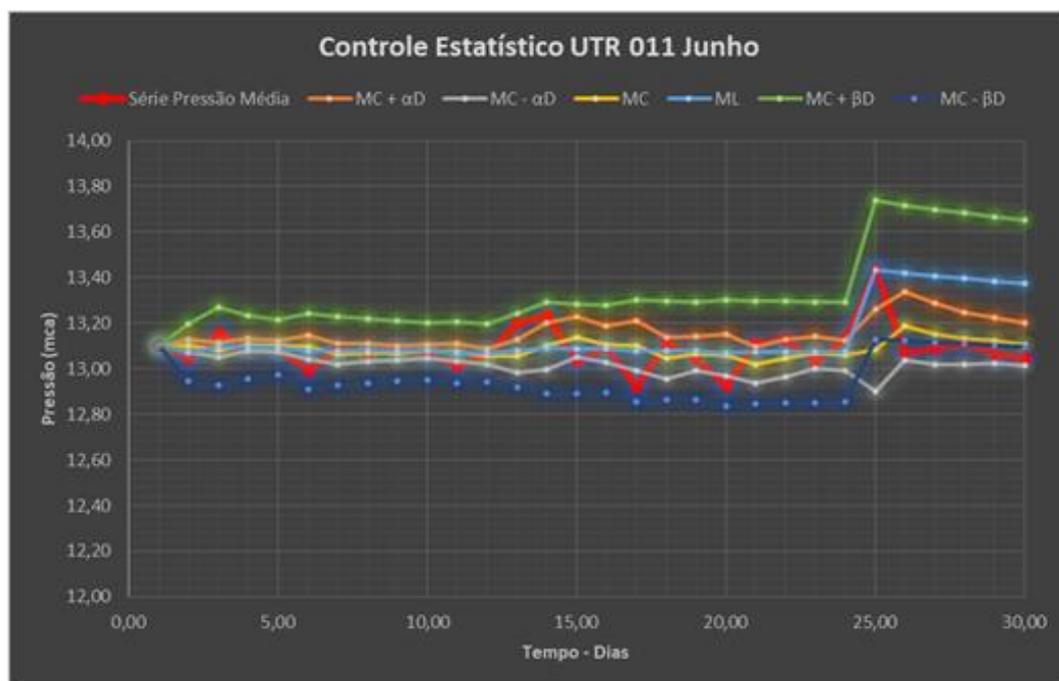


Figura D26 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTO Junho

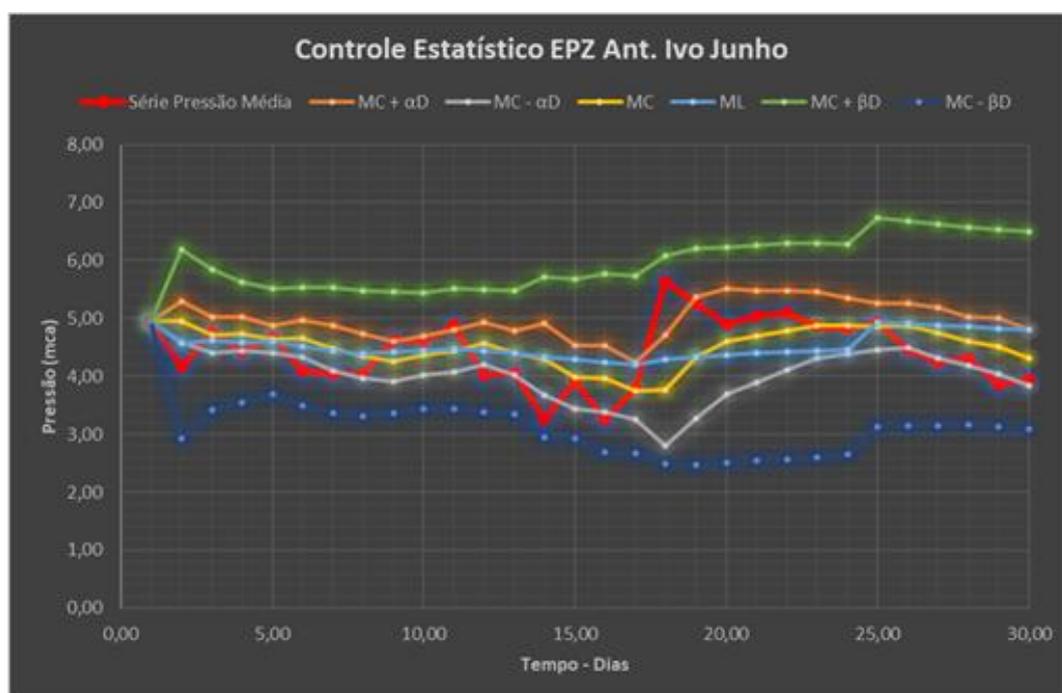


Figura D27 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTO junho

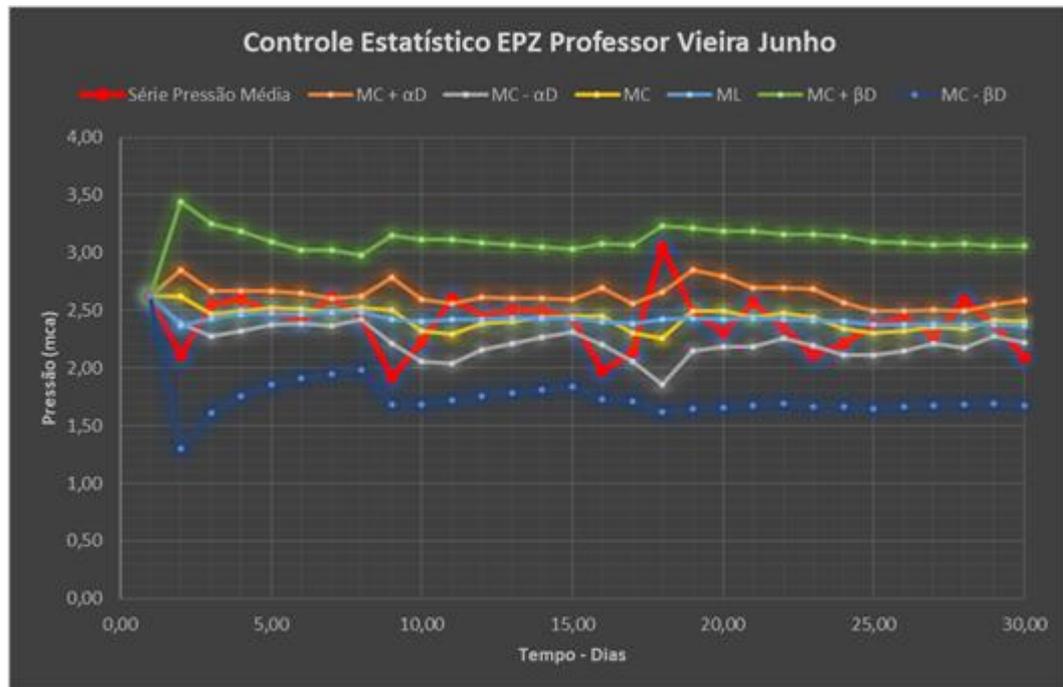


Figura D28 - Controle Estatístico UTR UN MTO Julho

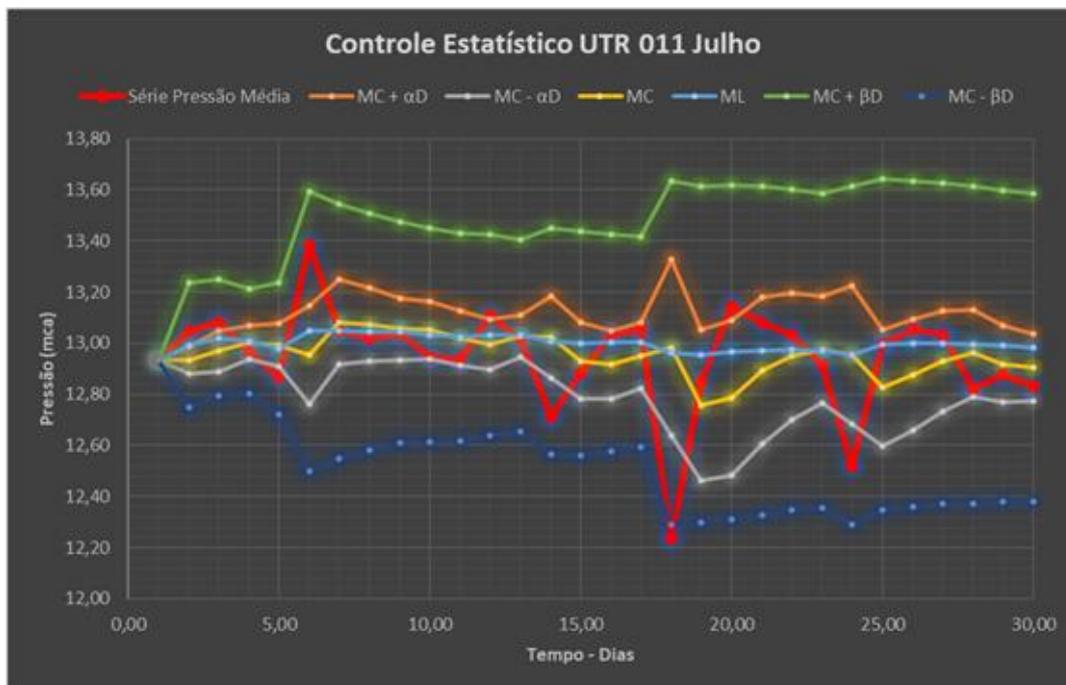


Figura D29 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTO Julho

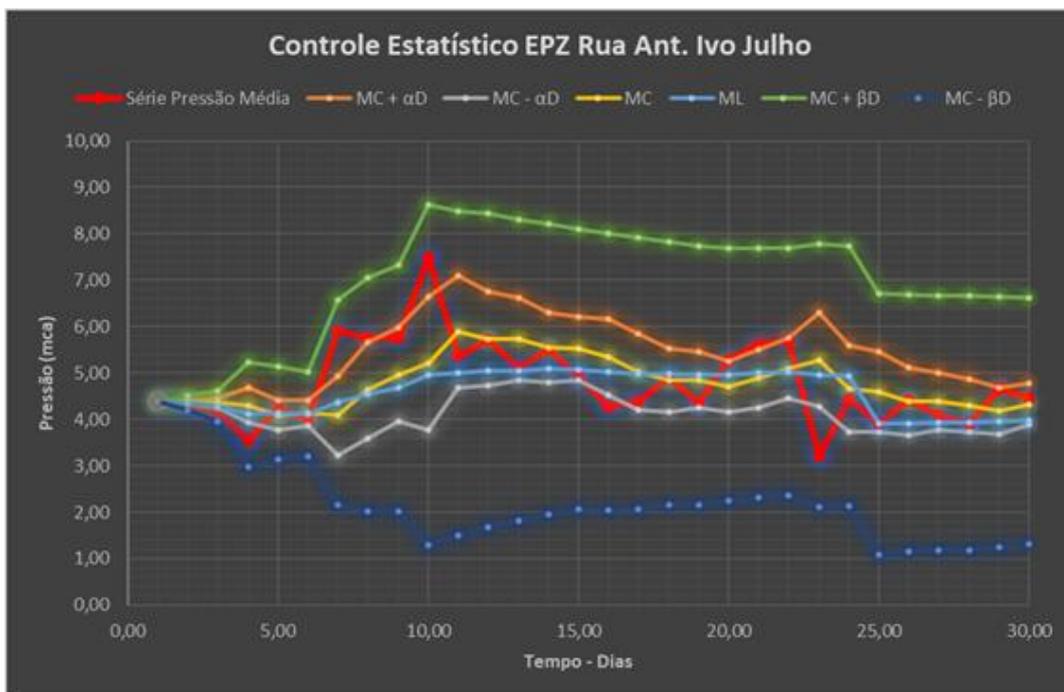


Figura D30 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTO Julho

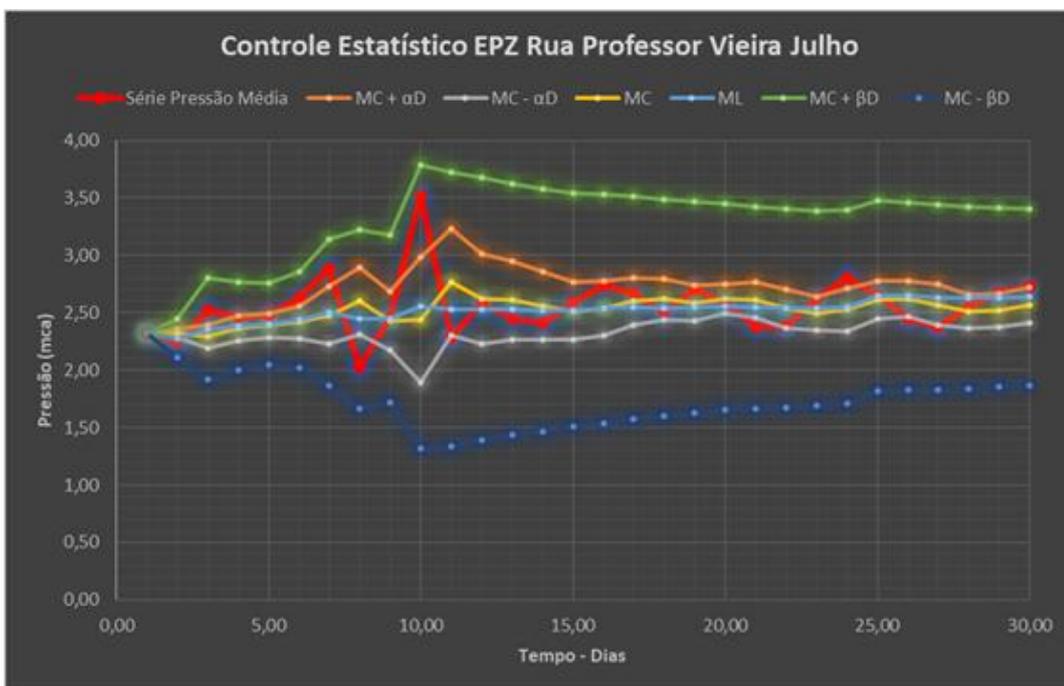


Figura D31 - Controle Estatístico UTR UN MTO novembro

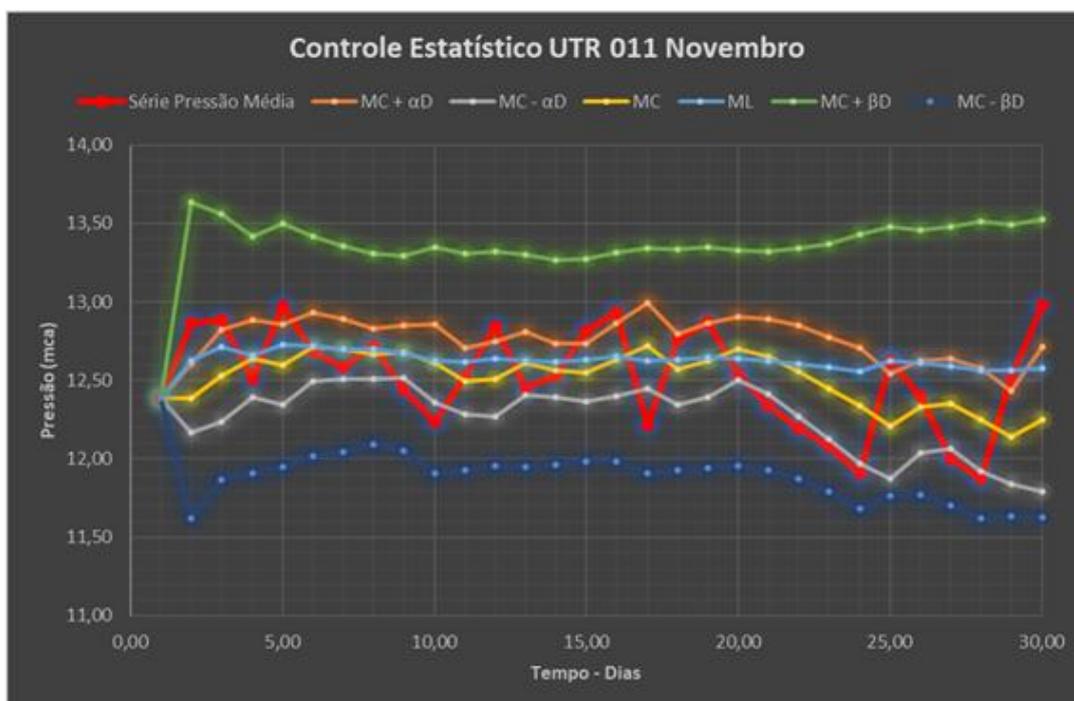


Figura D32 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTO Novembro

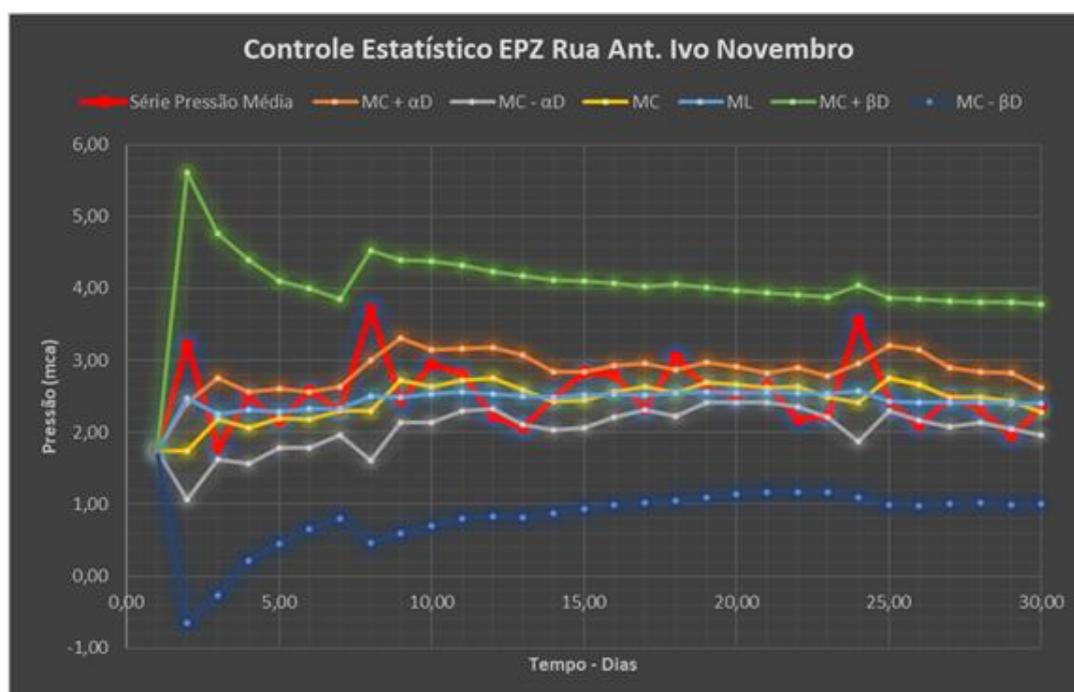
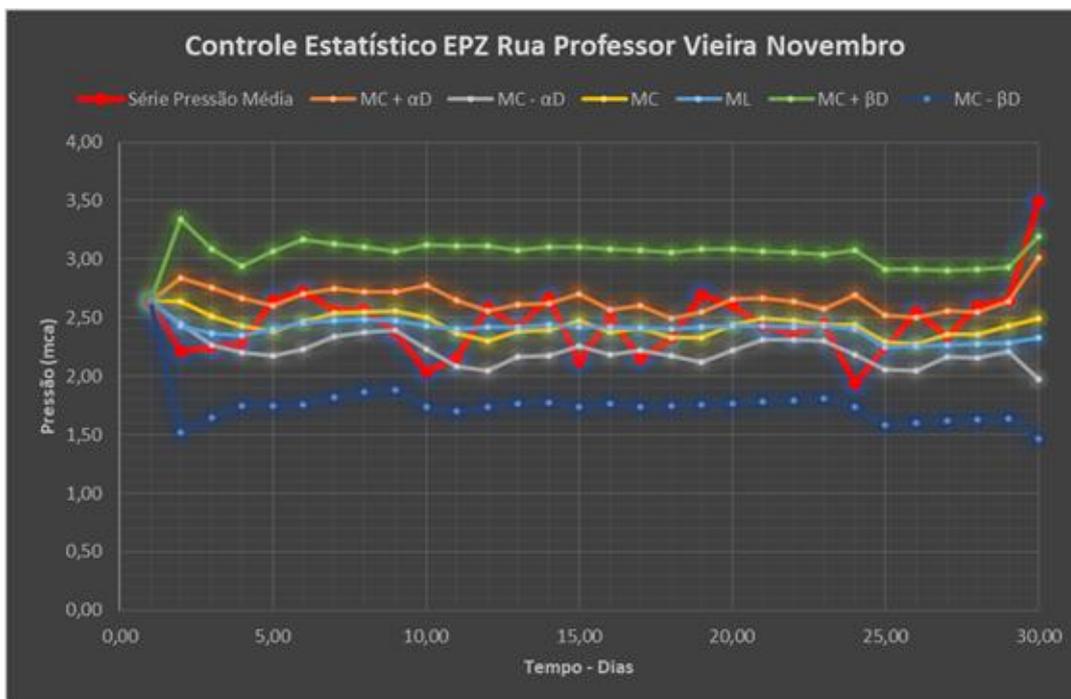


Figura D33 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTO Novembro



UN MTS

Figura D34 - Controle Estatístico UTR UN MTS fevereiro

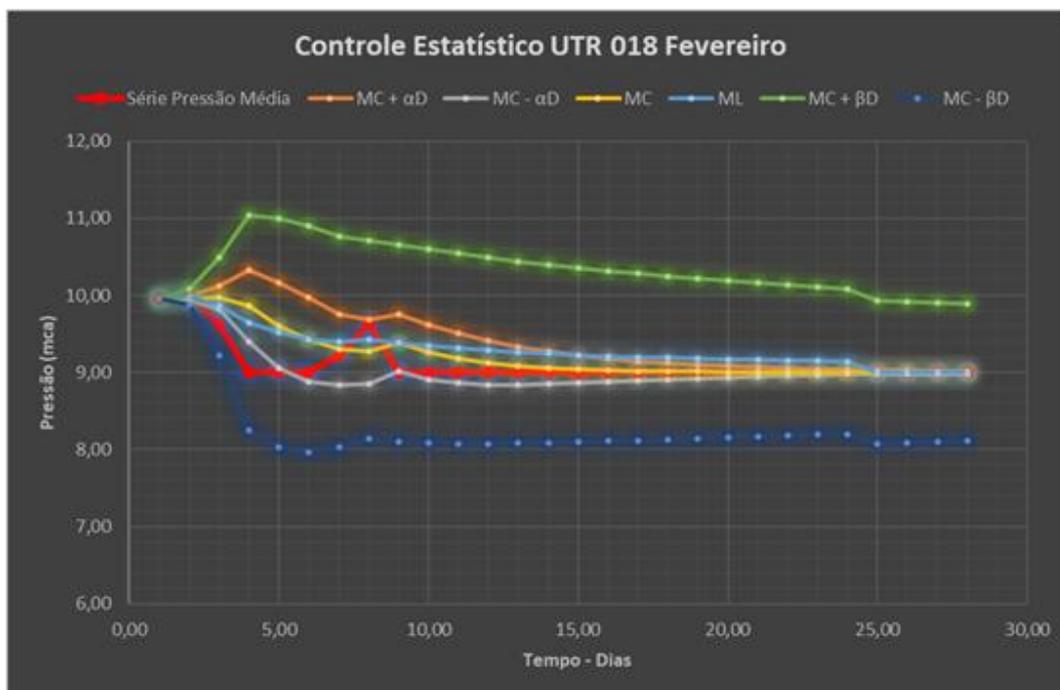


Figura D35 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTS fevereiro

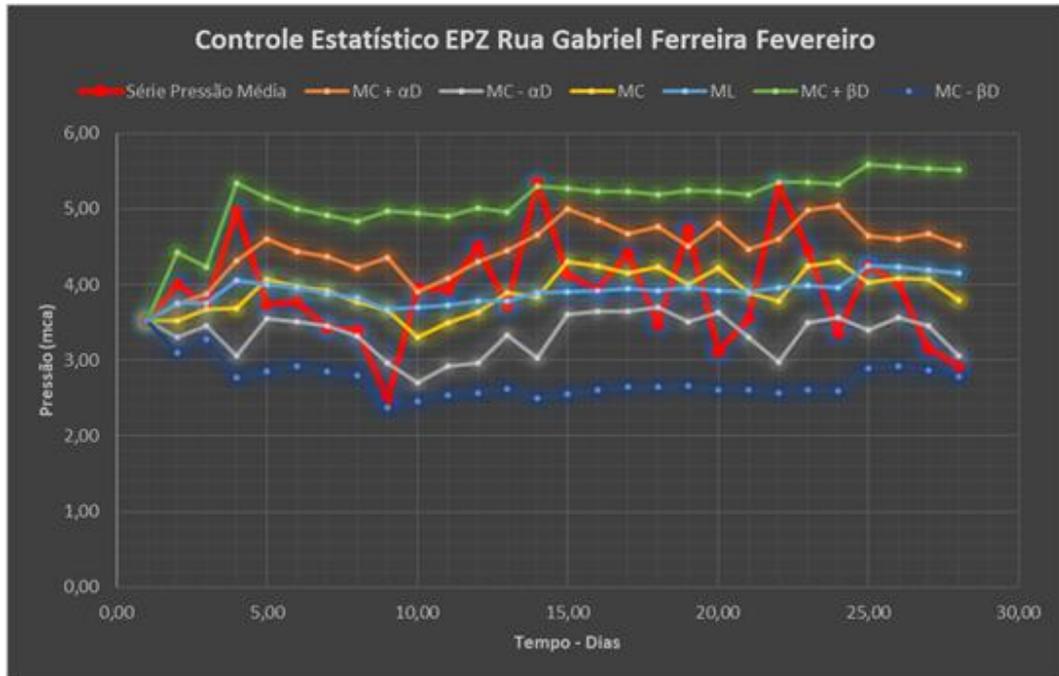


Figura D36 - Controle Estatístico UTR UN MTS junho

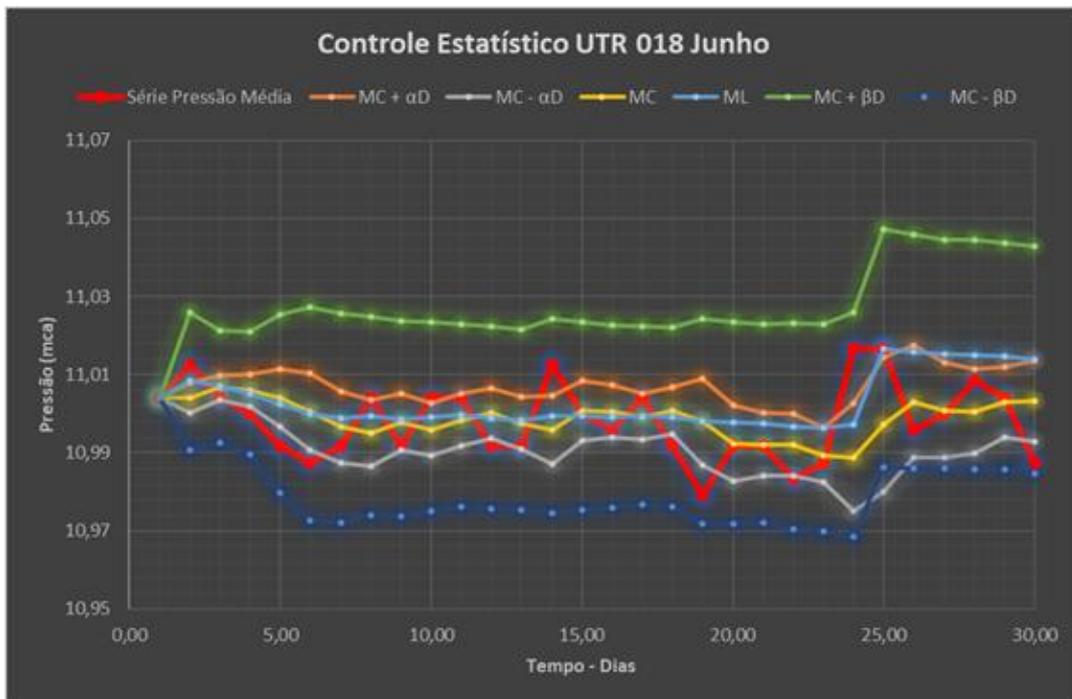


Figura D37 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTS junho

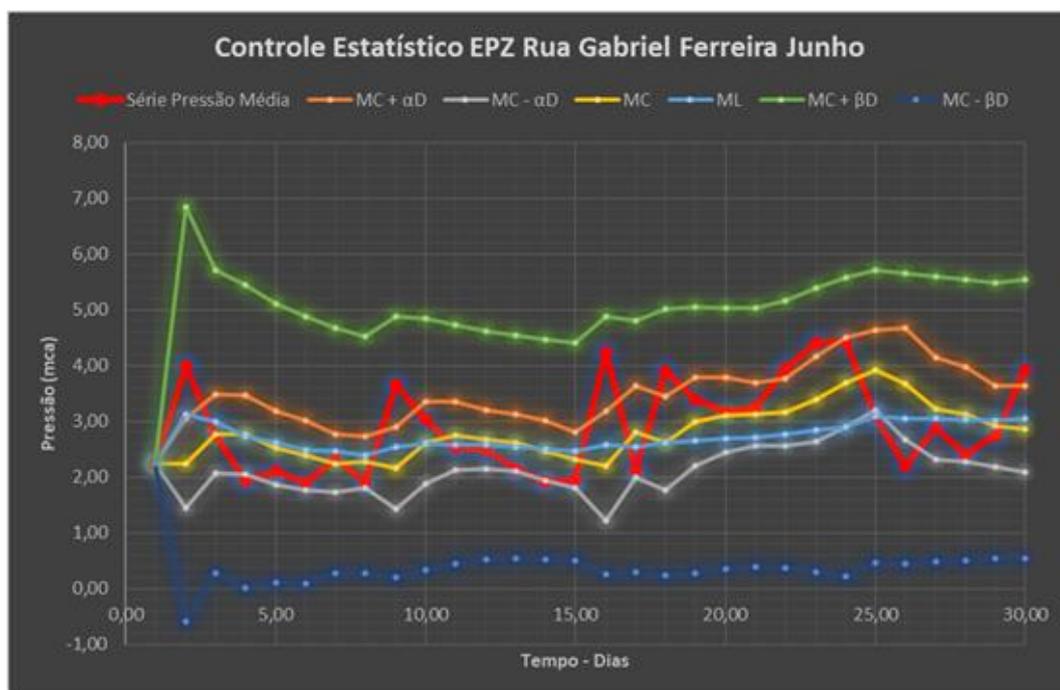


Figura D38 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTS junho

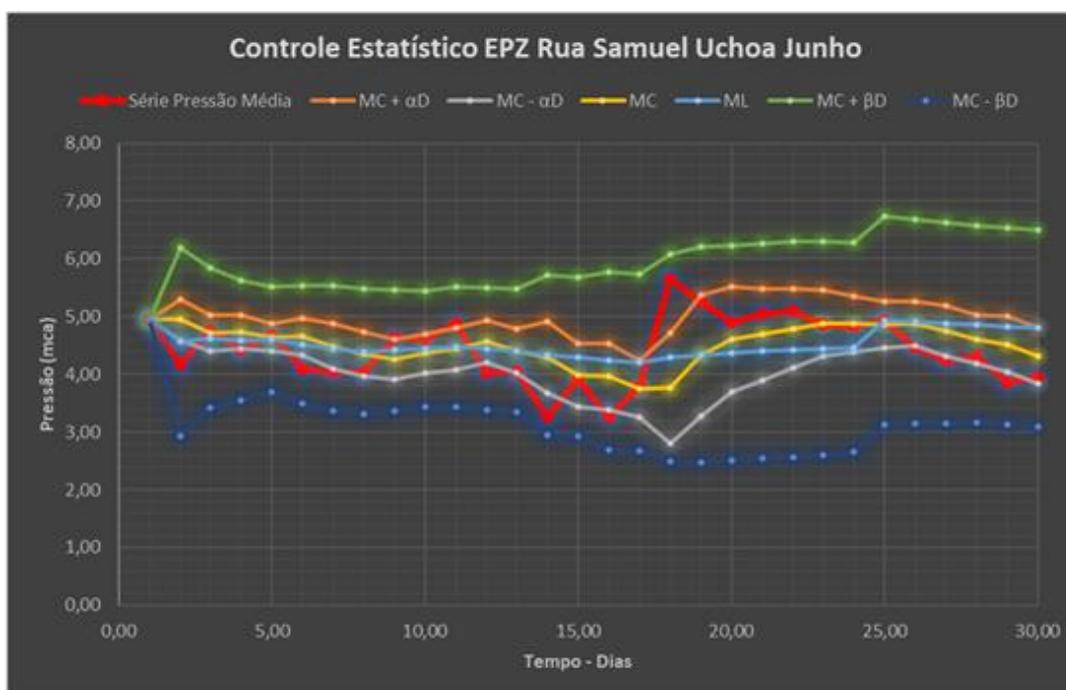


Figura D39 - Controle Estatístico UTR UN MTS julho

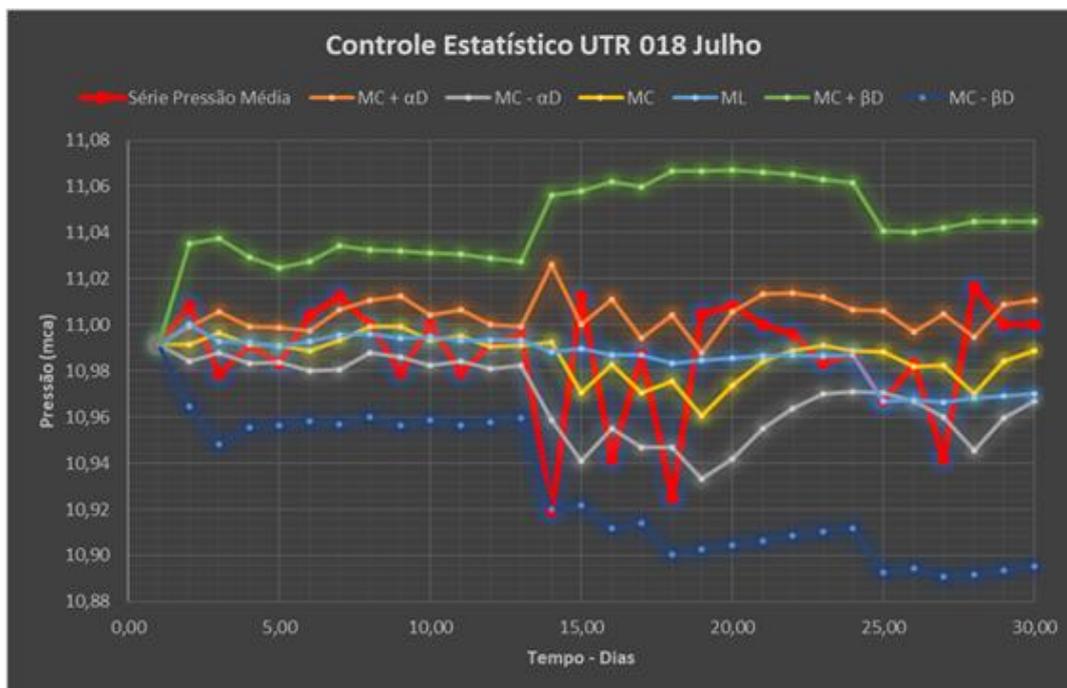


Figura D40 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTS julho

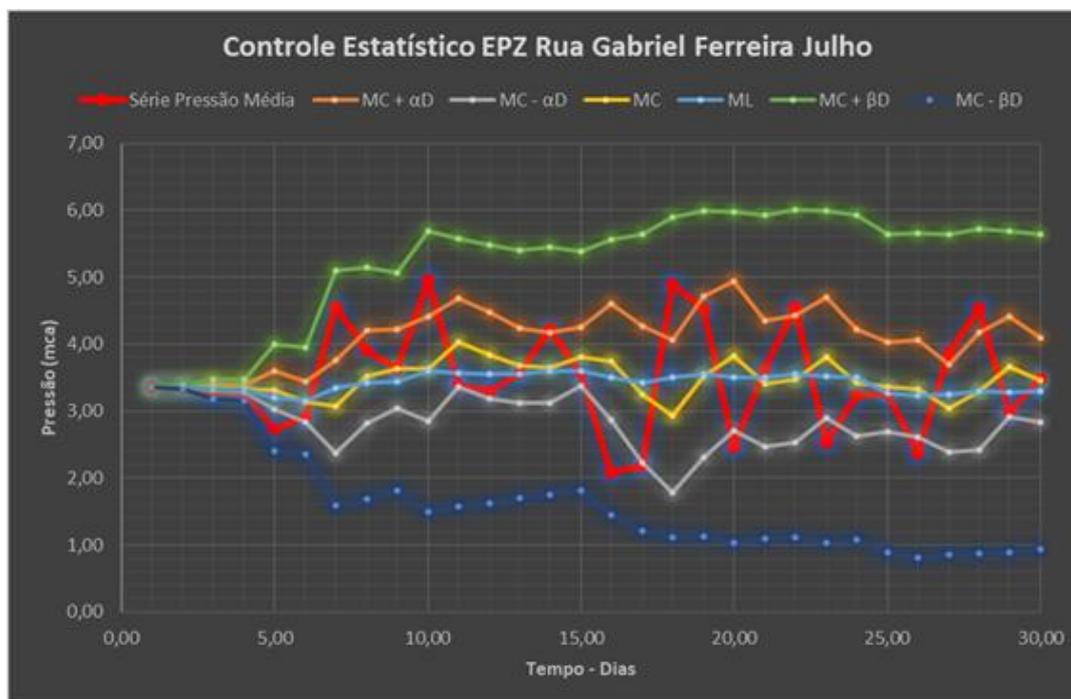


Figura D41 - Controle Estatístico EPZ 02 UN MTS julho

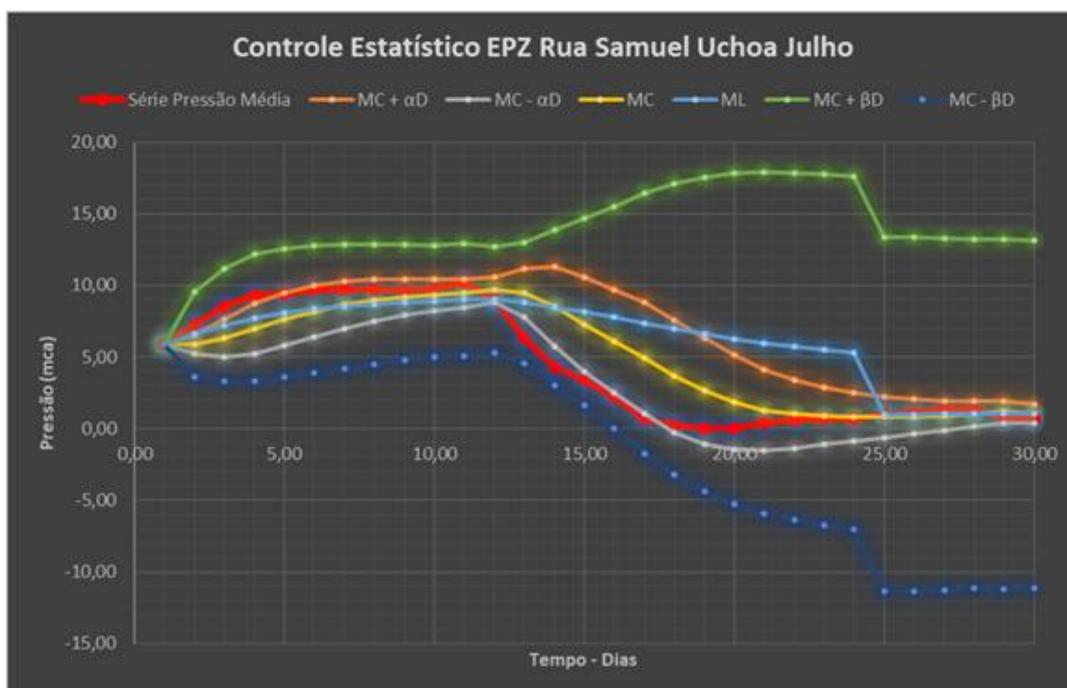


Figura D42 - Controle Estatístico UTR UN MTS Novembro

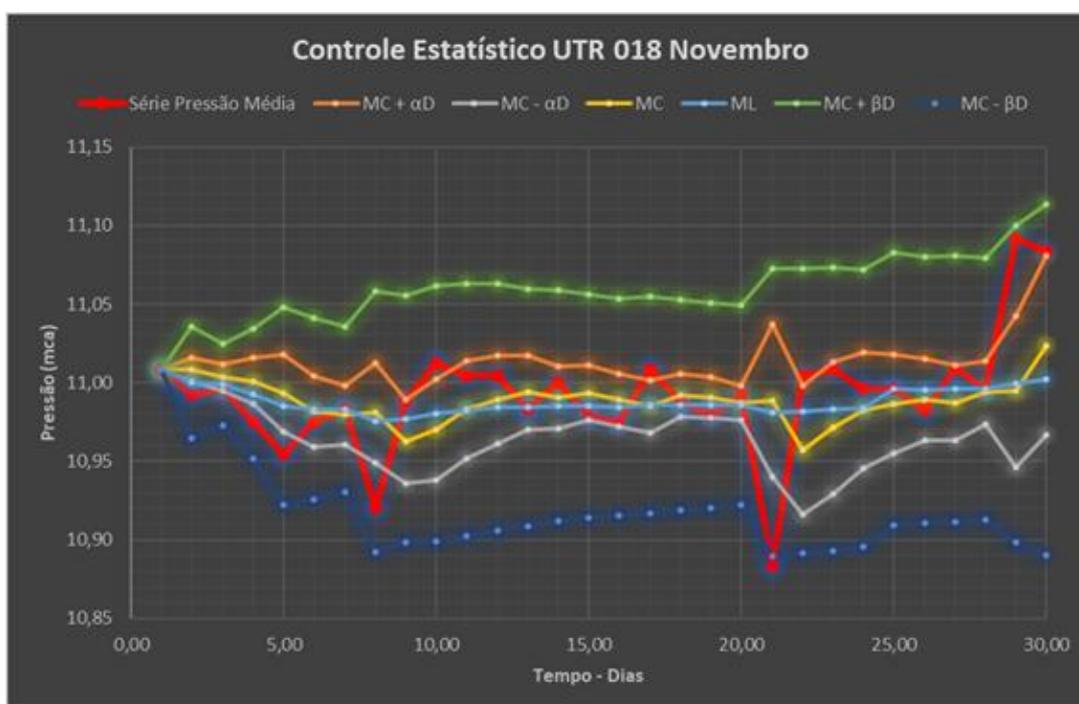


Figura D43 - Controle Estatístico EPZ 01 UN MTS novembro

