



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
CAMPUS A.C. SIMÕES
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL



EDUARDO BARBOSA DA SILVA

**ANÁLISE DE DADOS COMO SUBSÍDIO PARA MODELAGEM E OPERAÇÃO DO
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PRATAGY EM MACEIÓ/AL**

Maceió

2024

EDUARDO BARBOSA DA SILVA

**ANÁLISE DE DADOS COMO SUBSÍDIO PARA MODELAGEM E OPERAÇÃO DO
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PRATAGY EM MACEIÓ/AL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao colegiado do curso de Engenharia Civil, do
Centro de Tecnologia da Universidade Federal
de Alagoas, como requisito à obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Caramori
Borges de Souza

Coorientadora: Professora Dra. Daysy Lira
Oliveira Cavalcanti.

Maceió

2024

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Helena Cristina Pimentel do Vale CRB-4/661

- S586a Silva, Eduardo Barbosa da.
 Análise de dados como subsídio para modelagem e operação do Sistema de
 Abastecimento de Água Pratagy em Maceió-AL / Eduardo Barbosa da Silva. – 2024.
 98 f. : il.
- Orientador: Vladimir Caramori Borges de Souza.
 Coorientadora: Daysy Lira Oliveira Cavalcanti.
 Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Civil) – Universidade
 Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Maceió, 2024.
- Bibliografia: f. 62-65.
 Apêndices: f. 66-93.
 Anexos: f. 94-98.
1. Sistema de Abastecimento de água Pratagy, Maceió-AL – Séries temporais.
 2. Padrão de consumo. 3. Fator de consumo. 4. Python (Linguagem de computador).
 5. Simulador hidráulico EPANET. I. Título.

CDU: 628.1(813.5)

FOLHA DE APROVAÇÃO

AUTOR: EDUARDO BARBOSA DA SILVA

ANÁLISE DE DADOS COMO SUBSÍDIO PARA MODELAGEM E OPERAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PRATAGY EM MACEIÓ/AL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
colegiado do curso de Engenharia Civil do Centro
de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas,
como requisito à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

VLADIMIR CARAMORI
BORGES DE
SOUZA:02902933673

Assinado digitalmente por VLADIMIR CARAMORI BORGES
DE SOUZA:02902933673
ID: C=BR, O=ICP-Brasil, OU=presencial, OU=
00489828000317, OU=Secretaria da Receita Federal do
Brasil - RFB, OU=ARMPDG, OU=RFB e-CPF A3, CN=
VLADIMIR CARAMORI BORGES DE SOUZA:02902933673
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização:
Data: 2025.01.30 07:56:50-03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 2024.4.0

Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza (Orientador)
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)



Documento assinado digitalmente

DAYSY LIRA OLIVEIRA CAVALCANTI

Data: 20/01/2025 09:48:20-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Daysy Lira Oliveira Cavalcanti (Coorientadora)
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente

ADEMIR ABDALA PRATA JUNIOR

Data: 30/01/2025 11:02:08-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Externo – Prof. Dr. Ademir Abdala Prata Junior
Universidade Estadual Paulista (Unesp)



Documento assinado digitalmente

MARLLUS GUSTAVO FERREIRA PASSOS DAS NEVES

Data: 31/01/2025 23:09:54-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador Interno – Prof. Dr. Marllus Gustavo F. Passos das Neves
Universidade Federal de Alagoas (UFAL)



Documento assinado digitalmente

VALESKA CAVALCANTE DA COSTA

Data: 06/02/2025 09:22:39-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinadora Externa – M.^a Valeska Cavalcante da Costa
Companhia de Saneamento de Alagoas

Dedico esse trabalho aos meus pais José Tadeu da Silva e Terezinha Barbosa da Silva por todo amor e incentivo.

AGRADECIMENTOS

A Deus por conceder a paciência e resiliência necessária durante a difícil jornada da graduação.

A minha esposa Ana Clarissa de Moura da Silva que me acompanhou desde os primeiros semestres, me apoiou nos momentos difíceis e teve paciência, superior a minha, ao longo desses anos.

Aos meus familiares por tanto carinho e apoio ao longo da jornada.

Ao trabalho excepcional desempenhado pela minha psicóloga Clariana Rodrigues Trabuço que ajustou os meus circuitos mentais, já desestabilizados pelas disciplinas do ciclo básico. Lembro-me, na primeira oportunidade, de comunicá-la da minha decisão de trancar o curso. Em sua sabedoria, solicitou-me um pouco mais de reflexão, o que me fez seguir adiante.

Aos grandes amigos Wanderson Bruno Alcides de Moraes Silva, Diego da Silva Lima e José Santos Silva Júnior que compartilharam dos momentos mais importantes da minha vida, sobretudo durante a graduação. Aos inúmeros amigos que compartilharam a vivência na Universidade, sou grato pelo espírito colaborativo e pelos momentos de descontração pelos corredores e lanchonetes, em especial a lanchonete do Bira e a lanchonete do COS.

Aos servidores da UFAL, que tornam a Instituição referência nacional. Desde os colaboradores responsáveis pela limpeza, pelos responsáveis pelo restaurante universitário, pela biblioteca e pelos laboratórios. Agradeço aos professores que compartilharam seus conhecimentos ao longo do curso, apontando os caminhos do aprendizado e nos posicionando quanto à atuação profissional. Um agradecimento especial ao Professor Dr. Vladimir Caramori e a Professora Dra. Daysy Cavalcanti pela orientação nesse trabalho, trazendo luz aos caminhos tortuosos da pesquisa e desenvolvimento de ferramentas computacionais relacionadas aos Sistemas de Abastecimento de Água.

Agradeço a Companhia de Saneamento de Alagoas pela disponibilização dos dados, fundamentais ao desenvolvimento deste trabalho. Em específico, agradeço aos colaboradores da Central de Controle Operacional da Região Metropolitana de Maceió pelos dois anos de experiências trocadas durante o tempo em que exerci a função de Controlador de Sistemas de Abastecimento de Água. Agradeço a todos os colaboradores da Companhia que, direta ou indiretamente me possibilitaram enfrentar tamanho desafio.

“Rios secam!”

(Curta e profunda reflexão do Professor Dr. Valmir Pedrosa ao longo das discussões na disciplina Hidrologia, indicando que até os mais caudalosos mananciais podem exaurir suas fontes diante da má gestão dos recursos naturais).

(PEDROSA, Valmir)

RESUMO

SILVA, E. B. **Análise de dados como subsídio para modelagem e operação do sistema de abastecimento de água Pratagy em Maceió/AL.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia. Maceió, 2024.

O presente trabalho concentra-se no estudo da operação do sistema de abastecimento de água (SAA) Pratagy localizado em Maceió, Alagoas. O controle operacional é fundamental para o equilíbrio entre o volume produzido e a demanda por água em cada área de abastecimento. A operação com base em regras obtidas a partir da análise dos dados traz ganhos para as companhias de abastecimento e para a sociedade, justificando o emprego de ferramentas que contribuam para a racionalização de recursos empregados na produção e distribuição de água. Nesse contexto, foi desenvolvida uma aplicação em Python para determinação do padrão de consumo em distintas áreas de abastecimento. Conhecido o padrão de consumo, utilizou-se a ferramenta EPANET para a construção do modelo hidráulico e determinação da regra operacional para cada reservatório. Por fim, as simulações foram estendidas para o modelo geral do SAA, de forma a determinar a vazão horária demandada em cada parte do Sistema integrado e as pressões atuantes nas adutoras.

Palavras-chave: Séries temporais; Padrão de consumo; Fator de consumo; Python; Epanet.

ABSTRACT

SILVA, E. B. **Data analysis as a basis for modeling and operation of the Pratagy water supply system in Maceió/AL.** Undergraduate Thesis. Federal University of Alagoas, Technology Center. Maceió, 2024.

The present study focuses on the operation of the Pratagy Water Supply System (WSS) located in Maceió, Alagoas. Operational control is essential to balance the volume of water produced with the demand in each supply area. Operating based on rules derived from operational data analysis brings benefits to water supply companies and society, justifying the use of tools that contribute to the rationalization of resources employed in water production and distribution. In this context, a Python application was developed to determine the consumption patterns in different supply areas. Once the consumption pattern was identified, the EPANET tool was used to build the hydraulic model and establish the operational rule for each reservoir. Finally, the simulations were extended to the general model of the WSS to determine the hourly flow demand in each part of the integrated system and the pressures acting on the main pipelines.

Keywords: Time series; Consumption pattern; Consumption factor; Python; Epanet.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Chuva Média Mensal em Maceió no período de 1960 a 2016 (mm).....	20
Figura 2 – Elementos Físicos do Modelo de um Sistema de Abastecimento de Água	23
Figura 3 – Modelo de Sistema de Abastecimento de Água com Entrada do Fluxo de Água no Reservatório pela Parte Superior	24
Figura 4 – Mapa de localização dos bairros abastecidos pelo Sistema Pratygy	28
Figura 5 – Diagrama Simplificado do Sistema Pratygy e Integração com o Sistema Cardoso	29
Figura 6 – Fluxograma da Aplicação em Python Pratygy-Módulo1	32
Figura 7 – Exemplo de Gráfico Gerado para as Séries Temporais de Fator de Consumo Diário	36
Figura 8 – Exemplo de Gráfico Gerado para as Séries Temporais de Fator de Consumo Reunidos Mensal	37
Figura 9 – Exemplo de Gráfico Gerado para o Consumo Base Mensal.....	37
Figura 10 – Fluxograma da Aplicação em Python Pratygy-Módulo2	38
Figura 11 – Exemplo de Gráfico Gerado para o Consumo Base por Período.....	41
Figura 12 – Exemplo de Gráfico Gerado para o Fator de Consumo por Dia	41
Figura 13 – Exemplo de Gráfico Gerado para o Padrão de Consumo por Período.....	42
Figura 14 – vista aérea da ETA Josué Palmeira com a localização do tanque de contato e da caixa de passagem de saída de água tratada	46
Figura 15 – Diagrama do Sistema Integrado Pratygy	47
Figura 16 – Esquema do Sistema Isolado do Reservatório Benedito Bentes.....	50
Figura 17 – Esquema do Sistema Isolado do reservatório R4A	51
Figura 18 – Nível do Reservatório Benedito Bentes Conforme Simulação para Dias Comuns	55
Figura 19 – Nível do Reservatório Benedito Bentes Conforme Simulação para Finais de Semana	56
Figura 20 – Nível do Reservatório R1 Conforme Simulação para Dias Comuns	56
Figura 21 – Nível do Reservatório R1 Conforme Simulação para Finais de Semana	57
Figura 22 – Nível do Reservatório R4A Conforme Simulação para Dias Comuns	58
Figura 23 – Nível do Reservatório R4A Conforme Simulação para Finais de Semana.....	59
Figura 24 – Consumo base - Benedito Bentes - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns	84

Figura 25 – Consumo base - Benedito Bentes - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana.....	84
Figura 26 – Consumo base - R1 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns.....	85
Figura 27 – Consumo base - R1 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana	85
Figura 28 – Consumo base - R2a - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns.....	86
Figura 29 – Consumo base - R2a - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana	86
Figura 30 – Consumo base - R2 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns.....	87
Figura 31 – Consumo base - R2 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana	87
Figura 32 – Consumo base - R4 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns.....	88
Figura 33 – Consumo base - R4 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana	88
Figura 34 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média - Benedito Bentes - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns.....	89
Figura 35 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média - Benedito Bentes - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana	89
Figura 36 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média - R1 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns	90
Figura 37 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média - R1 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana	90
Figura 38 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média – R2a - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns	91
Figura 39 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média – R2a - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana	91
Figura 40 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média - R2 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns	92
Figura 41 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média - R2 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana	92

Figura 42 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média - R4 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns	93
Figura 43 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média – R4 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana	93
Figura 44 – Reservatórios em Planta de Corte	94

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Equações de cálculo dos volumes dos reservatórios	30
Quadro 2 – Nomenclaturas dos títulos das colunas dos arquivos importados.....	33
Quadro 3 – Planilhas produzidas para aplicação em Python.....	36
Quadro 4 – Dados dos Elementos do Sistema Integrado Pratagy	48
Quadro 5 – Dados dos Elementos do Sistema Isolado do Reservatório Benedito Bentes	50
Quadro 6 – Dados dos Elementos do Sistema Isolado do Reservatório R4A	51
Quadro 7 – Controle das Válvulas do Tipo FCV	54
Quadro 8 – Padrão de Operação das Bombas – (agosto a novembro de 2023).....	54
Quadro 9 – Configurações dos Nós que possuem Consumo.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos Reservatórios	30
Tabela 2 – Características das bombas	31
Tabela 3 – Padrão de Consumo – (agosto a novembro de 2023)	43
Tabela 4 – Consumo Base (m ³ /h) – (agosto a novembro de 2023)	45
Tabela 5 – Coordenadas dos elementos do Sistema Pratygy e Integração com o Sistema Cardoso	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SAA	Sistema de Abastecimento de Água
EEAB	Estação Elevatória de Água Bruta
RMM	Região Metropolitana de Maceió
CCOP	Central de Controle Operacional
ETA	Estação de Tratamento de Água
CASAL	Companhia de Saneamento de Alagoas
RDA	Rede de Distribuição de Água
RNV	Reservatórios de Nível Variável
DMC	Distritos de Medição e Controle
RNF	Reservatórios de Nível Fixo
FCV	Válvula Reguladora de Vazão
PSV	Válvula Sustentadora de Pressão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	18
2.2	MODELAGEM DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	22
2.3	ESTUDOS DE CASO E APLICAÇÕES RELEVANTES.....	25
3	METODOLOGIA.....	27
3.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	27
3.2	DESENVOLVIMENTO DAS APLICAÇÕES EM PYTHON.....	31
3.2.1	Módulo 1 da aplicação em python.....	31
3.2.1.1	<i>Definição das variáveis (níveis e vazões dos reservatórios)</i>	<i>32</i>
3.2.1.2	<i>Escolha do reservatório e período de análise</i>	<i>33</i>
3.2.1.3	<i>Carregamento dos arquivos de dados</i>	<i>33</i>
3.2.1.4	<i>Cálculo de consumo</i>	<i>34</i>
3.2.1.5	<i>Geração de resumos e gráficos.....</i>	<i>35</i>
3.2.1.6	<i>Separação dos dias úteis e finais de semana</i>	<i>35</i>
3.2.1.7	<i>Exportação dos resultados.....</i>	<i>35</i>
3.2.2	Módulo 2 da aplicação em python.....	38
3.2.2.1	<i>Definição das variáveis e opções de entrada.....</i>	<i>39</i>
3.2.2.2	<i>Carregamento dos arquivos de csv.....</i>	<i>39</i>
3.2.2.3	<i>Transpor os dados.....</i>	<i>39</i>
3.2.2.4	<i>ConcatenarDataFrames</i>	<i>39</i>
3.2.2.5	<i>Calcular z-scores</i>	<i>39</i>
3.2.2.6	<i>Identificação e remoção dos outliers.....</i>	<i>40</i>
3.2.2.7	<i>Geração dos DataFrames finais limpos</i>	<i>40</i>
3.2.2.8	<i>Exportação dos resultados.....</i>	<i>40</i>
3.3	PADRÕES DE CONSUMO E CONSUMO BASE.....	42
3.4	MODELAGEM DO SISTEMA NO EPANET	45
3.5	SIMULAÇÃO COM AUXÍLIO DO EPANET.....	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	55

4.1	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES	55
4.1.1	Benedito Bentes.....	55
4.1.2	R1.....	56
4.1.3	R2.....	57
4.1.4	R2A.....	57
4.1.5	R4A.....	58
4.1.6	Booster R6A e <i>Booster</i> Jacintinho.....	59
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	59
5.1	CONCLUSÕES.....	59
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	61
	REFERÊNCIAS.....	62
	APÊNDICE A	66
	APÊNDICE B.....	67
	APÊNDICE C	76
	APÊNDICE D	83
	APÊNDICE E.....	84
	ANEXO A.....	94
	ANEXO B	96

1 INTRODUÇÃO

A operação de sistemas de abastecimento de água (SAA) visa a assegurar o atendimento à demanda populacional, direcionando o líquido em quantidade e qualidade a estabelecimentos públicos, comerciais, industriais e residenciais. Em grandes centros urbanos é comum que os sistemas sejam integrados, implicando numa relação de interdependência no abastecimento de áreas distintas. O gerenciamento do fluxo pode ser atribuído a Centrais de Controle Operacional, em que os Controladores tomam decisões com base em dados de telemetria e realizam manobras de forma remota.

Nesse contexto, a Central de Controle Operacional - CCOP – da Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) – recebe as informações advindas de todos os Sistemas Produtores de 10 municípios da Região Metropolitana de Maceió – RMM. A Central monitora e controla o SAA Pratygy desde a Estação Elevatória de Água Bruta - EEAB até os pontos de entrega para a empresa responsável pela distribuição, onde foram instalados macromedidores.

Como o sistema é integrado, cabe à CCOP gerenciar o fluxo de modo a atender as demandas de consumo, evitar o extravasamento dos reservatórios e assegurar que os níveis variem entre o mínimo e o máximo projetado. O cenário ideal de operação é aquele em que o volume produzido é compatível com o consumo populacional de tal forma que os níveis nos reservatórios estejam de acordo com o planejado. Diversas são as intercorrências que podem influenciar o Sistema, exigindo que o Controlador tome decisões e realize manobras diante do cenário imposto.

O trabalho desenvolvido por Vicente (2005) propõe um modelo de operação para centros de controle de sistemas de abastecimentos de água e realiza um estudo de caso de operação em tempo real de um sistema adutor complexo. O modelo proposto fornece dados para suporte à decisão ao tempo em que fomenta a operação automática com supervisão de controladores.

Segundo Zahed (1990), uma maior eficiência e confiabilidade são obtidas com a operação automática do Sistema de Abastecimento de água. Na operação automática, o operador passa a atuar como supervisor do sistema e as tarefas repetitivas são minimizadas, permitindo, com isso, que o colaborador possa atuar de maneira crítica frente ao cenário enfrentado. Quando a operação não é automática, os critérios de operação não são explícitos, variando de acordo com a experiência e o comportamento de cada operador.

Nazaré (2012) enfatiza que as ações de otimização na operação de sistemas de abastecimento de água geram reflexos na melhoria da qualidade da água, na confiabilidade do

sistema, na redução do custo operacional, trazendo ganhos econômicos, financeiros, ambientais e sociais.

Vicente (2005) destaca que em um sistema onde não há limitações físicas, o problema de otimização se resume ao atendimento da demanda de água através da adução da vazão média em cada reservatório setorial.

Em meio à complexidade da operação do SAA Pratygy, foi identificada oportunidade de melhoria ao trabalho exercido pela CCOP por meio do uso de ferramentas computacionais, como a linguagem de programação *Python* e o *software EPANET*, para realizar simulações e estabelecer regras operacionais que norteiem as ações de acordo com cenários mapeados.

O presente trabalho delimita-se ao estudo do Sistema Pratygy, desde a caixa de passagem de saída de água tratada da estação de tratamento de água (ETA) até os reservatórios associados aos pontos de entrega da água à Concessionária responsável pela distribuição de água. Propõe, ainda, a concepção de ferramentas para análise e tomada de decisão para melhoria da operação do Sistema Pratygy. As simulações com o modelo hidráulico contribuirão para estudos futuros da operação do SAA e para a análise da eficiência energética, fomentando planos de manutenção e melhorias que reduzam perdas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa teve como objetivo desenvolver e aplicar ferramentas, a partir da análise de dados históricos de referência, para modelar, simular e estabelecer regras de operação para o sistema de abastecimento de água Pratygy.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver aplicações em *Python* para cálculo do volume consumido pela rede, do padrão de consumo e do consumo base para cada área de abastecimento.
- Construir modelo do Sistema Pratygy utilizando o *EPANET*
- Determinar as regras operacionais e verificar o atendimento da demanda de consumo das áreas de abastecimento do Sistema Pratygy, considerando a máxima produção possível da ETA Josué Palmeira, para o período em análise.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

De acordo com a Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021 o sistema de abastecimento de água para consumo humano (SAA) é definido como a instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição.

A água bruta proveniente de mananciais subterrâneos ou superficiais, via de regra, apresenta qualidade incompatível com o consumo humano. Dessa forma, faz-se necessário direcionar o fluxo dos mananciais até estações de tratamento de água (ETA), onde processos físico-químicos tornam a água potável.

As ETAs foram criadas para remover os riscos presentes nas águas das fontes de abastecimento, por meio de uma combinação de processos e de operações de tratamento. A seleção da tecnologia deve satisfazer três conceitos fundamentais: múltiplas barreiras, que considera haver mais de uma etapa de tratamento; tratamento integrado associando barreiras; tratamento por objetivos que sugere que cada etapa do tratamento reduz um tipo de risco específico (DI BERNARDO e SABOGAL, 2008).

A concepção de um SAA pode variar, mas em geral, o fluxo sai da ETA e segue por adutoras até os reservatórios e de lá para a rede de distribuição de água (RDA). Quando a topografia não favorece o abastecimento por gravidade, a água é aduzida para reservatórios elevados. Netto et al (1975) definem estações elevatórias, casas de bombas e “*boosters*” como instalações de mesma natureza destinadas a abrigar conjuntos de recalque e dispositivos complementares. Os autores especificam que nas instalações do tipo “*booster*” não existe poço de sucção, porque a água que é encaminhada para a entrada da bomba provém da tubulação sob pressão.

As principais finalidades dos reservatórios de distribuição são regularizar a vazão, assegurar o abastecimento, prover reserva de água para incêndio, regularizar as pressões, além de permitir o bombeamento de água fora do horário de pico elétrico e possibilitar o aumento do rendimento dos conjuntos elevatórios (TSUTIYA, 2006).

Garcez (1976) classifica os reservatórios de acordo com a localização no sistema de abastecimento (reservatório de montante e reservatório de jusante) e de acordo com a localização no terreno. No último caso, os reservatórios podem ser do tipo apoiados, enterrados, semi-enterrados, “*stand-pipes*” ou reservatórios elevados.

A operação de sistemas de abastecimento de água constitui-se na principal ação de gestão de empresas de saneamento, influenciando diretamente na qualidade do sistema de abastecimento em termos sanitários, ambientais, econômicos e sociais. O autor enfatiza que a possibilidade da deterioração da qualidade no trajeto entre a ETA e o consumidor final tem levado a órgãos estatais de muitos países a investirem no desenvolvimento de técnicas avançadas de análises e controles de abastecimento de água (GOMES, 2019).

A eficiência do sistema de abastecimento de água pode ser mensurada pela adequação das vazões e pressões disponíveis aos pontos de consumo, pela garantia da água potável fornecida ao consumidor, pela intermitência ou não do abastecimento, pelos níveis de perdas de água e pelo uso racional da energia (GOMES, 2019).

Na operação de reservatórios devem ser considerados alguns valores limites para nível, que podem influenciar na tomada de decisão pela abertura/fechamento de válvulas ou pelo acionamento ou desligamento de bombas. Tais limites são conceituados por Tsutiya (2006):

- limite baixo: nível mínimo do reservatório para que não haja formação de vórtice, entrada de ar na tubulação de saída, ou mal funcionamento na tubulação de saída, ou mal funcionamento da elevatória (se houver);
- limite alto: nível máximo do reservatório para que haja tempo hábil de manobra, evitando que a água atinja o extravasor ou que a boia de segurança seja acionada;
- limite de boia: nível d'água a partir do qual é acionado o dispositivo de uma boia que atua localmente no fechamento da válvula de controle do reservatório, independente da atuação de um operador, sendo que a boia é considerada um recurso de segurança extrema;
- limite de extravasamento: lâmina d'água a partir da qual começa haver perda d'água pelo sistema de extravasamento.

Destaca-se que o volume nominal é o volume definido entre o fundo do reservatório e o nível de extravasamento. O volume útil é definido entre o limite baixo e o limite alto e a folga é determinada pela diferença entre o limite da boia e o limite alto.

Para a otimização dos reservatórios com o objetivo de melhorar a distribuição de água, aproveitar ao máximo a capacidade de reserva e dar segurança operacional ao sistema, são necessários estabelecer os limites operacionais de segurança e as regras operacionais (TSUTIYA, 2006). As regras operacionais para operação de reservatórios objetivam a redução

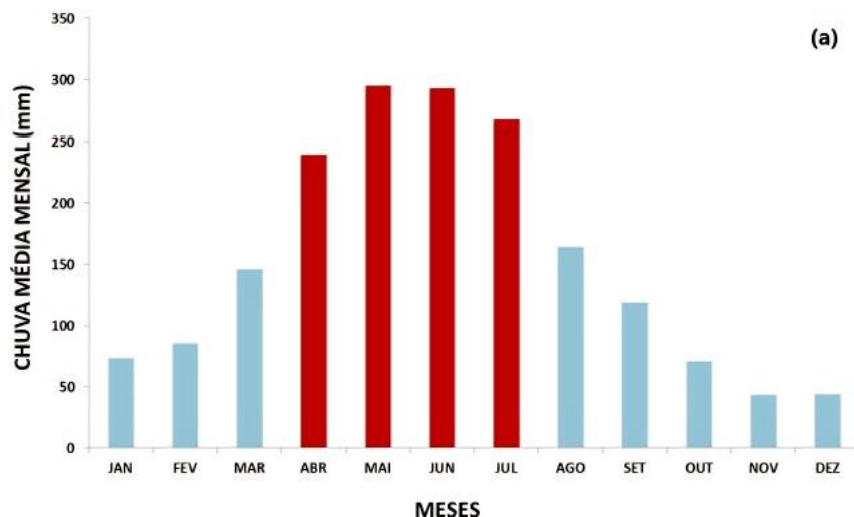
do custo com energia elétrica, a regularização da vazão de entrada nos reservatórios e o aumento da confiabilidade do sistema.

Para a implantação de regras operacionais deve-se considerar a distribuição sazonal das demandas, além de outros fatores que podem influenciar diretamente o comportamento das curvas de consumo. Desta forma são estabelecidas as curvas de consumo máximas e mínimas registradas por dados históricos coletados, compondo as condições de contorno das curvas de consumo setoriais (TSUTIYA, 2006).

Tsutiya (2006) considera a previsão do consumo de água como elemento de suma importância para o planejamento, gerenciamento e operação dos sistemas de abastecimento de água e classifica os consumidores de água em categorias de acordo com o uso como doméstico, comercial, industrial ou público. De acordo com o autor, ocorrem variações no consumo que podem ser anuais, mensais, diárias horárias ou instantâneas. Outros fatores que podem influenciar a demanda por água são os hábitos populacionais e as condições climáticas.

A sazonalidade das chuvas em Maceió tem três estações do ano bem definidas. A estação chuvosa corresponde a abril a julho (59,52% da chuva), a estação seca de outubro a fevereiro (17,20% da chuva) e a estação de transição março, agosto e setembro (23,28%). Esse comportamento pode ser observado através da Figura 1 (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2021).

Figura 1 – Chuva Média Mensal em Maceió no período de 1960 a 2016 (mm)



Fonte: OLIVEIRA JÚNIOR *et al.* (2021)

Há meses em que o consumo d'água é maior, e dentro de um mesmo mês existem dias em que a demanda de água predomina sobre os demais. Nas horas diurnas a vazão supera o valor médio, atingindo valores máximos nas horas das refeições. No período noturno o

consumo cai, abaixo da média, apresentando valores mínimos nas horas da madrugada (NETTO *et al*, 1975).

O conhecimento do padrão de consumo é importante para a gestão do SAA. A vazão horária consumida em cada área de abastecimento pode ser conhecida, entre outros, por meio do tratamento estatístico dos dados de micromedição, pela macromedição em distritos de medição de controle (DMC), pela macromedição na saída do reservatório a montante da área de abastecimento.

Quando há macromedição apenas na entrada do reservatório, é possível conhecer a vazão de consumo horária por meio do balanço de massa, considerando para o cálculo a vazão de entrada e a variação de volume no reservatório. Uma vez que se disponha dados de vazão e nível, idealmente a cada cinco minutos, são geradas séries temporais adimensionais das vazões médias de consumo diárias. Cada ponto no gráfico é, então, resultado da razão da vazão horária pela média da vazão horária obtida para cada dia.

A produção de padrões diários de consumo necessita de séries de registos com a duração mínima de 10 a 15 dias do tipo daquele que se pretende tipificar. Ou seja, para produzir um padrão diário de consumo em dia útil, poderá bastar um registo de 2 a 3 semanas, ou seja, 10 a 15 ocorrências de um dia útil; para produzir um padrão típico de um domingo, com a significância desejável, serão necessárias 10 semanas de registo (10 domingos) (COELHO; LOUREIRO; ALEGRE, 2006). Os padrões podem ser obtidos por meio de estudos de séries temporais, com auxílio de ferramentas como *Python*.

Durante a operação do SAA é importante considerar condições extremas de consumo e vazão disponibilizada. Nesse sentido os parâmetros $K1$, $K2$ e $K3$ são fundamentais para o projeto e planejamento de ações em sistemas de abastecimento. A relação entre o maior consumo diário verificado no período de um ano e o consumo médio diário neste mesmo período, considerando sempre as mesmas ligações, fornece o coeficiente de maior consumo $K1$, conforme apresentado na Equação 1 (TSUTIYA, 2006).

$$K1 = \frac{\text{maior consumo diário no ano}}{\text{consumo médio diário no ano}} \quad (1)$$

A relação entre a maior vazão horária observada num dia e a vazão média horária do mesmo dia, define o coeficiente da hora de maior consumo $K2$ como apresentado na Equação 2 (TSUTIYA, 2006).

$$K2 = \frac{\text{maior vazão horária no dia}}{\text{vazão média do dia}} \quad (2)$$

O coeficiente K3 apresentado na Equação 3 é obtido a partir da razão entre o menor consumo horário do dia e o consumo médio do dia. Esse coeficiente serve como indicativo para a detecção de perdas físicas de água em determinados setores (VICENTE, 2005).

$$K3 = \frac{\text{menor consumo horário do dia}}{\text{consumo médio do dia}} \quad (3)$$

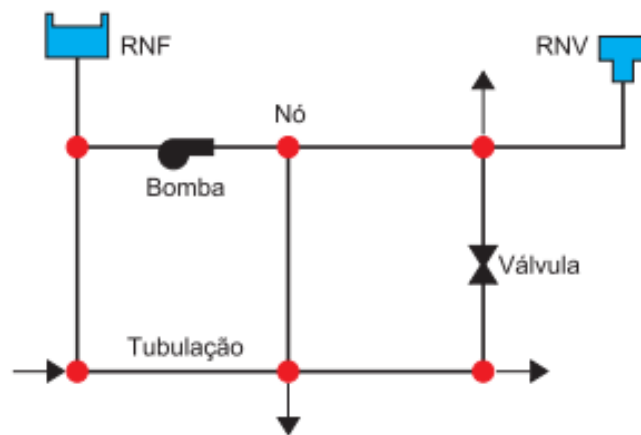
Durante a operação do SAA deve-se considerar o volume de água consumido na operação da ETA para lavagem de filtros e com a descarga de fundo de decantadores. Possíveis perdas com vazamentos também devem ser consideradas. Segundo Parsekian (1998 apud Silva, 2007, p. 3) especialistas estimam que o processo de tratamento de água numa ETA seja responsável por, aproximadamente, 5% de perdas de água.

2.2 MODELAGEM DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O EPANET é um programa de computador que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água em redes de distribuição pressurizada. O EPANET permite obter os valores da vazão em cada tubulação, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação, subdividido em múltiplos intervalos de cálculo. Adicionalmente, além de espécies químicas, o modelo simula o cálculo da idade da água e o rastreamento da origem de água em qualquer ponto da rede (GOMES, 2009).

O EPANET modela um sistema de distribuição de água como sendo um conjunto de trechos ligados a nós (Figura 2). Os trechos representam as tubulações, bombas e válvulas de controle. Os nós representam conexões, reservatórios de nível fixo (RNF) e reservatórios de nível variável (RNV) (GOMES, 2009).

Figura 2 – Elementos Físicos do Modelo de um Sistema de Abastecimento de Água



Fonte: GOMES (2009)

Adicionalmente aos componentes físicos, o EPANET permite definir três categorias de informação sobre a rede: curvas, padrões e controles, que descrevem o comportamento e os aspectos operacionais de um sistema de distribuição de água (GOMES, 2009).

Os modelos simulados a partir do EPANET utilizam curvas que relacionam duas grandezas, podendo ser do tipo curva da bomba, curva de rendimento, curva do volume e curva de perda de carga (GOMES, 2009).

Um Padrão Temporal é constituído por um conjunto de fatores multiplicativos que podem ser aplicados ao valor de uma determinada grandeza, de forma a representar a sua variação no tempo. O consumo nodal, a carga hidráulica num reservatório de nível fixo, os esquemas de bombeamento e a entrada de um parâmetro de qualidade da água na rede podem estar associados a um padrão temporal (GOMES, 2009).

Os Controles são um conjunto de instruções que estabelecem o modo como a rede opera ao longo do tempo. Eles especificam o estado dos trechos selecionados em função do tempo, alturas de água num reservatório de nível variável e valores de pressão em pontos específicos da rede. Os controles podem ser simples ou programados. O primeiro tipo altera o estado ou as propriedades de um trecho considerando a altura de água num reservatório de nível variável, a pressão num nó, o instante de simulação ou o instante do dia. Os controles programados permitem que o estado e as propriedades dos trechos dependam da combinação de um conjunto de condições que podem ocorrer na rede, após o cálculo das condições hidráulicas iniciais (GOMES, 2009).

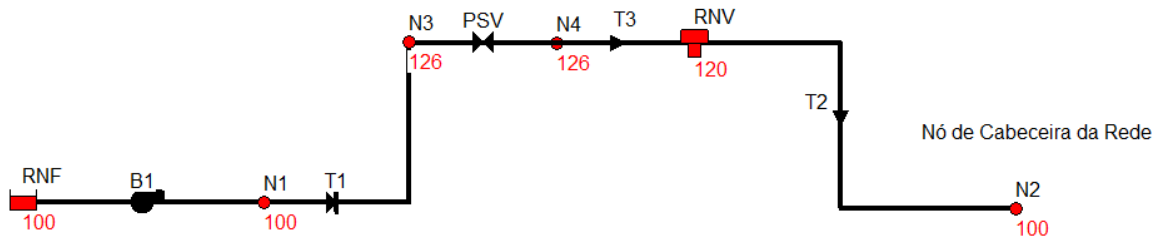
Depois de uma determinada rede ter sido apropriadamente descrita, se pode simular o seu comportamento hidráulico e de qualidade da água. Existem cinco categorias de opções

que controlam o modo como o EPANET simula uma rede: Hidráulica, Qualidade, Reações, Tempos e Energia (GOMES, 2009).

O EPANET permite que se comparem os resultados da simulação com os dados de medições em campo. A comparação pode ser efetuada através de gráficos de séries temporais, para localizações selecionadas na rede, ou utilizando a caixa de diálogo do Relatório de Calibração, que permite considerar múltiplas localizações (GOMES, 2009).

Gomes (2009) apresenta um modelo para o estudo de um SAA composto por uma fonte de água (reservatório de nível fixo – RNF) de onde um conjunto motobomba aduz água para um reservatório de nível variável (RNV), conforme representado na Figura 3. A partir do RNV o fluxo segue um nó na cabeceira da rede. No trecho T1 há uma válvula de retenção e entre os nós N3 e N4 foi adicionada uma válvula de retenção do tipo PSV (válvula sustentadora de pressão). Essa válvula é utilizada como artifício para que o EPANET processe os dados considerando que o fluxo entra no reservatório pela parte superior e a rede a montante não sofre os efeitos da pressão da lâmina d'água do reservatório. O trecho T3 é adicionado como requisito do EPANET, já que não é possível interligar uma válvula diretamente no reservatório.

Figura 3 – Modelo de Sistema de Abastecimento de Água com Entrada do Fluxo de Água no Reservatório pela Parte Superior



Fonte: adaptado de GOMES (2019)

As válvulas são elementos do modelo que podem existir fisicamente ou não. Em alguns casos são utilizadas para simular condições específicas de funcionamento. A válvula reguladora de vazão (FCV) serve para limitar a vazão máxima nas tubulações em que estão inseridas. A válvula sustentadora de pressão à montante (PSV) é frequentemente utilizada como artifício de simulação para modelar uma entrada de vazão por cima em um reservatório de nível variável (RNV). Essas válvulas PSV ou FCV não podem ser ligadas diretamente a um reservatório de nível fixo ou a um reservatório de nível variável. Como artifício, uma determinada extensão de tubulação deve ser utilizada para separar os dois componentes (COELHO; LOUREIRO; ALEGRE, 2006).

2.3 ESTUDOS DE CASO E APLICAÇÕES RELEVANTES

Vicente (2005) propõe um modelo de operação sustentado por um sistema de suporte à decisão para operar a distribuição de água em tempo real, atendendo a condições e restrições hidráulicas com o mínimo custo de energia elétrica. As condições hidráulicas são avaliadas por um modelo simulador previamente montado e calibrado, cujos resultados são analisados por um modelo de otimização baseado em programação linear. A operação em tempo real exige a alimentação automática e constante de informações operacionais, com atualização em intervalos inferiores a uma hora. Para garantir eficiência, o modelo utiliza simulações hidráulicas para prever o consumo nas próximas horas, refinando esses critérios com um modelo dinâmico de previsão de demanda. O modelo proposto integra todos esses sistemas por meio de uma interface testada no Sistema Adutor Metropolitano de São Paulo, demonstrando eficiência ao resultar em uma redução significativa no custo de energia elétrica.

Nazaré (2012) apresentou um estudo de caso de um sistema adutor de abastecimento d'água utilizando o EPANET, determinando 6 (seis) cenários ou estratégias operacionais com foco na redução do custo energético, mantendo a confiabilidade do sistema. Os resultados mostraram que o uso da simulação computacional é uma metodologia viável que possibilita a construção de regras e alternativas operacionais que permitem à equipe gestora tomar decisões mais rápidas e de forma mais eficiente visando à otimização operacional do sistema.

Santos (2022) realizou um estudo sobre o impacto da realocação de moradores de diversos bairros de Maceió em virtude da subsidência do solo causada pela exploração de minas de sal em área urbana. Foi observado o aumento abrupto da demanda por água nas áreas receptoras, impactando diretamente o Sistema de Abastecimento de Água (SAA). A caracterização populacional foi baseada em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e CASAL, e simulações foram realizadas no EPANET após a modelagem das redes no *software* QGIS. Os resultados indicaram reduções de pressão e aumentos de perda de carga, resultando em desabastecimento e vazamentos, sendo sugeridas redes de reforço, expansão do sistema e controle ativo de vazamentos como estratégias mitigadoras.

Moraes (2022) investigou o impacto da desocupação de residências devido à instabilidade do solo em bairros afetados em Maceió no SAA da capital. A caracterização da área e do sistema de abastecimento foi realizada, utilizando o *software* QGIS para o cadastro

da rede e parâmetros, posteriormente exportados para o EPANET para a execução da simulação hidráulica e calibração de cenários antes e após o evento.

Com a desocupação dos bairros, foi registrada uma redução de 41,30% nas ligações ativas de água, uma diminuição de 44,45% no consumo de água e uma queda de 31,72% no faturamento, representando um prejuízo mensal de mais de 500 mil reais. A simulação hidráulica indicou que 55,46% da rede apresentou aumento de pressão entre 0 e 5 mca, e 15,14% com acréscimo superior a 10 mca, especialmente nos horários de maior consumo, sugerindo maior propensão a vazamentos. A perda de carga foi reduzida devido à diminuição do atrito causado pela menor demanda.

As análises revelaram que áreas com maior variação de pressão e perdas de carga podem estar associadas a locais desocupados, indicando a necessidade de estratégias de controle de pressão e realocação de estruturas para garantir a sustentabilidade do sistema em áreas afetadas.

Bonadio (2023) desenvolveu um software, em linguagem de programação Python, que verifica a aplicabilidade da solução obtida pelo modelo matemático de otimização energética desenvolvido por Parras (2020), de forma a analisar a solução proposta por ele, e simulá-la no simulador hidráulico EPANET. Em seu trabalho, Parras (2020) propõe um modelo matemático de otimização linear inteiro misto, que visa minimizar os gastos com energia elétrica de um sistema de abastecimento de água, com restrições que facilitam a operação da rede por parte do operador. Um planejamento do estoque de água nos reservatórios também é realizado, de modo a garantir o total atendimento da demanda. Características de hidráulica e dinâmica de fluidos relevantes para o problema são consideradas pelo modelo, juntamente com a atual estrutura tarifária energética do Brasil.

Lourenço *et al.* (2024), realizou um estudo com dados de níveis de reservatórios, pressões e demandas de consumo. O trabalho objetivou avaliar a potencialidade do programa R interligado ao EPANET para banco de dados de sistemas de abastecimento de água. Nesse intuito, considerou-se a metodologia em propor uma simulação no R de uma rede de distribuição de água teórica criada no EPANET para avaliar os resultados da demanda de consumo diário. A rede proposta foi simulada variando-se demandas de consumo com os níveis do reservatório, sendo obtidos vários resultados no período de 24 horas. Consequentemente, foi possível automatizar o processo de análises estatísticas gerando tabelas, gráficos referentes à dispersão das demandas, pressões dos nós, vazões dos trechos oriundos de cada variação de consumo e níveis de reservatório. Os resultados obtidos comprovaram a compatibilidade e a

praticidade do modelo matemático de distribuição de água projetada no programa EPANET simulada no R e armazenada no banco de dados SQL server.

Rodrigues (2024) propôs alternativas para reduzir os custos de energia elétrica no bombeamento do sistema de abastecimento de água do município de Miranda/MS, analisando o sistema de abastecimento de todos os bairros e realizando simulações com base no levantamento das condições operacionais e demandas. Três cenários foram avaliados: no Cenário 01, foi analisada a troca de bombas e o custo de energia; no Cenário 02, foi diagnosticada a bomba EAT-002 e implementados inversores de frequência na EAT-003; e no Cenário 03, medidas mais abrangentes incluíram a substituição de bombas e redes antigas, instalação de nova adutora, reservatório de maior capacidade e estratégias de gerenciamento de energia. O Cenário 03 mostrou-se mais eficiente, com payback simples estimado em 15 anos, garantindo maior eficiência energética e viabilidade com taxa de desconto de 7,5%, mesmo considerando a ampliação do sistema para atender mais residências.

3 METODOLOGIA

Para o atendimento dos objetivos deste trabalho fez-se necessário a construção de um modelo computacional do SAA Pratygy, com o auxílio da ferramenta EPANET. Os elementos físicos do modelo relacionados a redes, reservatórios e sistemas elevatórios foram levantados por meio de consulta ao acervo de projetos da CASAL. Elementos não físicos, como padrões de consumo e consumo base, foram gerados com auxílio de aplicações em Python desenvolvidas pelo autor.

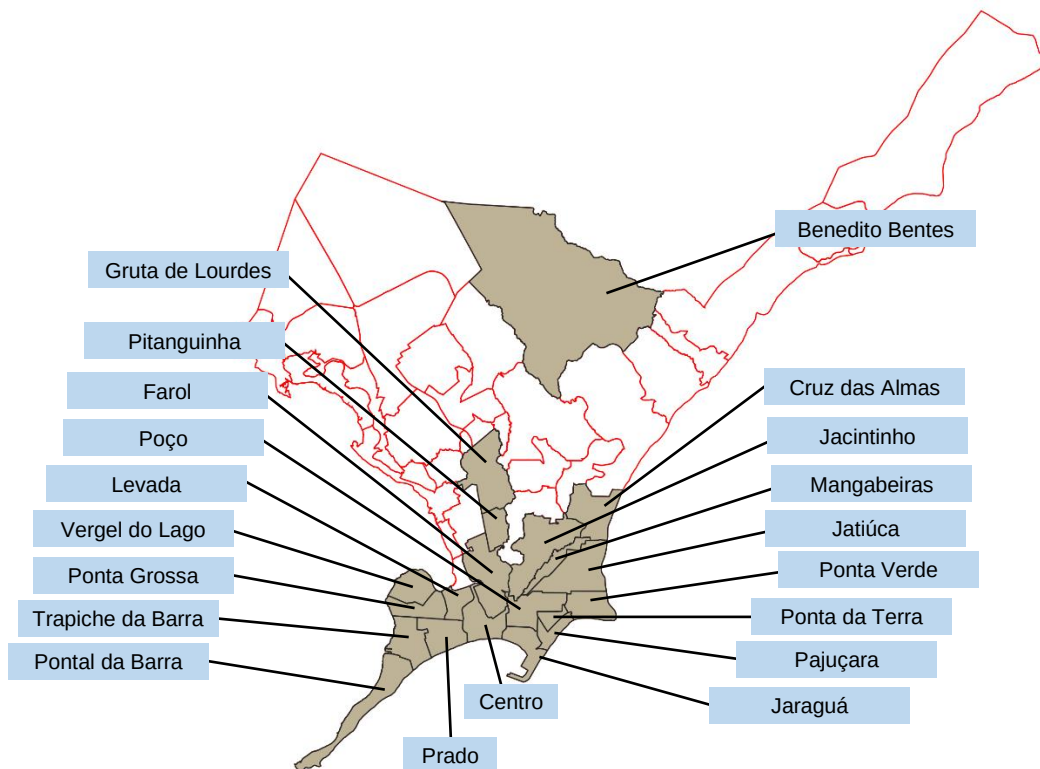
A seguir, descreve-se o processo metodológico por meio dos seguintes subitens: caracterização do local de estudo; desenvolvimento das aplicações em Python; padrão de consumo e consumo base; modelagem do sistema no EPANET e simulação com auxílio do EPANET

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A cidade de Maceió é abastecida pelos sistemas de abastecimento de água Catolé-Cardoso, Aviação, Pratygy (captação em manancial superficial) e por captações subterrâneas. O Sistema Pratygy foi projetado para o atendimento integral da cidade, após a conclusão da última etapa, com uma vazão de 15.552 m³/h. De acordo com Costa e Reis (2007), a obra foi iniciada em 1984 e em 2006 a estação operava com uma vazão de 2.600 m³/h. De acordo com a CASAL (2024), atualmente, a ETA possui capacidade nominal para operar com 3.888 m³/h.

De acordo com a CASAL, o Sistema Pratagy representa cerca de 40% do abastecimento da cidade e atende aos seguintes bairros: Cruz das Almas, Jatiúca, Ponta Verde, Pajuçara, Jaraguá, Poço, Centro, Prado, Levada, Ponta Grossa, Ponta da Terra, Vergel do Lago, Trapiche, Pontal da Barra, Benedito Bentes, Gruta, Farol, Pitanguinha, Jacintinho e Mangabeiras (Figura 4).

Figura 4 – Mapa de localização dos bairros abastecidos pelo Sistema Pratagy



Fonte: Adaptado CASAL (2024)

Pode-se ver no diagrama simplificado do Sistema Pratagy apresentado na Figura 5 que o fluxo inicia com a captação no rio homônimo e é elevado até a ETA Josué Palmeira. Após o tratamento, grande parte da água segue por gravidade para reservatórios apoiados, semienterrados e *boosters* que direcionam o fluxo para a parte baixa da cidade.

O segundo maior bairro de Maceió, situado na parte alta da cidade, é abastecido por meio de estação elevatória localizada na área da ETA, onde uma bomba centrífuga eleva o fluxo de um reservatório semienterrado (SBB) para um reservatório elevado (TBB). Deve-se observar que poços externos à ETA direcionam o fluxo para o reservatório semienterrado do Benedito Bentes. Há de se destacar também que, poços na área da ETA direcionam o fluxo para o tanque de contato da ETA, onde ocorre o processo de desinfecção.

O reservatório apoiado R2A, em geral, é abastecido pelo Sistema Catolé-Cardoso. A rede que interliga o Sistema Pratagy ao reservatório R2A é mantida fechada, sendo aberta apenas em caso de manutenção do Sistema Catolé-Cardoso ou por decisão operacional, em caso de necessidade de reforço ao abastecimento da área abrangida por esse reservatório.

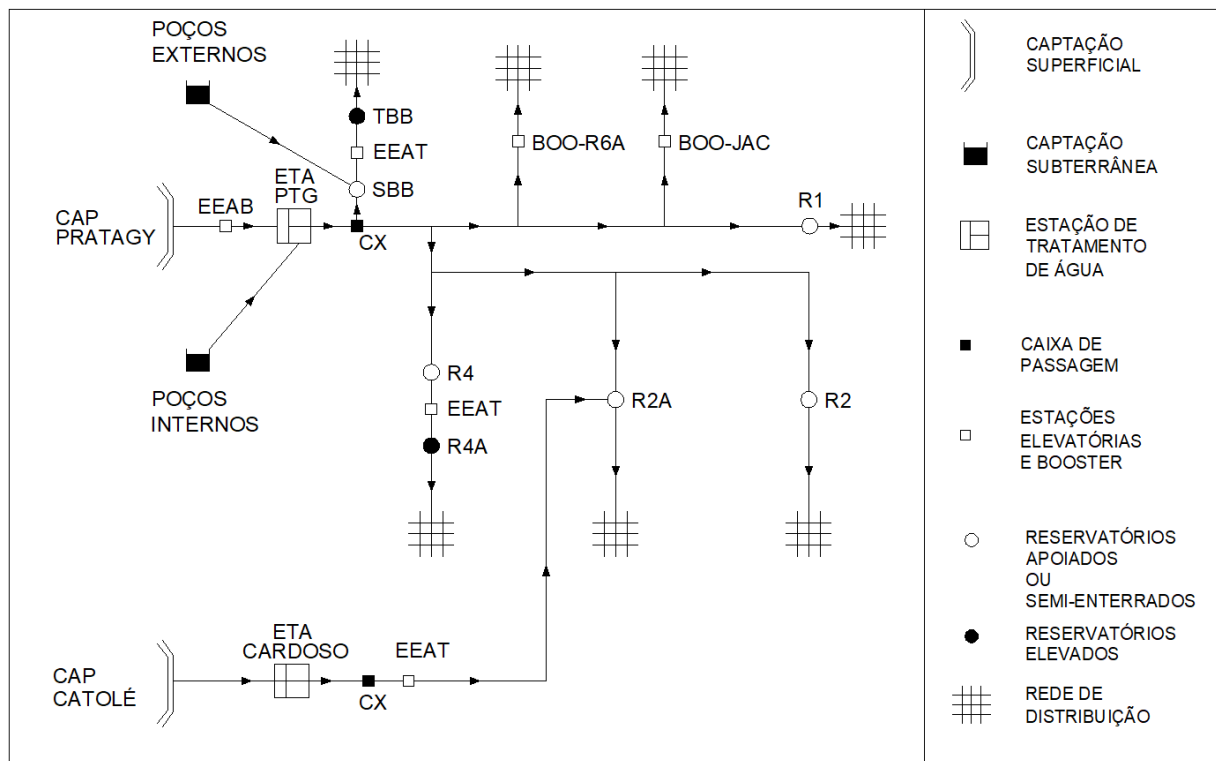
O conjunto de coordenadas no *datum* WGS-84 dos elementos dos Sistemas Pratagy e Cardoso presentes na Figura 5 são apresentados no Apêndice A.

Dados da CASAL de 2024 dão conta que o somatório das vazões dos poços externos é de cerca de 550 m³/h. Já os poços internos produzem cerca de 250 m³/h. Vale ressaltar que o poço P-MAC-BB-05 (20 m³/h) pode ter o fluxo direcionado à ETA apenas nos finais de semana. Durante os dias úteis, o fluxo desse poço é direcionado a uma central de envase de garrações de 20 litros para uso na Companhia e copos para uso em eventos.

As plantas de corte dos reservatórios do Sistema Pratagy são apresentadas no Anexo A.

As características gerais dos reservatórios são descritas na Tabela 1.

Figura 5 – Diagrama Simplificado do Sistema Pratagy e Integração com o Sistema Cardoso



Fonte: Autor (2024)

Tabela 1 – Características dos Reservatórios

Reservatório	Benedito Bentes	Benedito Bentes	R1	R2	R2a	R4	R4a
tipo	semienterrado	elevado	apoiado	semienterrado	apoiado	semienterrado	elevado
volume nominal (m³)	6500	2.000	8.000	3.000	4.000	4000	3.000
cota de nível máximo (m)	84,60	120,65	58,42	42,25	51,73	54,10	78,64
cota de fundo (m)	80,90	113,05	52,42	39,25	45,43	50,60	72,64
nível máximo (m)	3,70	7,60	6,00	3,00	6,30	3,50	6,00

Fonte: CASAL (2024)

Para o cálculo do volume dos reservatórios, foram utilizadas as medidas aferidas por meio da versão digitalizada das plantas de corte dos reservatórios apresentadas no Anexo A. A imagem foi importada para *software* CAD e, após ajuste de escala, foram aferidas as distâncias e efetuados os cálculos de modo a obter as seguintes equações (Quadro 1).

Quadro 1 – Equações de cálculo dos volumes dos reservatórios

Reservatório	Equação	Vmax (m³)	DVN
Benedito Bentes semienterrado	$\text{vol}(\text{sbb}) = 1800h$	6660	2,46%
Benedito Bentes Elevado	$\text{vol}(\text{tbb}) = 0,9608h^3 + 23,176h^2 + 35,367h$	2029	1,45%
R1	$\text{vol}(\text{r1}) = -62,278h^2 + 1690,1h$	7898	-1,28%
R2	$\text{vol}(\text{r2}) = 1005,28h$	3015	0,50%
R2a	$\text{vol}(\text{r2a}) = 653,31h$	4115	2,89%
R4	$\text{vol}(\text{r4}) = 1062,10h$	3717	-7,07%
R4a	$\text{vol}(\text{r4a}) = 1,395h^3 + 33,161h^2 + 262,625h$	3070	2,33%
Vmax: volume calculado para o nível máximo (m³); DVN: Diferença com relação ao volume nominal; vol: volume; h: altura de lâmina de água			

Fonte: Autor (2024)

A seguir são apresentadas as características das bombas das elevatórias do Benedito Bentes e R4 (Tabela 2). Em virtude da indisponibilidade dos dados da bomba B1R4, será

considerado nas simulações que as bombas da elevatória do R4 possuem as mesmas características e operam ao mesmo tempo em paralelo.

Tabela 2 – Características das bombas

Bomba	Vazão (l/s)	Altura Manométrica (mca)
B1BB	208,33	55
B1R4	-	-
B2R4	151,90	26,8

Fonte: CASAL (2024)

Em virtude da indisponibilidade dos dados das bombas dos *boosters* R6A e do Jacintinho, serão considerados nas simulações suas vazões médias de operação, respectivamente, 400 m³/h e 50 m³/h. Os dados da elevatória Cardoso-R2A não foram levados em consideração nas simulações, pois, não fazem parte do Sistema Pratagy.

Os dados relacionados às redes serão apresentados em conjunto com o diagrama correspondente no subitem 3.4.

3.2 DESENVOLVIMENTO DAS APLICAÇÕES EM PYTHON

Para que os padrões de consumo e o consumo base de cada área de abastecimento fossem conhecidos, foram desenvolvidas duas aplicações em Python. A primeira, denominada Pratagy-Módulo1, recebe como entrada os arquivos diários exportados a partir do banco de dados de telemetria. Após o processamento, a ferramenta gera relatórios e gráficos do comportamento mensal para todas as áreas de abastecimento em análise.

A segunda aplicação, denominada Pratagy-Módulo2, recebe como entrada os arquivos dos relatórios mensais exportados a partir do processamento da aplicação anterior. Após o processamento, a ferramenta gera relatórios e gráficos do comportamento do período escolhido para todas as áreas de abastecimento em análise.

3.2.1 Módulo 1 da aplicação em python

O fluxograma de funcionamento da aplicação Pratagy-Módulo1 é apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Fluxograma da Aplicação em Python Pratagy-Módulo1



Fonte: Autor (2024)

3.2.1.1 Definição das variáveis (níveis e vazões dos reservatórios)

Na base de dados importada, as colunas de nível e vazão possuem a seguinte designação (como no exemplo para a área do Benedito Bentes): "Penas do Gráfico-RMM Benedito Bentes I - REL\\Nível (MCA)"; "Penas do Gráfico-RMM Benedito Bentes I - REL-Vazão Entrada". As variáveis foram definidas como `nivel_rese_bb` e `vazao_ent_rese_bb` e recebem os dados associados as nomenclaturas do arquivo em csv.

As composições das nomenclaturas trazem informações referentes aos parâmetros de visualização dos gráficos gerados (Penas do Gráfico), a região de operação (Região Metropolitana de Maceió – RMM), a área de abastecimento (no caso dos exemplos acima,

Benedito Bentes), o tipo de reservatório (nos exemplos acima, Reservatório Elevado – REL) e por fim, a informação do dado avaliado, podendo esta ser referente ao nível ou vazão.

O Quadro 2 apresenta a relação das variáveis, atribuídas nas aplicações em *Python*, com as nomenclaturas dos títulos das colunas nos arquivos importados pelas aplicações.

Quadro 2 – Nomenclaturas dos títulos das colunas dos arquivos importados

Nomenclaturas dos títulos das colunas dos arquivos em csv	Variável associada
"Penas do Gráfico-RMM Benedito Bentes I - REL\\Nível (MCA)"	nivel_rese_bb
"Penas do Gráfico-RMM Benedito Bentes I - REL-Vazão Entrada"	vazao_ent_rese_bb
"Penas do Gráfico-RMM R-01 - RES - Câmara 02\\Nível (MCA)"	nivel_rese_r1
"Penas do Gráfico-RMM R-01 - RES - Câmara 01\\Vazão Sucção"	vazao_ent_rese_r1
"Penas do Gráfico-RMM R-02\\Nível (MCA)"	nivel_rese_r2
"Penas do Gráfico-RMM R-02\\Vazão Sucção"	vazao_ent_rese_r2
"Penas do Gráfico-RMM R-02A\\Nível (MCA)"	nivel_rese_r2a
"Penas do Gráfico-RMM R-02A\\Vazão Sucção"	vazao_ent_rese_r2a
"Penas do Gráfico-RMM R-04 - Torre\\Nível (MCA)"	nivel_rese_r4
"Penas do Gráfico-RMM R-04 - Torre\\Vazão Sucção"	vazao_ent_rese_r4

Fonte: Autor (2024)

3.2.1.2 Escolha do reservatório e período de análise

Nessa etapa o usuário deverá escolher o período da análise (mês/ano) e o reservatório que terá os dados processados (benedito bentes, r1, r2, r2a, r4). O código retorna as informações escolhidas.

3.2.1.3 Carregamento dos arquivos de dados

O código vai ler os arquivos em csv com os dados diários e executar as operações a seguir em um “loop” do primeiro ao último dia do mês.

- Ler arquivo csv do dia

Os arquivos a serem importados devem possuir a nomenclatura no seguinte formato “dia.csv”, em que o dia é definido com o valor numérico com dois dígitos, como por exemplo: “01.csv”. É possível processar os dados de um mês por vez apenas.

- Corrigir e preencher os valores de nível e vazão

A ocorrência desses vazios se dá pela interrupção do sinal que transmite o nível ou vazão de entrada atuais do reservatório. O armazenamento desses dados ocorre a cada 5 minutos e no caso da ausência dessas informações o preenchimento pela última informação registrada é adotado de forma paliativa, uma vez que na análise de dados proposta neste trabalho são considerados o conjunto de registros diários completos, com todos os registros a cada 5 min no período de 24 h.

A ausência de um desses dados na execução da análise causa interferência por incompatibilidade das dimensões das estruturas de dados, fazendo com que a aplicação não seja executada. Desta forma, a adoção do último valor se faz necessária para a adequada execução da aplicação realizada. Deve-se observar a quantidade de valores vazios nos dados importados, de modo a assegurar maior precisão no processamento dos dados.

- Calcular altura e volume

O nível apontado pela telemetria não representa a altura real do nível de água no reservatório. O sensor de nível foi instalado a uma certa distância, estimada em 25 cm, acima do fundo de todos os reservatórios, exceto para reservatório elevado do Benedito Bentes. No último caso, o sensor está instalado em tubulação abaixo do reservatório. Quando o reservatório elevado do Benedito Bentes é esvaziado, o nível na telemetria aponta que há no reservatório 25 cm de lâmina de água. Dessa forma, o código faz um ajuste nos níveis de telemetria para que o volume no reservatório seja calculado com base na altura real de lâmina de água ('altura_h').

Os dados estão espaçados em intervalos de cinco minutos. Para cada nível, em determinado instante de tempo, é calculado o volume correspondente por meio das equações definidas para cada reservatório apresentadas no Quadro 1.

3.2.1.4 Cálculo de consumo

- Calcular variação de volume e a vazão média por hora

A variação de volume é calculada pela diferença dos volumes gerados para cada instante de tempo. Uma variação de volume negativa implica no esvaziamento do reservatório e uma variação positiva significa que o reservatório está em processo de enchimento. Faz-se então o somatório das variações de volume de forma a obter a variação de volume em uma hora. Calcula-se também a média de vazões para cada hora.

- Calcular consumo horário, consumo base diário e fator de consumo

Para o cálculo do consumo faz-se o balanço de volume que entrou no reservatório com o volume que variou no período de uma hora. Quando o reservatório está secando, as variações de volume são negativas. Variações positivas indicam que o reservatório está enchendo. Então, o consumo horário é definido pela diferença entre esses volumes, conforme apresentado na Equação 4.

$$\text{consumo}_{\text{horário}} = (\text{volume de entrada}) - (\text{volume de saída}) \quad (4)$$

A razão entre o consumo horário e a média dos consumos horários (consumo base diário) define o fator de consumo (Equação 5).

$$\text{fator de consumo} = \frac{\text{consumo horário}}{\text{consumo base diário}} \quad (5)$$

3.2.1.5 Geração de resumos e gráficos

Após o processamento implementado na aplicação, os dados são reunidos em formato de tabelas chamadas de *DataFrames*. Os *DataFrames* são estruturas de dados utilizadas pelas bibliotecas *pandas* e *numpy* para processamento das informações. Por meio dessas tabelas, foram produzidos os gráficos de consumo base (mensal) e fator de consumo para cada dia. Os gráficos diários que contém o fator de consumo foram consolidados e um gráfico mensal foi gerado.

3.2.1.6 Separação dos dias úteis e finais de semana

São gerados novos resumos contendo os dados de consumo base e fator de consumo separados por finais de semana e dias comuns (segunda à sexta).

3.2.1.7 Exportação dos resultados

Os resumos e gráficos gerados são exportados, respectivamente no formato csv e PNG. Os arquivos em formato csv são nomeados como apresentado no Quadro 3 seguindo o seguinte padrão: "resumo_consumo_base_fim_de_semana_{reservatorio}_{mes}_{ano}.csv".

No resumo “Dados” são reunidas as informações processadas pela aplicação para todos os dias do mês/ano em análise, para o reservatório escolhido. Os dados são apresentados para cada hora, exceto o volume produzido e o volume consumido, que totalizam o valor diário.

O resumo “Fator consumo geral” apresenta o fator de consumo para cada horário para todos os dias em análise, para o mês/ano e reservatório escolhidos. Já os resumos “Fator

consumo dias comuns” e “Fator consumo fim de semana” apresentam em arquivos separados o conteúdo do resumo anterior, filtrados pelos dias da semana.

O resumo “Consumo base geral” apresenta o consumo base para cada dia em análise, para o mês/ano e reservatório escolhidos. Já os resumos “Consumo base dias comuns” e “Consumo base fim de semana” apresentam em arquivos separados o conteúdo do resumo anterior, filtrados pelos dias da semana.

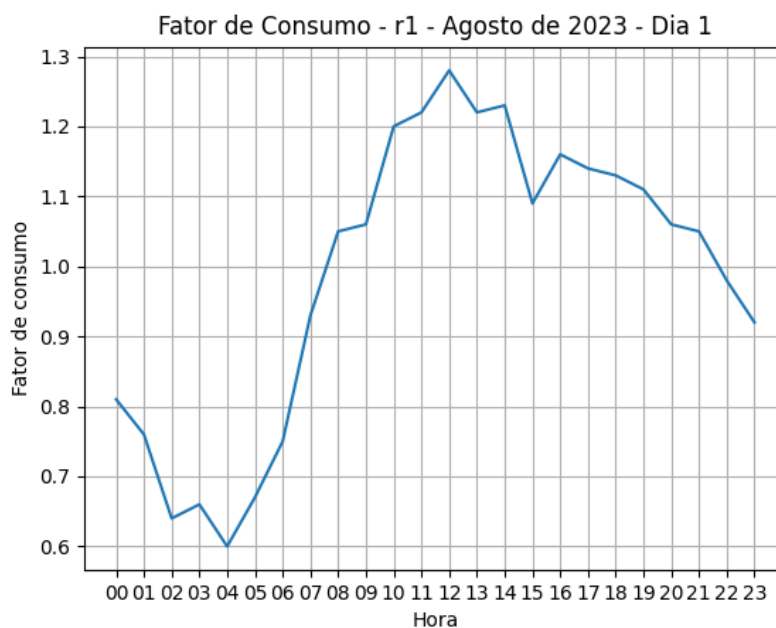
Quadro 3 – Planilhas produzidas para aplicação em Python

Resumo	Título das Colunas
Dados	horario, media vazao entrada [m3/h], variacao volume reservatorio [m3], consumo horario [m3], consumo base [m3], fator de consumo, volume produzido [m3], volume consumido [m3]
Fator consumo geral	horario, dias numerados com duas casas decimais, dia da semana correspondente
Fator consumo dias comuns	horario, dias numerados com duas casas decimais
Fator consumo fim de semana	horario, dias numerados com duas casas decimais
Consumo base geral	dias numerados com duas casas decimais, dia da semana correspondente
Consumo base dias comuns	dias numerados com duas casas decimais
Consumo base fim de semana	dias numerados com duas casas decimais

Fonte: Autor (2024)

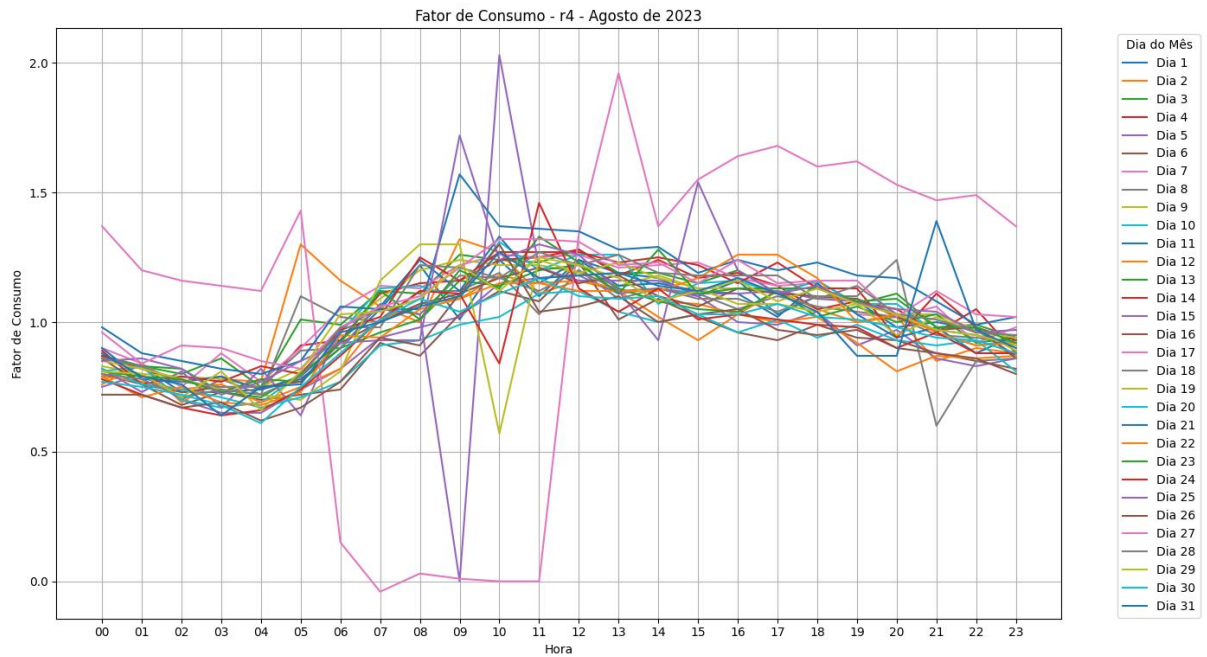
As imagens exportadas pela aplicação e o padrão de nomenclatura são apresentados nas Figuras 7, 8 e 9.

Figura 7 – Exemplo de Gráfico Gerado para as Séries Temporais de Fator de Consumo Diário



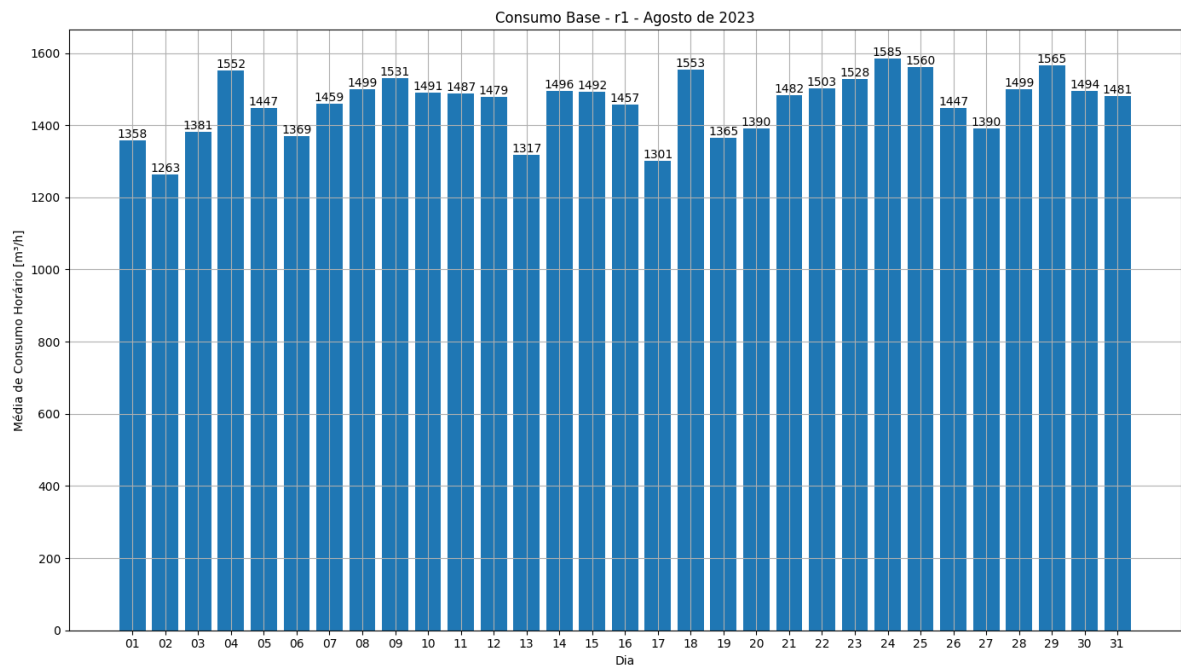
Fonte: Autor (2024)

Figura 8 – Exemplo de Gráfico Gerado para as Séries Temporais de Fator de Consumo Reunidos Mensal



Fonte: Autor (2024)

Figura 9 – Exemplo de Gráfico Gerado para o Consumo Base Mensal

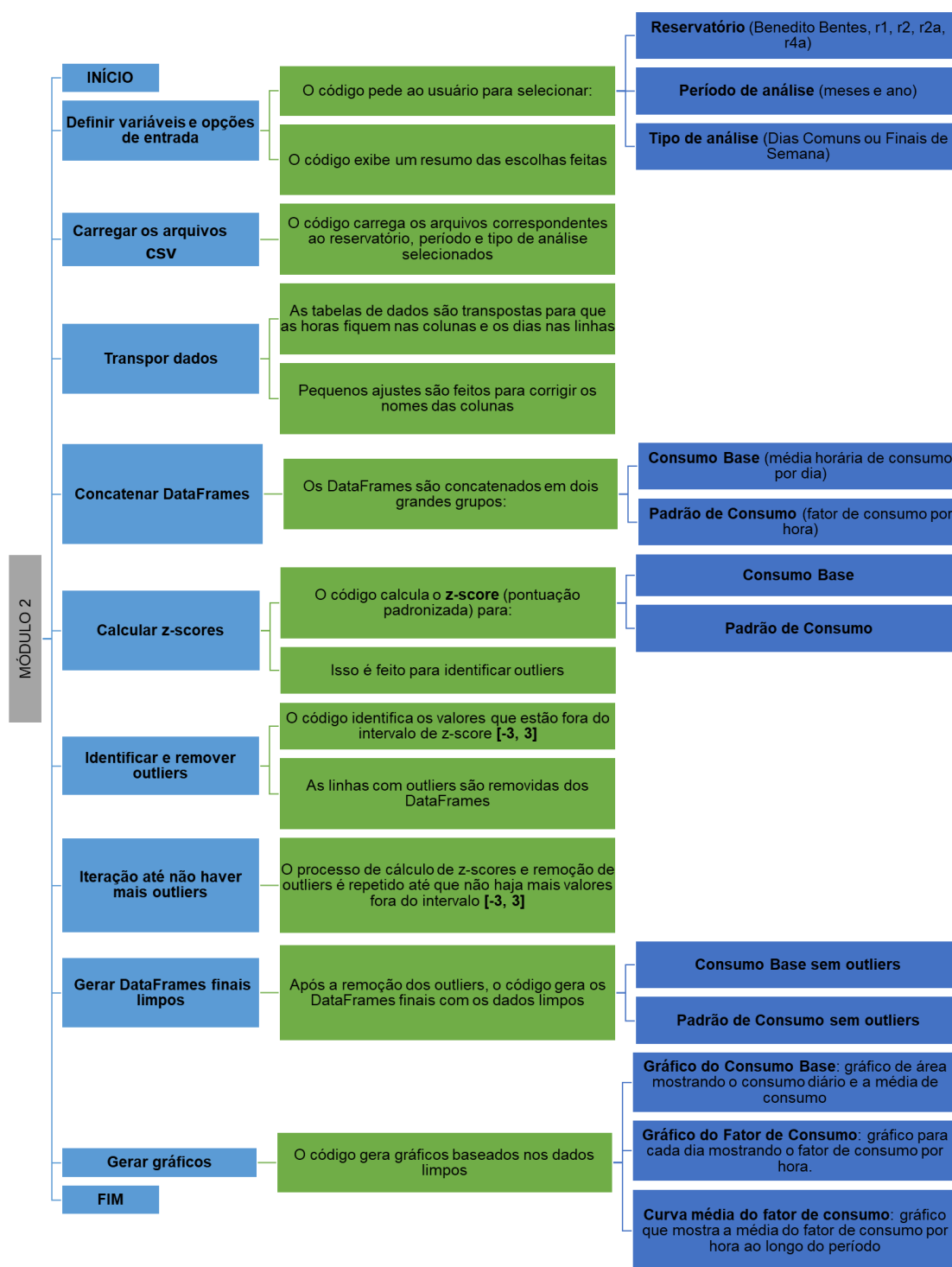


Fonte: Autor (2024)

3.2.2 Módulo 2 da aplicação em python

O fluxograma de funcionamento da aplicação Pratygy-Módulo2 e apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Fluxograma da Aplicação em Python Pratygy-Módulo2



Fonte: Autor (2024)

3.2.2.1 Definição das variáveis e opções de entrada

O código solicita ao usuário que selecione o reservatório (Benedito Bentes, r1, r2a, r4a) o período da análise (meses e ano) e o tipo da análise (Dias Comuns ou Finais de Semana). Neste trabalho optou-se por uma análise quadrimestral, justificada no subitem Padrões de Consumo e Consumo Base. Na sequência, o código apresenta as escolhas feitas pelo usuário.

3.2.2.2 Carregamento dos arquivos de csv

O código carrega os arquivos de consumo base e fator de consumo correspondentes ao reservatório, período e tipo de análise selecionados. Os arquivos, em formato csv, foram gerados utilizando a aplicação Pratygy-Módulo1 (Figura 6).

3.2.2.3 Transpor os dados

As tabelas de dados são transformadas em *DataFrames* e são transpostas para que as horas fiquem nas colunas e os dias nas linhas. Esse processo facilita a execução das ferramentas de geração de gráficos. Para que as operações seguintes sejam possíveis, após a transposição dos dados, são realizados os seguintes ajustes: a primeira linha [HORARIO] é removida dos arquivos correspondentes ao consumo base; as colunas de título são renomeadas em todos os arquivos.

3.2.2.4 Concatenar *DataFrames*

Os *DataFrames* foram reunidos em dois grandes grupos: Consumo Base (média de consumo por dia) e Padrão de Consumo (fator de consumo por hora). Para o caso do Padrão de Consumo, cada coluna foi considerada uma série de dados que contém o fator de consumo do mesmo horário, para diferentes dias. Para o caso do Consumo Base, uma única coluna foi considerada uma série de dados que contém o consumo base de cada dia do período em análise.

3.2.2.5 Calcular *z-scores*

O código calcula o *z-score* para cada valor em cada série de dados nos *DataFrames* Consumo Base e Padrão de Consumo.

O *z-score* é uma medida estatística que indica o número de desvios-padrão que um dado ponto está afastado da média de distribuição. É uma medida útil para encontrar *outliers*, que são valores muito elevados ou baixos em relação à média.

O *z-score* é assim definido pela equação 6.

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (6)$$

Em que,

x = valor da amostra

μ = média da distribuição

σ = desvio-padrão da distribuição

3.2.2.6 Identificação e remoção dos outliers

Os pontos que destoam do comportamento médio podem surgir devido a falhas na análise de dados (por exemplo por uma quantidade excessiva de valores vazios) ou por comportamentos atípicos de operações do sistema (fechamento da saída dos reservatórios ou vazamentos na rede de distribuição). Esses pontos são caracterizados como outliers por meio da adoção do intervalo de *z-score* [-3, 3]. A partir dessa definição, o código realiza a identificação dos pontos que fogem do intervalo definido e elimina esses valores.

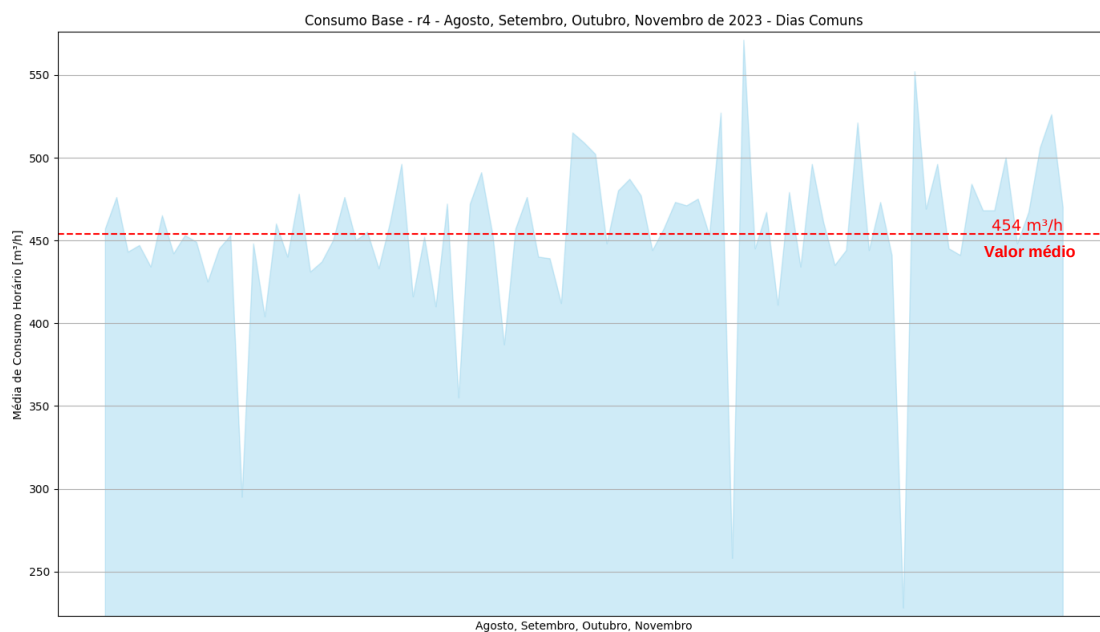
3.2.2.7 Geração dos DataFrames finais limpos

Após a remoção dos outliers, o código gera os *DataFrames* finais com os dados limpos: Consumo Base sem *outliers*; Padrão de Consumo sem *outliers*.

3.2.2.8 Exportação dos resultados

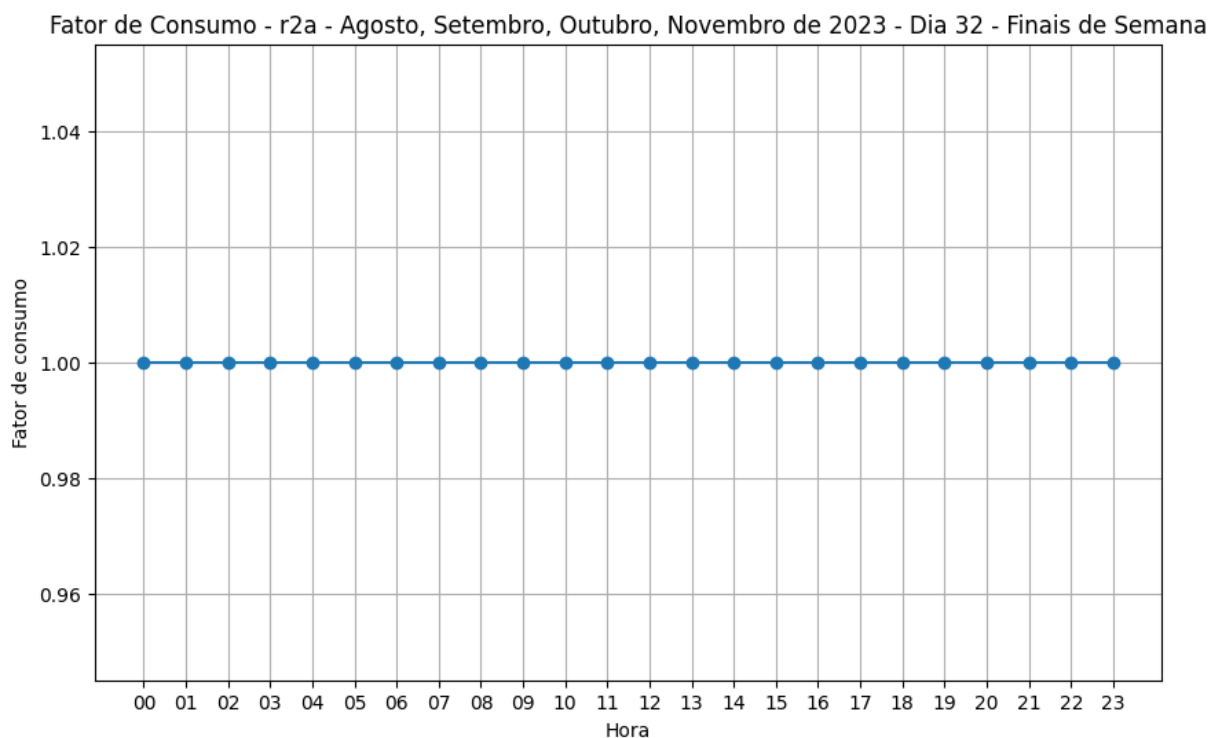
O código gera gráficos baseados nos dados limpos. O Gráfico do Consumo Base (Figura 11) é um gráfico de área e mostra o consumo diário e a média de consumo para o período em análise (adotada neste trabalho como consumo base nas simulações como o EPANET). O Gráfico do Fator de Consumo (Figura 12) é um gráfico de linha, exibindo para cada dia o fator de consumo por hora. O Gráfico Curva Média do Fator de Consumo (Figura 13) é um gráfico de linhas que mostra a média do fator de consumo por hora ao longo do período, adotada neste trabalho como padrão de consumo nas simulações com o EPANET.

Figura 11 – Exemplo de Gráfico Gerado para o Consumo Base por Período



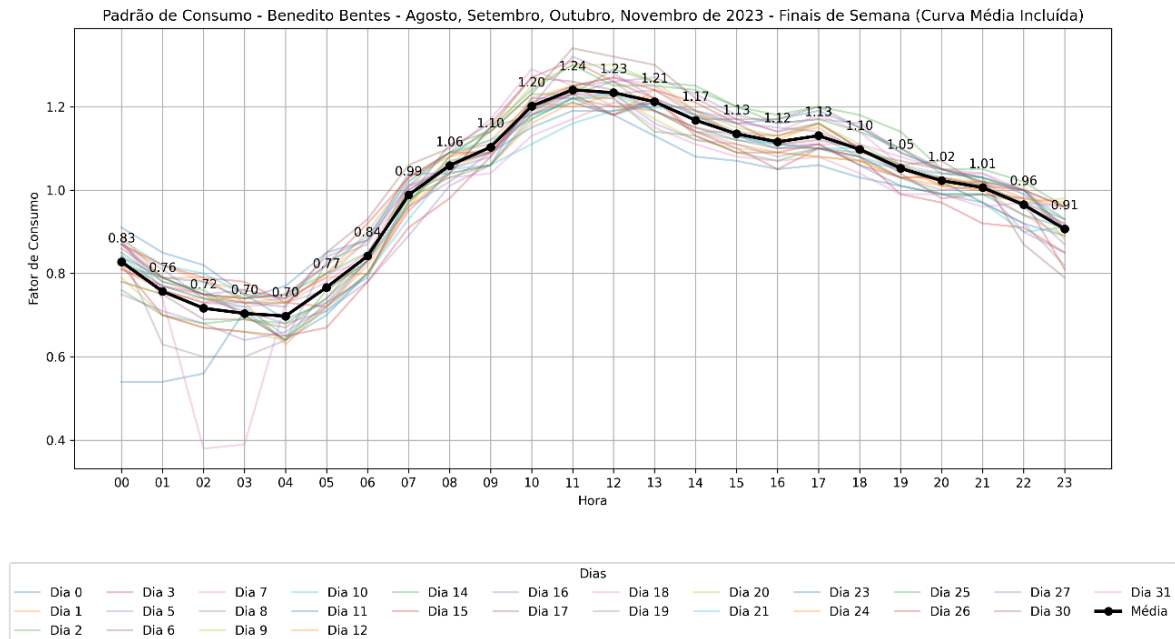
Fonte: Autor (2024)

Figura 12 – Exemplo de Gráfico Gerado para o Fator de Consumo por Dia



Fonte: Autor (2024)

Figura 13 – Exemplo de Gráfico Gerado para o Padrão de Consumo por Período



3.3 PADRÕES DE CONSUMO E CONSUMO BASE

Fatores como a temperatura, precipitação e a umidade relativa influenciam o consumo de água. Em dias secos e quentes o consumo é maior e em dias úmidos e frios o consumo é menor (SANTOS *et al.*, 2006). Em Maceió, a chuva anual média varia entre 1.400 mm e 1.500 mm, concentrando-se de abril a julho (quadra chuvosa), enquanto a temperatura média é de 24,2°C na estação seca e varia entre 22,4°C e 25,5°C na estação chuvosa (Nascimento *et al.*, 2018).

Para que a amostra fosse representativa, optou-se neste trabalho por uma análise quadrimestral (agosto, setembro, outubro e novembro de 2023). O período escolhido está relacionado à disponibilidade de dados e as características similares do clima na área estudada durante os meses avaliados.

Os dados foram separados em dias comuns (de segunda à sexta) e finais de semana (sábado e domingo). O estudo foi realizado de forma segmentada com o objetivo de verificar variações significativas no consumo de água potável em áreas de abastecimento urbano, indicadas pela literatura.

Os dados obtidos após o processamento com as ferramentas Pratygy-Módulo1 e Pratygy-Módulo2 são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Padrão de Consumo – (agosto a novembro de 2023)

Benedito Bentes			R1	
intervalo	seg à sex	finais de semana	seg à sex	finais de semana
1	0,85	0,83	0,88	0,92
2	0,79	0,76	0,81	0,83
3	0,77	0,72	0,71	0,78
4	0,75	0,70	0,71	0,74
5	0,74	0,70	0,66	0,73
6	0,84	0,77	0,73	0,73
7	0,94	0,84	0,84	0,81
8	1,01	0,99	0,95	0,88
9	1,04	1,06	1,05	0,99
10	1,05	1,10	1,14	1,09
11	1,10	1,20	1,17	1,17
12	1,16	1,24	1,20	1,17
13	1,16	1,23	1,20	1,21
14	1,12	1,21	1,17	1,17
15	1,09	1,17	1,18	1,19
16	1,09	1,13	1,13	1,09
17	1,08	1,12	1,12	1,13
18	1,11	1,13	1,11	1,10
19	1,13	1,10	1,13	1,11
20	1,10	1,05	1,11	1,10
21	1,07	1,02	1,08	1,06
22	1,05	1,01	1,04	1,03
23	1,00	0,96	1,02	1,00
24	0,94	0,91	0,95	0,93
R2			R2A	
intervalo	seg à sex	finais de semana	seg à sex	finais de semana
1	0,99	0,96	0,97	0,99
2	0,99	0,96	0,98	0,98
3	0,99	0,97	0,97	0,98
4	0,99	0,98	0,98	0,98
5	0,98	0,98	0,98	0,98
6	0,99	0,97	0,99	0,99
7	0,99	0,98	1,02	1,02
8	1,01	1,00	1,02	1,03
9	1,01	1,01	1,02	1,05
10	1,02	1,03	1,02	1,04
11	1,02	1,03	1,02	1,04
12	1,02	1,03	1,03	1,04

(Continuação Tabela 3)

13	1,02	1,03	1,03	1,04
14	1,02	1,02	1,03	1,03
15	1,02	1,01	1,02	1,02
16	1,01	1,01	1,01	1,00
17	1,01	1,01	1,01	1,00
18	1,01	1,01	1,01	1,00
19	1,01	1,01	1,01	0,99
20	1,01	1,00	1,00	0,98
21	1,00	0,99	0,99	0,98
22	0,98	0,99	0,99	0,98
23	0,98	0,99	0,99	0,98
24	0,97	0,99	0,98	0,98

R4A

intervalo	seg à sex	 finais de semana
1	0,84	0,85
2	0,81	0,81
3	0,76	0,75
4	0,76	0,75
5	0,75	0,73
6	0,85	0,80
7	0,97	0,86
8	1,05	0,96
9	1,12	1,04
10	1,15	1,10
11	1,17	1,17
12	1,17	1,16
13	1,17	1,17
14	1,13	1,14
15	1,11	1,10
16	1,11	1,09
17	1,10	1,07
18	1,10	1,06
19	1,09	1,04
20	1,06	1,01
21	1,03	0,99
22	0,98	0,96
23	0,96	0,94
24	0,92	0,89

Fonte: Autor (2024)

Tabela 4 – Consumo Base (m³/h) – (agosto a novembro de 2023)

Área de abastecimento	Consumo base (m ³ /h)	
	Segunda à sexta	Finais de semana
Benedito Bentes	705	735
R1	1505	1427
R2	844	874
R2A	483	494
R4A	454	452

Fonte: Autor (2024)

3.4 MODELAGEM DO SISTEMA NO EPANET

Na Figura 15 estão representados os elementos físicos do Sistema Pratygy em um modelo integrado, enquanto no Quadro 4 são apresentados os dados dos elementos do sistema integrado Pratygy. A principal fonte de água tratada é representada pelo reservatório de nível fixo RNF1, na saída da ETA Josué Palmeira. O RNF2 representa o ponto de partida do fluxo produzido pelos poços externos, que direcionam o fluxo para o reservatório SBB. A partir do RNF1, o fluxo segue para os reservatórios de nível variável SBB, R1, R2, R2A, R4 e para os nós N25 (entrada do *Booster* R6A) e N26 (entrada do *Booster* Jacintinho). A partir do reservatório R4, o fluxo segue para o nó N29 (entrada da Estação Elevatória do R4A). A partir do reservatório SBB, o fluxo segue para o nó N39 (entrada da Estação Elevatória do Benedito Bentes).

Em campo, a saída da ETA é uma caixa de passagem com dimensões desconhecidas. O nível de água do RNF1 foi adotado como a cota de nível superior do tanque de contato 88,42 m (câmara de compensação onde ocorre o processo de desinfecção), à montante da caixa de passagem (Figura 14).

Figura 14 – vista aérea da ETA Josué Palmeira com a localização do tanque de contato e da caixa de passagem de saída de água tratada

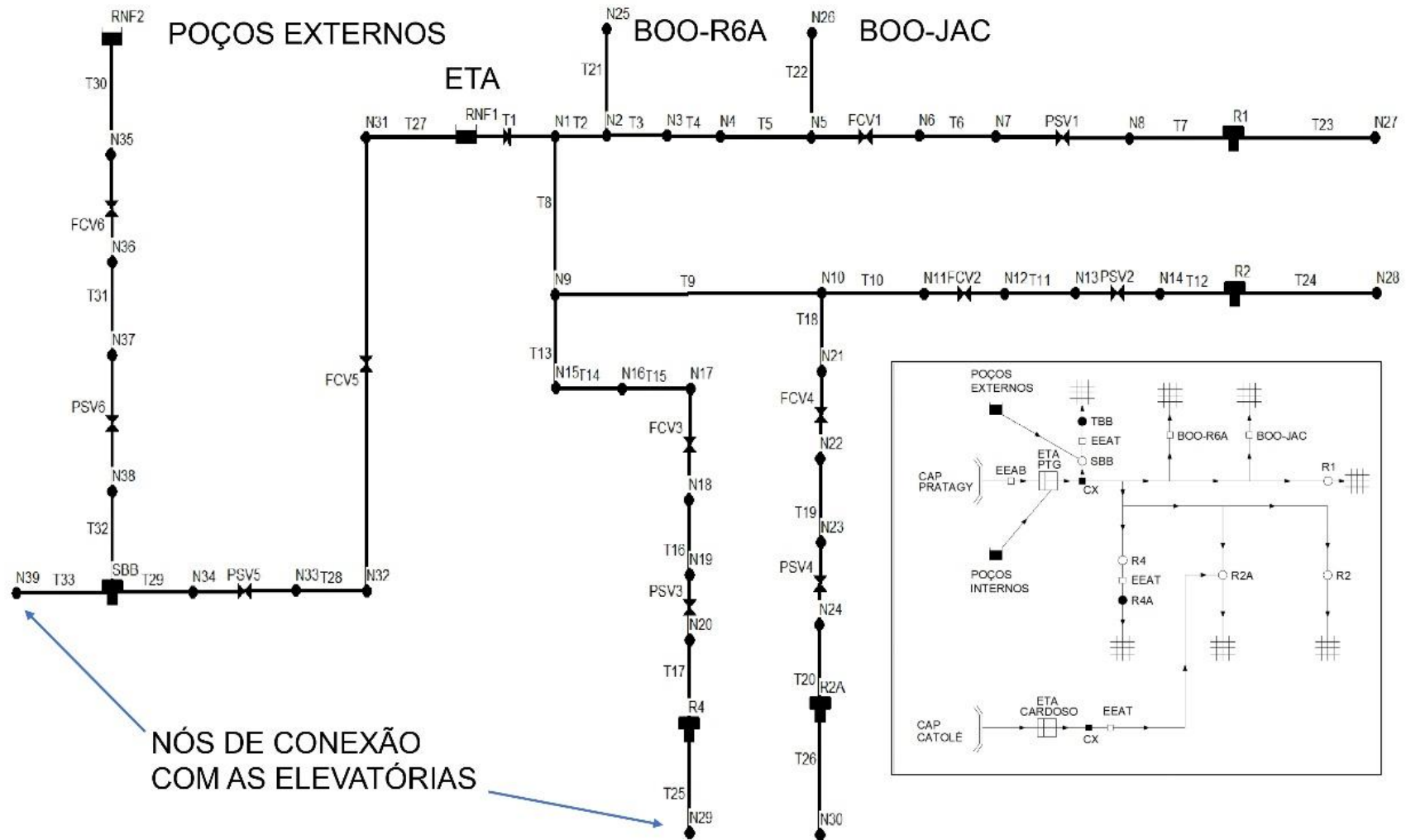


Fonte: CASAL (2021)

Os poços externos foram modelados de forma simplificada. Conhecida a vazão medida ($550 \text{ m}^3/\text{h}$) dos poços externos e as características da tubulação de entrada no reservatório SBB, representou-se esse subsistema partindo do RNF2 (nível de água fictício igual a 90), passando pelo trecho T30 com comprimento adotado de 100 m, até o reservatório SBB. A vazão dos poços internos ($230 \text{ m}^3/\text{h}$) foi considerada integralmente destinada às perdas com os processos de lavagem de filtros e descarga de fundo dos decantadores, representando cerca de 6% da vazão nominal da ETA, que é de $3.888 \text{ m}^3/\text{h}$.

As estações elevatórias foram modeladas separadamente, pois, estavam gerando instabilidades no modelo integrado. Ao conectar estações elevatórias, tendo em suas extremidades reservatórios de nível variável, verificou-se que a vazão recalçada se alterava cada vez que o nível do reservatório associado a sucção variava. Se por um lado o fenômeno físico estava bem representado no modelo, por outro lado, a regra de operação de bombeamento com uma vazão de recalque fixa tornou-se inviável.

Figura 15 – Diagrama do Sistema Integrado Pratygy



Fonte: Autor (2024)

Quadro 4 – Dados dos Elementos do Sistema Integrado Pratagy

Elemento	Dados
RNF1	Cota do nível d'água = 88,42 m
Trecho T1	Comprimento = 7795 m; D = 1200 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N1	Cota = 84,55 m; consumo base = 0
Trecho T2	Comprimento = 3081 m; D = 1000 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N2	Cota = 63,21 m; consumo base = 0
Trecho T3	Comprimento = 1320 m; D = 800 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N3	Cota = 43,21 m; consumo base = 0
Trecho T4	Comprimento = 580 m; D = 700 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N4	Cota = 55,60 m; consumo base = 0
Trecho T5	Comprimento = 100 m; D = 400 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N5	Cota = 54,91 m; consumo base = 0
Válvula FCV1	Válvula reguladora de vazão; Diâmetro 400 mm, parâmetro de controle (ver Quadro 7)
Nó N6	Cota = 54,91 m; consumo base = 0
Trecho T6	Comprimento = 10 m; D = 400 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N7	Cota = 58,42 m; consumo base = 0
Válvula PSV1	Válvula Sustentadora de Pressão; Diâmetro 400 mm, parâmetro de controle = 0
Nó N8	Cota = 58,42 m; consumo base = 0
Trecho T7	Comprimento = 0,0000001 m; D = 1000000 mm; C (Hazen Williams) = 1000000
Reservatório R1	Curva característica: curva 00 – R1 (conforme Quadro 1); cota da laje de fundo = 52,42 m; altura de água máxima = 6,00 m; altura de água mínima = 0 m e altura de água inicial = 3,0 m
Trecho T8	Comprimento = 2880 m; D = 700 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N9	Cota = 51,00 m; consumo base = 0
Trecho T9	Comprimento = 1687 m; D = 500 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N10	Cota = 45,00 m; consumo base = 0
Trecho T10	Comprimento = 1694 m; D = 500 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N11	Cota = 42,25 m; consumo base = 0
Válvula FCV2	Válvula reguladora de vazão; Diâmetro 500 mm, parâmetro de controle (ver Quadro 7)
Nó N12	Cota = 42,25 m; consumo base = 0
Trecho T11	Comprimento = 10 m; D = 500 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N13	Cota = 42,25 m; consumo base = 0
Válvula PSV2	Válvula Sustentadora de Pressão; Diâmetro 500 mm, parâmetro de controle = 0
Nó N14	Cota = 42,25 m; consumo base = 0
Trecho T12	Comprimento = 0,0000001 m; D = 1000000 mm; C (Hazen Williams) = 1000000
Reservatório R2	Curva característica: curva 00 – R2 (conforme Quadro 1); cota da laje de fundo = 39,25 m; altura de água máxima = 3,00 m; altura de água mínima = 0 m e altura de água inicial = 1,0 m
Trecho T13	Comprimento = 180 m; D = 700 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N15	Cota = 52,13 m; consumo base = 0
Trecho T14	Comprimento = 393 m; D = 600 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N16	Cota = 47,50 m; consumo base = 0
Trecho T15	Comprimento = 235 m; D = 400 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N17	Cota = 54,10 m; consumo base = 0
Válvula FCV3	Válvula reguladora de vazão; Diâmetro 400 mm, parâmetro de controle (ver Quadro 7)
Nó N18	Cota = 54,10 m; consumo base = 0
Trecho T16	Comprimento = 10 m; D = 400 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N19	Cota = 54,10 m; consumo base = 0
Válvula PSV3	Válvula Sustentadora de Pressão; Diâmetro 400 mm, parâmetro de controle = 0
Nó N20	Cota = 54,10 m; consumo base = 0
Trecho T17	Comprimento = 0,0000001 m; D = 1000000 mm; C (Hazen Williams) = 1000000
Reservatório R4	Curva característica: curva 00 – R4 (conforme Quadro 1); cota da laje de fundo = 50,60 m; altura de água máxima = 3,50 m; altura de água mínima = 0 m e altura de água inicial = 1,5 m

(Continuação Quadro 4)

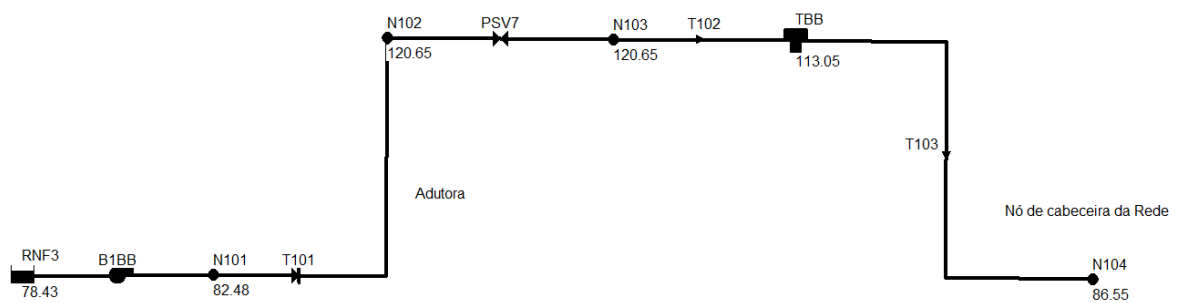
Trecho T18	Comprimento = 326 m; D = 500 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N21	Cota = 51,73 m; consumo base = 0
Válvula FCV4	Válvula reguladora de vazão; Diâmetro 500 mm, parâmetro de controle (ver Quadro 7)
Nó N22	Cota = 51,73 m; consumo base = 0
Trecho T19	Comprimento = 10 m; D = 500 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N23	Cota = 51,73 m; consumo base = 0
Válvula PSV4	Válvula Sustentadora de Pressão; Diâmetro 500 mm, parâmetro de controle = 0
Nó N24	Cota = 51,73 m; consumo base = 0
Trecho T20	Comprimento = 0,0000001 m; D = 1000000 mm; C (Hazen Williams) = 1000000
Reservatório R2A	Curva característica: curva 00 – R2A (conforme Quadro 1); cota da laje de fundo = 45,43 m; altura de água máxima = 6,30 m; altura de água mínima = 0 m e altura de água inicial = 1,0 m
Trecho T21	Comprimento = 68 m; D = 300 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N25	Cota = 66,00 m; consumo base (ver Tabela 4)
Trecho T22	Comprimento = 100 m; D = 200 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N26	Cota = 56,00 m; consumo base (ver Tabela 4)
Trecho T23	Comprimento = 10 m; D = 400 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N27	Cota = 51,42 m; consumo base (ver Tabela 4)
Trecho T24	Comprimento = 10 m; D = 500 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N28	Cota = 38,25 m; consumo base (ver Tabela 4)
Trecho T25	Comprimento = 127,30 m; D = 500 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N29	Cota = 50,60 m; consumo base (ver Tabela 4)
Trecho T26	Comprimento = 10 m; D = 500 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N30	Cota = 44,43 m; consumo base (ver Tabela 4)
Trecho T27	Comprimento = 230 m; D = 800 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N31	Cota = 84,60 m; consumo base = 0
Válvula FCV5	Válvula reguladora de vazão; Diâmetro 500 mm, parâmetro de controle (ver Quadro 7)
Nó N32	Cota = 84,60 m; consumo base = 0
Trecho T28	Comprimento = 10 m; D = 500 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N33	Cota = 84,60 m; consumo base = 0
Válvula PSV5	Válvula Sustentadora de Pressão; Diâmetro 500 mm, parâmetro de controle = 0
Nó N34	Cota = 84,60 m; consumo base = 0
Trecho T29	Comprimento = 0,0000001 m; D = 1000000 mm; C (Hazen Williams) = 1000000
Reservatório SBB	Curva característica: curva 00 – SBB (conforme Quadro 1); cota da laje de fundo = 80,90 m; altura de água máxima = 3,70 m; altura de água mínima = 0 m e altura de água inicial = 1,50 m
RNF2	Cota do nível d'água = 90 m
Trecho T30	Comprimento = 100 m; D = 300 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N35	Cota = 84,60 m; consumo base = 0
Válvula FCV6	Válvula reguladora de vazão; Diâmetro 300 mm, parâmetro de controle (ver Quadro 7)
Nó N36	Cota = 84,60 m; consumo base = 0
Trecho T31	Comprimento = 10 m; D = 300 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N37	Cota = 84,60 m; consumo base = 0
Válvula PSV6	Válvula Sustentadora de Pressão; Diâmetro 300 mm, parâmetro de controle = 0
Nó N38	Cota = 84,60 m; consumo base = 0
Trecho T32	Comprimento = 0,0000001 m; D = 1000000 mm; C (Hazen Williams) = 1000000
Trecho T33	Comprimento = 16,50 m; D = 600 mm; C (Hazen Williams) = 115
Nó N39	Cota = 78,43 m; consumo base (ver Tabela 4)

Fonte: Autor (2024)

No caso do modelo isolado da elevatória do Benedito Bentes apresentado na Figura 16 e com descrição dos dados no Quadro 5, o ponto de partida é o RNF3, que representa um poço de sucção existente (cota de fundo 78,43 m). No modelo integrado (Figura 15) o RNF3 é

representado pelo nó N39. Para que o volume recalcado pela B1BB fosse equivalente ao volume consumido pelo nó N39, inseriu-se um consumo base e associou-se um padrão de consumo ao nó (Quadro 9). No modelo isolado, o nó N104 representa o ponto de partida da rede de distribuição com cota igual a cota de nível do terreno do reservatório elevado (ver padrão de consumo e consumo base nas Tabelas 3 e 4, respectivamente). Ainda que o reservatório elevado do Benedito Bentes tenha como nível máximo 7,60 m, nas simulações, este nível foi limitado a 6,25 m em virtude de um vazamento que ocorre pela tubulação do extravasor a partir do referido nível.

Figura 16 – Esquema do Sistema Isolado do Reservatório Benedito Bentes



Fonte: Autor (2024)

Quadro 5 – Dados dos Elementos do Sistema Isolado do Reservatório Benedito Bentes

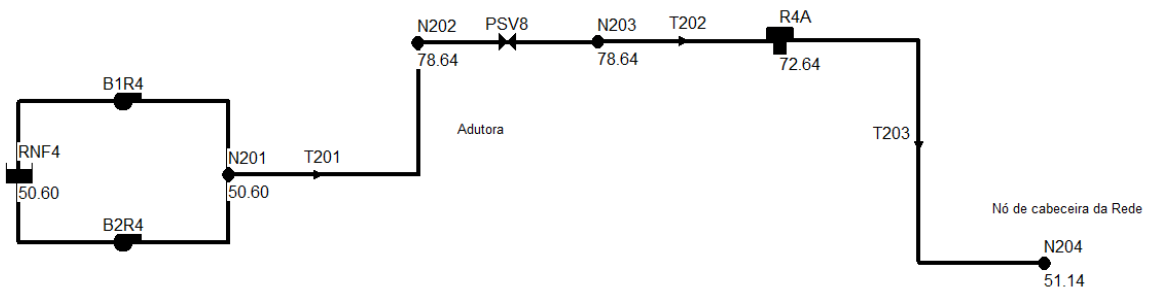
Elemento	Dados
RNF3	Cota do nível d'água = 78.43 m
Bomba B1BB	Curva característica: curva 00 – MB Benedito Bentes (vazão = 208,33 L/s, carga = 55 mca). Padrão = (ver Quadro 8)
Nó N101	Cota = 82,48 m; consumo base = 0
Trecho T101	Comprimento = 200m; D = 400 mm; Material= aço; Tempo de uso= maior que 20 anos; C (Hazen Williams) = 115
Nó N102	Cota = 120,65 m; consumo base = 0
PSV7	Válvula Sustentadora de Pressão; Diâmetro 400 mm, parâmetro de controle = 0
Nó N103	Cota = 120,65 m; consumo base = 0
Trecho T102	Comprimento = 0,0000001 m; D = 1000000 mm; C (Hazen Williams) = 1000000
Reservatório TBB	Curva característica: curva 2 – Torre Benedito Bentes (conforme Quadro 1); cota da laje de fundo = 113,05 m; altura de água máxima = 6,25 m; altura de água mínima = 0 m e altura de água inicial = 3,00 m
Trecho T103	Comprimento = 26,50m; D = 500 mm; Material= aço; Tempo de uso= maior que 20 anos C (Hazen Williams) = 115
Nó N104	Cota = 86,55 m; consumo base = (ver Tabela 4); padrão de consumo = (ver Tabela 3)

Fonte: Autor (2024)

No caso do modelo isolado da elevatória do R4A representado pela Figura 17 e descrito no Quadro 6, o ponto de partida é o RNF4, que representa o reservatório de onde ocorre

a sucção da água tratada. Adotou-se então a cota 50,60 m (cota de fundo do reservatório R4) como cota de nível de água do RNF4. No modelo integrado, o nó N29 representa o RNF4, e o trecho T25 é fictício, servindo apenas ao propósito de permitir o fluxo de saída do reservatório. Para que o volume recalcado pelas bombas B1R4 e B2R4 fosse equivalente ao volume consumido pelo nó N29, inseriu-se um consumo base e associou-se um padrão de consumo ao nó (Quadro 9). No modelo isolado, o nó N204 representa o ponto de partida da rede de distribuição, com cota igual a cota de nível do terreno do reservatório elevado (ver padrão de consumo e consumo base nas Tabelas 3 e 4, respectivamente).

Figura 17 – Esquema do Sistema Isolado do reservatório R4A



Fonte: Autor (2024)

Quadro 6 – Dados dos Elementos do Sistema Isolado do Reservatório R4A

Elemento	Dados
RNF4	Cota do nível d'água = 50,60 m
Bomba B1R4	Curva característica: curva 00 – R4A (vazão = 151,90 L/s, carga = 26,8 mca); Padrão = (ver Quadro 8)
Bomba B2R4	Curva característica: curva 00 – R4A (vazão = 151,90 L/s, carga = 26,8 mca); Padrão = (ver Quadro 8)
Nó N201	Cota = 50,60 m; consumo base = 0
Trecho T201	Comprimento = 127,30 m; D = 500 mm; Material= Ferro Fundido Dúctil; Tempo de uso= maior que 20 anos; C (Hazen Williams) = 115
Nó N202	Cota = 78,64 m; consumo base = 0
PSV8	Válvula Sustentadora de Pressão; Diâmetro 500 mm, parâmetro de controle = 0
Nó N203	Cota = 78,64 m; consumo base = 0
Trecho T202	Comprimento = 0,0000001 m; D = 1000000 mm; C (Hazen Williams) = 1000000
Reservatório R4A	Curva característica: curva 00 – Torre R4A (conforme Quadro 1); cota da laje de fundo = 72,64 m; altura de água máxima = 6,00 m; altura de água mínima = 0 m e altura de água inicial = 4,0 m
Trecho T203	Comprimento = 21,50m; D = 500 mm; Material= Ferro Fundido Dúctil; Tempo de uso= maior que 20 anos C (Hazen Williams) = 115
Nó N204	Cota = 51,14 m; consumo base = (ver Tabela 4); padrão de consumo = (ver Tabela 3)

Fonte: Autor (2024)

As características das bombas do *Booster* R6A e do *Booster* Jacintinho não foram disponibilizadas. Dessa forma, adotou-se como simplificação, a representação desses

subsistemas por meio dos nós de consumo N25 e N26, respectivamente. Os consumos bases considerados foram 400 m³/h para o N25 e 50 m³/h para o nó N26, conforme média diária distribuída e totalizada por meio do sistema de telemetria. O padrão de consumo foi fixado em 1. Ressalta-se que não havia cadastro da tubulação T22, dessa forma, a derivação até o *Booster Jacintinho* foi considerada com diâmetro de 200 mm e 100 m de extensão. A cota do nó N26 foi adotada em 56m, próximo ao valor da cota do nó N5 (54,91m), de onde o trecho T22 deriva.

Durante a elaboração do modelo, a adoção de diâmetros nominais ao invés do diâmetro interno das tubulações é corriqueira, tendo em vista que a pequena diferença entre esses valores se dá pelo tipo de revestimento do tubo ou por incrustações no seu interior devido à ação do tempo. Por isso, para efeitos de modelagem, foi adotado o diâmetro nominal do tubo.

Segundo Sanova (2021), o ajuste do erro entre a variação dos diâmetros é feito a partir dos coeficientes de rugosidade. Vale ressaltar que alterações nos valores de rugosidade causam um impacto menor em comparação ao ajuste do diâmetro interno.

As tubulações de saída de alguns reservatórios não constavam nos cadastros consultados. Dessa forma, os trechos T23 (associado ao reservatório R1), T24 (associado ao reservatório R2) e T30 (associado ao reservatório R2A) foram adotados com as características da tubulação de entrada (Quadro 4). Os nós de cabeceira de rede, associados aos reservatórios citados, respectivamente N27, N28 e N30 tiveram as cotas adotadas com um metro abaixo das cotas de fundo dos reservatórios associados.

As válvulas FCV1, FCV2, FCV3, FCV4, FCV5 e FCV6 são válvulas reais e operadas com o objetivo de controlar a vazão de entrada nos reservatórios. Possuem controle por telemetria as válvulas FCV1, FCV2 e FCV3. As demais válvulas podem ser manobradas manualmente. As válvulas PSV1, PSV2, PSV3, PSV4, PSV5, PSV6, PSV7 e PSV8 são válvulas fictícias, adicionadas ao modelo como artifício para que o fluxo de água entre por cima nos reservatórios. Os trechos T7, T12, T17, T20, T29, T32, T102 e T202 são trechos fictícios, com perda de carga desprezível, adicionados ao modelo tão somente para conectar as válvulas do tipo PSV aos reservatórios.

3.5 SIMULAÇÃO COM AUXÍLIO DO EPANET

As simulações foram realizadas nos modelos isolados (elevatória do Benedito Bentes e elevatória do R4A) e no modelo integrado considerando os padrões de consumo (Tabelas 3) e consumo base (Tabelas 4) apresentados anteriormente. Para cada modelo foram realizadas duas simulações, uma para o cenário dos dias comuns (120 h) e a outra para o cenário dos finais de semana (48 h). Considerou-se que o reservatório R2A passou a ser abastecido

exclusivamente pelo Sistema Pratagy, no caso de uma manutenção hipotética ou desativação do Sistema Catolé-Cardoso.

Entende-se como regra operacional a determinação das vazões disponibilizadas para cada área de abastecimento em horários estabelecidos, controladas por meio manobras de abertura e fechamento de válvulas e pelo regime de bombeamento nas estações elevatórias. Como premissas às regras cita-se: a operação da ETA em sua capacidade máxima; todos os poços elencados em funcionamento; o atendimento a demanda de consumo das áreas de abastecimento; a operação dos reservatórios entre os níveis mínimo e máximo. As válvulas FCV3 e FCV5 foram manobradas de modo a manter os reservatórios SBB e R4 com nível constante, para não influenciar na altura de sucção relacionada às bombas B1R4, B2R4 e B1BB.

No presente trabalho, não foram considerados os dados de pressão e vazão nas redes de distribuição das áreas de abastecimentos atendidas pelo Sistema Pratagy. Dessa forma, considerou-se que os projetos previram uma capacidade de armazenamento adequada, prevendo além do volume útil, o volume para emergências e o volume para combate a incêndios. Considerou-se ainda que o incêndio não ocorre ao mesmo tempo com as emergências. Cabe então, em futuros estudos, verificar se os níveis máximos (nível próximo ao nível de transbordo) e mínimo (acima da cota de fundo dos reservatórios) atendem às pressões de serviço nas redes de distribuição.

Para todos os casos, a primeira tentativa de estabelecimento da regra operacional visou a disponibilização de uma vazão constante na entrada dos reservatórios. Não sendo possível, foi estabelecida uma vazão máxima para o enchimento dos reservatórios durante a madrugada e outra vazão para os demais horários.

Para os casos dos reservatórios R2 e R2A, a análise de demanda de consumo foi indeterminada pelo método utilizado neste trabalho. Ainda que a vazão disponibilizada para essas áreas de abastecimento tenha variado ao longo do período em análise, observou-se que o nível desses reservatórios sofre pequenas variações e permanece baixo. O padrão de consumo processado pelas aplicações (Pratagy-Módulo1 e Pratagy-Módulo2) aproximou-se de 1 em todos os horários, tanto para dias comuns como para os finais de semana.

Pode-se inferir que a vazão disponibilizada para estas áreas de abastecimento não atendeu ao consumo demandado pela rede de distribuição associada a esses reservatórios. Desta forma, nas simulações, direcionou-se a vazão média disponibilizada no período para o reservatório R2. O fluxo direcionado para o R2A foi calculado de modo que a oferta de água no sistema integrado não ultrapassasse o volume produzido pela ETA e pelos poços externos.

A seguir, são evidenciadas as vazões praticadas por meio do controle das válvulas do tipo FCV e por meio do controle das bombas (motores associados a sistemas elétricos com inversores de frequência) (Quadro 7).

Quadro 7 – Controle das Válvulas do Tipo FCV

Fonte/destino	Válvula	Parâmetro de controle (l/s)	
		Segunda à sexta	Finais de semana
ETA /SBB	FCV5	43,27	[00h-05h] – 34,20 [06h-23h] – 56,28
Poços externos /SBB	FCV6	152,97	152,97
ETA /R1	FCV1	418,05	396,58
ETA /R2	FCV2	234,44	242,77
ETA/R2A	FCV4	132,30	[00h-05h] – 158,82 [06h-23h] – 136,74
ETA /R4	FCV3	126,95	122,64

Fonte: Autor (2024)

Nos finais de semana, as válvulas FCV4 e FCV5 foram operadas com vazões diferentes em horários definidos pelos controles programados no EPANET apresentados nos apêndices.

A seguir são apresentados os dados referentes ao padrão de bombeamento empregado nas simulações (Quadro 8).

Quadro 8 – Padrão de Operação das Bombas – (agosto a novembro de 2023)

Benedito Bentes – B1BB					
Segunda à sexta			finais de semana		
intervalo	fator multiplicativo	vazão equivalente (m³/h)	intervalo	fator multiplicativo	vazão equivalente (m³/h)
[1-24]	0,03565	706	[1-6]	0,89153	674
			[7-24]	0,92152	753
R4 – B1R4 e B2R4					
Segunda à sexta			finais de semana		
intervalo	fator multiplicativo	vazão equivalente (m³/h)	intervalo	fator multiplicativo	vazão equivalente (m³/h)
[1-24]	0,912175	457	[1-24]	0,91045	442

Fonte: Autor (2024)

A seguir, apresentam-se as configurações dos nós que possuem consumo nos sistemas isolados e no sistema integrado (Quadro 9).

Quadro 9 – Configurações dos Nós que possuem Consumo

Nó / sistema associado	Segunda à sexta		Finais de semana	
	Consumo Base	Padrão de Consumo	Consumo Base	Padrão de Consumo
N25 (R6A)	111,11	Fixo em 1	111,11	Fixo em 1
N26 (Jacintinho)	13,88	Fixo em 1	13,88	Fixo em 1
N27 (R1)	418,05	Tabela 3	397,22	Tabela 3
N28 (R2)	234,44	Fixo em 1	242,77	Fixo em 1
N29 (Ponto conexão com RNF4 - R4a)	126,95	Fixo em 1	122,64	Fixo em 1
N30 (R2A)	132,30	Fixo em 1	158,82	[1-6] – 1 [7-24] – 0,86097469
N39 (Ponto de conexão com RNF3 – Benedito Bentes)	196,24	Fixo em 1	209,25	[1-6] – 0,894480287 [7-24] - 1
N104 (TBB)	195,83	Tabela 3	204,16	Tabela 3
N 204 (R4A)	126,11	Tabela 3	125,55	Tabela 3

Fonte: Autor (2024)

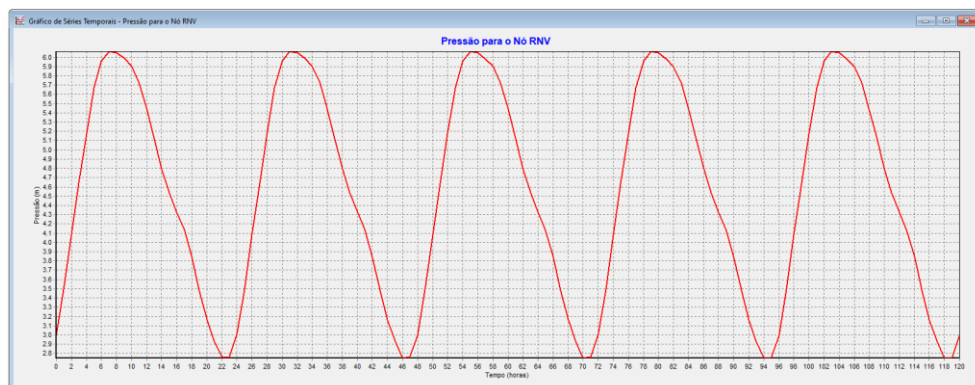
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

4.1.1 Benedito Bentes

A simulação realizada, considerando o cenário para dias comuns (120h), atingiu o equilíbrio por meio da operação da bomba com uma vazão única de 706 m³/h. O nível do reservatório final foi igual ao nível inicial (3m) e os níveis mínimo e máximo foram, respectivamente, 2,76 m e 6,06 m conforme Figura 18. As pressões mínima e máxima no nó N104 (nó de cabeceira da rede de distribuição) foram, respectivamente, 29,19 mca e 32,50 mca.

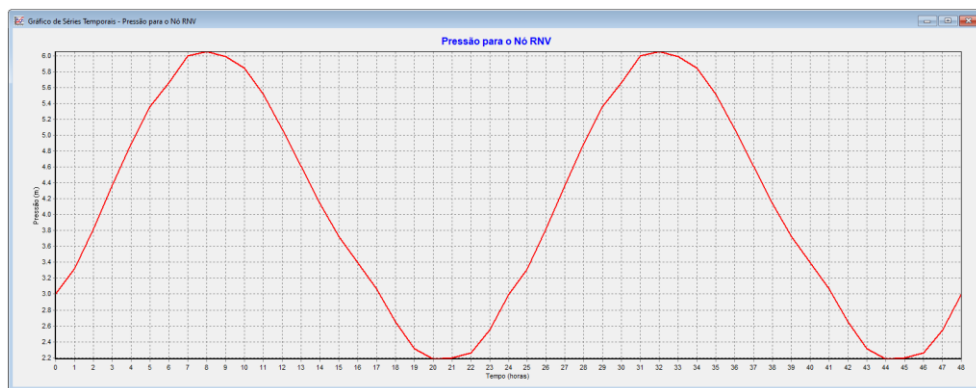
Figura 18 – Nível do Reservatório Benedito Bentes Conforme Simulação para Dias Comuns



Fonte: Autor (2024)

A simulação realizada, considerando o cenário para finais de semana (48h), atingiu o equilíbrio por meio da operação da bomba com vazões distintas: das 00h às 06h a vazão foi de 674 m³/h e, a partir das 06h, a vazão foi de 753 m³/h. O nível do reservatório final foi igual ao nível inicial (3 m) e os níveis mínimo e máximo foram, respectivamente, 2,14 m e 6,00 m conforme Figura 19. As pressões mínima e máxima no nó N104 (nó de cabeceira da rede de distribuição) foram, respectivamente, 28,57 mca e 32,42 mca.

Figura 19 – Nível do Reservatório Benedito Bentes Conforme Simulação para Finais de Semana

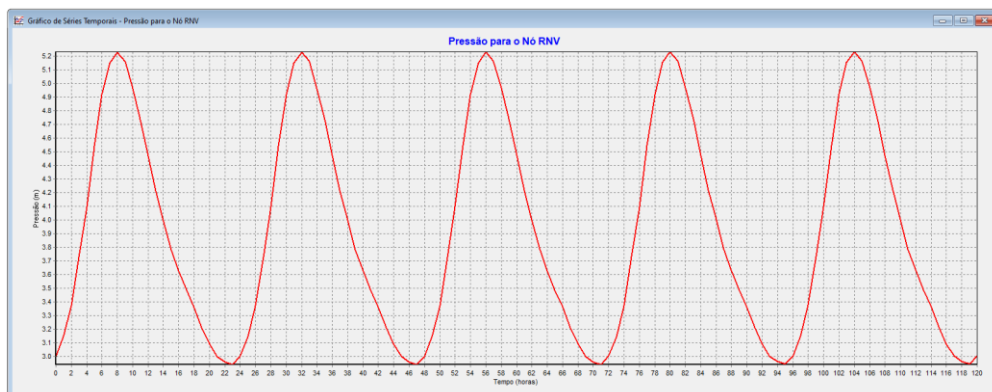


Fonte: Autor (2024)

4.1.2 R1

A simulação realizada, considerando o cenário para dias comuns (120h), atingiu o equilíbrio por meio da operação da válvula controladora de vazão (FCV1) com uma vazão única de 1511 m³/h. O nível do reservatório final foi igual ao nível inicial (3m) e os níveis mínimo e máximo foram, respectivamente, 2,94 m e 5,23 m conforme Figura 20. As pressões mínima e máxima no nó N27 (nó na saída do reservatório) foram, respectivamente, 3,69 mca e 5,95 mca.

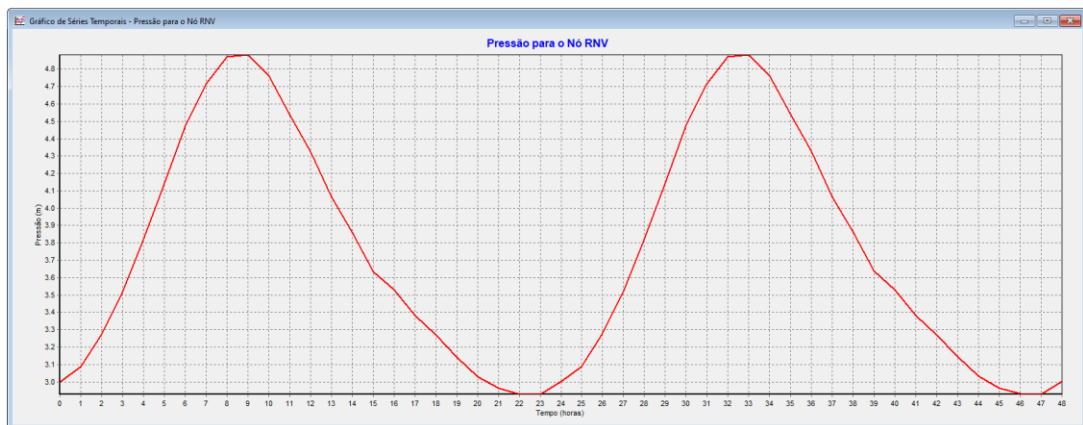
Figura 20 – Nível do Reservatório R1 Conforme Simulação para Dias Comuns



Fonte: Autor (2024)

A simulação realizada, considerando o cenário para finais de semana (48h), atingiu o equilíbrio por meio da operação da válvula controladora de vazão (FCV1) com uma vazão única de 1428 m³/h. O nível do reservatório final foi igual ao nível inicial (3 m) e os níveis mínimo e máximo foram, respectivamente, 2,93 m e 4,88 m conforme Figura 21. As pressões mínima e máxima no nó N27 (nó na saída do reservatório) foram, respectivamente, 3,68 mca e 5,62 mca.

Figura 21 – Nível do Reservatório R1 Conforme Simulação para Finais de Semana



Fonte: Autor (2024)

4.1.3 R2

A simulação foi realizada considerando o cenário para dias comuns (120h) e a válvula controladora de vazão (FCV2) foi ajustada com uma vazão única de 844 m³/h. O nó N28 foi configurado para que o volume disponibilizado ao reservatório fosse integralmente consumido. O nível do reservatório permaneceu fixo em 1m. A pressão nó N28 (nó na saída do reservatório) permaneceu fixa em 1,97 mca.

A simulação foi realizada considerando o cenário para finais de semana (48h) e a válvula controladora de vazão (FCV2) foi ajustada com uma vazão única de 874 m³/h. O nó N28 foi configurado para que o volume disponibilizado ao reservatório fosse integralmente consumido. O nível do reservatório permaneceu fixo em 1 m. A pressão nó N28 (nó na saída do reservatório) permaneceu fixa em 1,97 mca.

4.1.4 R2A

A simulação foi realizada considerando o cenário para dias comuns (120h) e a válvula controladora de vazão (FCV4) foi ajustada com uma vazão única de 476 m³/h. O nó N30 foi configurado para que o volume disponibilizado ao reservatório fosse integralmente

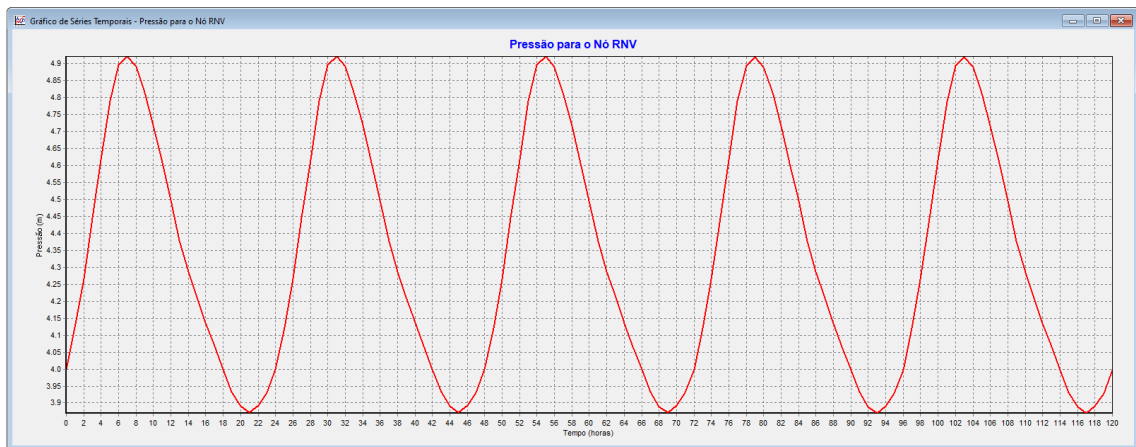
consumido. O nível do reservatório permaneceu fixo em 1m. A pressão nó N30 (nó na saída do reservatório) permaneceu fixa em 2,0 mca.

A simulação foi realizada considerando o cenário para finais de semana (48h) e a válvula controladora de vazão (FCV4) foi ajustada com vazões distintas: das 00h às 06h a vazão foi de 572 m³/h e, a partir das 06h, a vazão foi de 492 m³/h. O nó N30 foi configurado para que o volume disponibilizado ao reservatório fosse integralmente consumido. O nível do reservatório permaneceu fixo em 1m. A pressão nó N30 (nó na saída do reservatório) permaneceu fixa em 2,0 mca.

4.1.5 R4A

A simulação realizada, considerando o cenário para dias comuns (120h), atingiu o equilíbrio por meio da operação da bomba com uma vazão única de 457 m³/h. O nível do reservatório final foi igual ao nível inicial (4 m) e os níveis mínimo e máximo foram, respectivamente, 3,87 m e 4,92 m conforme Figura 22. As pressões mínima e máxima no nó N204 (nó de cabeceira da rede de distribuição) foram, respectivamente, 25,35 mca e 26,40 mca.

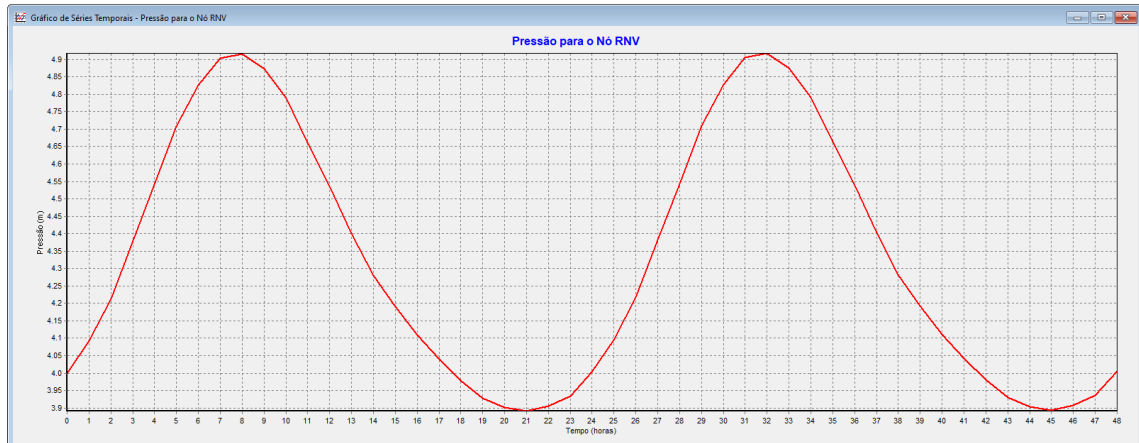
Figura 22 – Nível do Reservatório R4A Conforme Simulação para Dias Comuns



Fonte: Autor (2024)

A simulação realizada, considerando o cenário para finais de semana (48h), atingiu o equilíbrio por meio da operação da bomba com uma vazão única de 442 m³/h. O nível do reservatório final foi igual ao nível inicial (4m) e os níveis mínimo e máximo foram, respectivamente, 3,89 m e 4,92 m conforme Figura 23. As pressões mínima e máxima no nó N204 (nó de cabeceira da rede de distribuição) foram, respectivamente, 25,37 mca e 26,39 mca.

Figura 23 – Nível do Reservatório R4A Conforme Simulação para Finais de Semana



Fonte: Autor (2024)

4.1.6 Booster R6A e *Booster* Jacintinho

Nas simulações realizadas para dias comuns (120h) e nas simulações realizadas considerando o cenário para finais de semana (48h) as vazões disponibilizadas aos *Booster* R6A e *Booster* Jacintinho foram, respectivamente 400 m³/h e 50 m³/h. As pressões na entrada do *Booster* R6A (nó N25) permaneceu constante com 14,55 mca durante os dias comuns e durante o final de semana ficou em 14,58 mca até às 05h e em 14,80 mca a partir das 06h. As pressões na entrada do *Booster* Jacintinho (nó N26) permaneceu constante com 19,61 mca durante os dias comuns e durante o final de semana ficou em 20,12 mca até às 05h e em 20,34 mca a partir das 06h.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

As simulações realizadas evidenciaram que a produção máxima do Sistema Pratygy atenderia parcialmente ao consumo demandado em sua área de abrangência, caso houvesse necessidade de direcionar parte do fluxo para o reservatório R2A, abastecido em primeira opção pelo Sistema Catolé-Cardoso. Descartada essa possibilidade, estudos adicionais seriam necessários para planejar o abastecimento do reservatório R2, já que não foi possível determinar a demanda de consumo da região abastecida por meio da metodologia utilizada neste trabalho.

As regras de operação definidas permitem que o sistema seja operado com vazões fixas na entrada de todos os pontos de consumo, durante os dias comuns. Já nos finais de

semana, as vazões de entrada no reservatório TBB, SBB e R2A foram fixadas das 00h até às 06h da manhã. Nesse horário, fez-se necessário a realização de manobras para que um novo valor fixo de vazão fosse direcionado para esses reservatórios. Tal fato deve-se à limitação na capacidade de acumulação de água no reservatório TBB. Trabalhos futuros poderão investigar o comportamento do Sistema, utilizando a capacidade máxima de armazenamento desse reservatório.

Como regra operacional, os níveis dos reservatórios associados às estações elevatórias foram fixados para manter constante a altura de sucção de bombeamento. No caso do reservatório R4, há uma válvula que permite o controle da vazão de entrada remotamente, propiciando ajustes mais finos e constantes. No caso do reservatório SBB, a válvula é operada manualmente, de forma a ser possível um menor número de intervenções. Assim, deve-se admitir que os níveis desses reservatórios possam sofrer pequenas oscilações, sempre ajustados em torno do valor de referência.

Destaca-se a importância das captações subterrâneas, que reforçam o abastecimento dos reservatórios do Sistema Pratagy em cerca de 20%, se comparado ao volume nominal da ETA. Futuros trabalhos poderão dedicar-se a modelagem dos poços, tomando proveito dos resultados das simulações para promover melhorias no sistema de abastecimento. Levantamentos adicionais também poderão ser realizados para o conhecimento das características do *Booster* R6A e do *Booster* Jacintinho, bem como, sondagens poderão ser realizadas para a determinação das propriedades dos trechos não cadastrados que tiveram suas características estimadas.

Neste trabalho, adotou-se como padrão de consumo a média dos índices horários das séries temporais agrupadas para o quadrimestre avaliado. O consumo base também foi definido pela média de consumo do período, para cada região de abastecimento. Esses valores são norteadores da operação do sistema e definem regras que devem ser ajustadas de acordo com possíveis intercorrências.

Por meio da aplicação Pratagy-Módulo1, desenvolvida pelo autor, pode-se gerar um banco de dados com os consumos horários, para cada área de abastecimento. Com isso, poderão ser realizados estudos anuais e determinados os coeficientes k_1 , k_2 , k_3 . Esses parâmetros são importantes para o planejamento da operação de sistemas de abastecimento, e permitem que os gestores tomem decisões com base no conhecimento das flutuações extremas ao longo do tempo. Pequenos ajustes poderão ser feitos na aplicação Pratagy-Módulo2 para que o programa calcule automaticamente os parâmetros citados na análise anual.

Este trabalho poderá ser utilizado como ponto de partida para a investigação das condições atuais de abastecimento da área de abrangência do Sistema Pratygy. Medições de pressão e vazão em pontos de coleta de dados nas redes de distribuição poderão evidenciar se os níveis mínimos e máximos nos reservatórios estão adequados.

As ferramentas desenvolvidas poderão auxiliar no planejamento da operação do Sistema Pratygy e em outros Sistemas de Abastecimento em que a metodologia adotada por esse trabalho se demonstre aplicável. As ferramentas em Python demonstraram-se fundamentais no processamento de grande quantidade de dados e úteis à modelagem do Sistema Pratygy com o uso da ferramenta *EPANET*. Os códigos em linguagem *Python* e as instruções aplicadas no *software EPANET* estão apresentados nos Apêndices B, C e D.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para trabalhos futuros o estudo de cenários alternativos para análise do comportamento do Sistema Pratygy, tais como:

- Desativação dos poços;
- Uso de séries temporais de épocas variadas do ano;
- Uso da capacidade máxima do reservatório elevado do Benedito Bentes;
- Uso de curvas de consumo únicas, desconsiderando as variações presentes nos finais de semana;
- Uso de parâmetros extremos k_1 , k_2 e k_3 .

REFERÊNCIAS

- ASCENSÃO, Carlos Ferreira Pinto. **Estudo de modelos de reconstrução de séries temporais de caudal em sistemas de abastecimento de água**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Área de Especialização: Estruturas) – Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal, 2023.
- BONADIO, Larissa de Castro. **Programação das bombas hidráulicas para otimização energética em sistemas de abastecimento de água utilizando Python e o software EPANET**. 2023.
- COELHO, Sérgio Teixeira; LOUREIRO, Dália; ALEGRE, Helena. **Modelação e análise de sistemas de abastecimento de água**. Lisboa: Instituto Regulador de Águas e Resíduos; Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
- Companhia de Saneamento de Alagoas. **Capital**. Disponível em: <https://www.casal.al.gov.br/capital/>. Acesso em: 27 fevereiro 2024.
- Companhia de Saneamento de Alagoas. **História**. Disponível em: <https://www.casal.al.gov.br/historia/>. Acesso em: 27 fevereiro 2024.
- Companhia de Saneamento de Alagoas. **Sistema Pratagy opera com capacidade reduzida após falta de energia**. Disponível em: <https://www.casal.al.gov.br/2022/01/sistema-pratagy-opera-com-capacidade-reduzida-apos-falta-de-energia/>. Acesso em: 27 fevereiro 2024.
- COSTA, V.C.; REIS, R.S. **Análise da Variabilidade Temporal de Qualidade da Água Bruta e Tratada na ETA do Pratagy**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo – SP. Anais [...]. São Paulo, ABRH, 2007. 16 p. Disponível em: https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/151/b1aa42639e360cdf186280ce2e439ee8_1380b263330eb8f8451785973c1c0130.pdf . Acesso em: 27 fevereiro 2024.
- DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L.P. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. v. 1 e 2. São Carlos: LDiBe. 1560 p., 2008.
- FILHO, S.S.F. **Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

GARCEZ, L.N. **Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária**. 2.ed. São Paulo: Edgard Bluncher LTDA, 1976.

GOMES, H.P. **Abastecimento de água**. João pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2019.

GOMES, H.P.; SALVINO, M. M. **Manual do Usuário Epanet 2.0 Brasil**: Laboratório de eficiência energética e hidráulica em saneamento da UFPB. 2009.

JÚNIOR, J. F. de O.; SOUZA, P. H. de A.; SOUZA, E. de O.; VANDERLEI, M. H. G. dos S.; FILHO, W. L. F. C.; SANTOS, C. T. B.; BATISTA, B. A.; SANTIAGO, D. B.; GOIS, G. **Climatologia da chuva em Maceió: aspectos climáticos e ambientais**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 4, p. 2253-2264, 2021.

LOURENÇO, Claudio Abiar et al. **Desenvolvimento de banco de dados para sistemas de abastecimento de água visando eficiência hidroenergética usando R e EPANET**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 29, p. e20230143, 2024.

Ministério da Saúde. **PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021**. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html . Acesso em: 27 fevereiro 2024.

Nascimento, M.C., Lombardo, M.A., Guimarães Junior, S.A.M., e Andrade, E.L. (2018). **Análise da vulnerabilidade físico-ambiental causada pelas chuvas intensas na Região Metropolitana de Maceió**. Caminhos da Geografia (UFU. Online), 19, 268-288. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/Hygeia196718>.

Nazaré, A.V.B. **Modelagem e simulação do sistema adutor principal da bacia leiteira em Alagoas utilizando o EPANET**. 2012. 209 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – PPGRHS – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

NETTO, J.M.A *et al.* **Projeto de Sistemas de Distribuição de Água**. São Paulo: CETESBE, 1975.

PARRAS, I. G. **Modelo matemático para a otimização energética em sistemas de abastecimento, considerando zonas de pressão e condições estruturais**. Dissertação

(Mestrado) – Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Engenharia, Bauru. 2020.
Disponível em: . Acesso em: 27 Nov. 2024

Presidência da República. **LEI Nº 14.026, DE 15 DE JULHO DE 2020**. Disponível em:
https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 27
fevereiro 2024.

RODRIGUES, Ludmila Machado. **Análise de Eficiência Energética em Sistema De Abastecimento de Água**. 2024.

SANOVA; Companhia de Água e Esgoto do Estado de Rondônia – CAERD; BS2G Consultoria Ltda. **Apostila teórica sobre modelagem hidráulica com o software EPANET**. 2021.

SANTOS, Cláudia Cristina dos e PEREIRA FILHO, Augusto José e GINEZ, Wagner Garcia. **Características do consumo de água na Região Metropolitana de São Paulo e os impactos do tempo e do clima**. 2006, Anais.. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2006.

SANTOS, F.M.P. **Tendências de Deslocamento Populacional no Caso de Afundamento do Solo em Maceió/AL e Seus Impactos no Abastecimento de Água em Localidades Receptoras de Realocação**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia. Maceió, 2022.

SILVA, Ofélia de Lira Carneiro. **Viabilidade técnica econômica, econômica e ambiental no reaproveitamento de água de lavagem de ETAs - estudo de caso: ETA Gravatá - Campina Grande/PB**. Campina Grande, f. 196, 2007. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande.

TSUTYIA, M.T. **Abastecimento de Água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

VICENTE, Rosmeiry Vanzella. **Modelo de operação para centros de controle de sistemas de abastecimento de água: estudo de caso: sistema adutor metropolitano de São Paulo**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

ZAHED FILHO, K. **Previsão de demanda de consumo em tempo real no desenvolvimento operacional de sistemas de distribuição de água.** Tese de doutorado, Escola Politécnica da USP. 1990, 135p.

APÊNDICE A

Tabela 5 – Coordenadas dos elementos do Sistema Pratagy e Integração com o Sistema Cardoso

Item	Latitude	Longitude	Área Abastecida
Captação Pratagy	9°31'47.05"S	35°41'26.52"O	-
ETA Josué Palmeira	9°33'34.19"S	35°44'19.28"O	-
Caixa de Passagem saída da ETA Josué Palmeira	9°33'32.15"S	35°44'18.39"O	-
SBB	9°33'26.21"S	35°44'23.62"O	-
EEAT Benedito Bentes	9°33'25.47"S	35°44'24.73"O	-
TBB	9°33'27.44"S	35°44'20.33"O	Benedito Bentes
Booster R6A	9°38'13.23"S	35°42'56.01"O	Jacintinho
Booster Jacintinho	9°38'45.77"S	35°43'6.39"O	Jacintinho
R1	9°38'44.92"S	35°43'5.44"O	Cruz das Almas, Jatiúca, Ponta Verde, Pajuçara, Jaraguá, Poço
R4	9°37'59.74"S	35°44'14.32"O	-
EEAT R4	9°37'59.66"S	35°44'15.28"O	-
R4A	9°38'0.87"S	35°44'16.99"O	Farol, Pinheiro, Gruta de Lourdes, Pitanguinha
R2A	9°38'49.31"S	35°44'13.48"O	Orla Lagunar
R2	9°39'39.67"S	35°44'3.57"O	Centro, Pontal
Captação Catolé Cardoso	9°33'38.73"S	35°47'46.55"O	-
ETA Cardoso	9°37'24.95"S	35°44'47.78"O	-
Caixa de Passagem saída da ETA Cardoso	9°37'25.58"S	35°44'48.61"O	-
EEAT Cardoso-R2A	9°37'26.23"S	35°44'48.90"O	-
Poços internos			
P-MAC-BB-05	9°33'24.29"S	35°44'23.42"O	-
P-MAC-BB-06	9°33'27.27"S	35°44'27.29"O	-
P-MAC-BB-16	9°33'27.00"S	35°44'25.00"O	-
P-MAC-BB-17	9°33'30.00"S	35°44'25.00"O	-
P-MAC-BB-18	9°33'29.00"S	35°44'20.00"O	-
Poços externos			
P-MAC-BB-01	9°32'42.36"S	35°43'40.80"O	-
P-MAC-BB-02	9°32'47.00"S	35°43'45.00"O	-
P-MAC-BB-03	9°32'56.28"S	35°43'55.10"O	-
P-MAC-BB-04	9°33'18.61"S	35°44'18.23"O	-
P-MAC-BB-08	9°32'35.37"S	35°43'33.47"O	-
P-MAC-BB-13	9°33'14.34"S	35°44'13.88"O	-
P-MAC-BB-14	9°33'9.15"S	35°44'8.47"O	-

Fonte: Autor (2024)

APÊNDICE B

Algoritmo computacional em Python Pratygy-Módulo1

```

import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import calendar
import os

# Definindo variáveis dos dados de entrada
nivel_rese_bb = "Penas do Gráfico-RMM Benedito Bentes I - REL\\Nível (MCA)"
vazao_ent_rese_bb = "Penas do Gráfico-RMM Benedito Bentes I - REL-Vazão Entrada"

nivel_rese_r1 = "Penas do Gráfico-RMM R-01 - RES - Câmara 02\\Nível (MCA)"
vazao_ent_rese_r1 = "Penas do Gráfico-RMM R-01 - RES - Câmara 01\\Vazão Sucção"

nivel_rese_r2 = "Penas do Gráfico-RMM R-02\\Nível (MCA)"
vazao_ent_rese_r2 = "Penas do Gráfico-RMM R-02\\Vazão Sucção"

nivel_rese_r2a = "Penas do Gráfico-RMM R-02A\\Nível (MCA)"
vazao_ent_rese_r2a = "Penas do Gráfico-RMM R-02A\\Vazão Sucção"

nivel_rese_r4 = "Penas do Gráfico-RMM R-04 - Torre\\Nível (MCA)"
vazao_ent_rese_r4 = "Penas do Gráfico-RMM R-04 - Torre\\Vazão Sucção"

# Expressões de volume
expressoes_de_volume = {
    "Benedito Bentes": lambda altura_h: altura_h**3 * 0.9608 + altura_h**2 * 23.176 + altura_h *
35.367,
    "r1": lambda altura_h: altura_h**2 * -62.278 + altura_h * 1690.1 ,
    "r2": lambda altura_h: altura_h*1005.28,
    "r2a": lambda altura_h: altura_h*653.31,
    "r4": lambda altura_h: altura_h**3 * 1.395738 + altura_h**2 * 33.161258 + altura_h * 262.625451
}

# Menu para seleção do reservatório
def escolher_reservatorio():
    reservatorios = {
        "Benedito Bentes": (nivel_rese_bb, vazao_ent_rese_bb, expressoes_de_volume["Benedito
Bentes"]),
        "r1": (nivel_rese_r1, vazao_ent_rese_r1, expressoes_de_volume["r1"]),
        "r2": (nivel_rese_r2, vazao_ent_rese_r2, expressoes_de_volume["r2"]),
        "r2a": (nivel_rese_r2a, vazao_ent_rese_r2a, expressoes_de_volume["r2a"]),
        "r4": (nivel_rese_r4, vazao_ent_rese_r4, expressoes_de_volume["r4"])
    }

    print("Selecione o reservatório:")
    for i, reservatorio in enumerate(reservatorios.keys(), 1):
        print(f"{i}. {reservatorio}")

# Selecionando o reservatório
while True:
    try:
        opcao_reservatorio = int(input("Digite o número correspondente ao reservatório desejado:
(1)Benedito Bentes; (2)r1; (3)r2; (4)r2a; (5)r4 "))
        if 1 <= opcao_reservatorio <= len(reservatorios):
            reservatorio_selecionado = list(reservatorios.keys())[opcao_reservatorio - 1]

```

```

        nivel, vazao_ent_rese, expressao_volume = reservatorios[reservatorio_selecionado]
        break
    else:
        print(f"Por favor, escolha um número entre 1 e {len(reservatorios)}.")
except ValueError:
    print("Entrada inválida! Por favor, insira um número.")

return reservatorio_selecionado, nivel, vazao_ent_rese, expressao_volume

# Executa a função para escolher o reservatório e armazena os valores
reservatorio, nivel, vazao_ent_rese, expressao_volume = escolher_reservatorio()

# Imprime os resultados para verificação
print(f"Reservatório selecionado: {reservatorio}")
print(f"Nível associado: {nivel}")
print(f"Vazão de entrada associada: {vazao_ent_rese}")
print(f"Expressão de volume associada: {expressao_volume}")

# Menu para seleção do período de análise

def escolher_periodo():
    meses = ["Janeiro", "Fevereiro", "Março", "Abril", "Maio", "Junho", "Julho", "Agosto", "Setembro",
"Outubro", "Novembro", "Dezembro"]

    print("Selecione o mês:")
    for i, mes in enumerate(meses, 1):
        print(f"{i}. {mes}")

    opcao_mes = int(input("Digite o número correspondente ao mês desejado (Digite um número entre
1 e 12): "))

    while opcao_mes < 1 or opcao_mes > 12:
        opcao_mes = int(input("Opção inválida! Digite um número entre 1 e 12: "))

    mes = meses[opcao_mes - 1]

    ano = input("Digite o ano com quatro dígitos (ex: 2023): ")
    while not ano.isdigit() or len(ano) != 4:
        ano = input("Entrada inválida! Digite um ano válido com quatro dígitos (ex: 2023): ")

    return mes, int(ano)

# Executa a função para escolher o período e armazena os valores
mes, ano = escolher_periodo()

print(f"Mês selecionado: {mes}")
print(f>Ano selecionado: {ano}")

#formatando o pandas para os valores no dataframe nao aparecerem em notação científica
pd.options.display.float_format = '{:.2f}'.format

#importando o arquivo de dados
# Lista para armazenar os DataFrames
bases_df = []

# Criar uma lista com os nomes dos meses em português
meses_portugues = ['Janeiro', 'Fevereiro', 'Março', 'Abril', 'Maio', 'Junho',
'Julho', 'Agosto', 'Setembro', 'Outubro', 'Novembro', 'Dezembro']

# Obter o número do mês a partir do nome em português (por exemplo, "Agosto")

```

```

mes_numero = meses_portugues.index(mes) + 1 # Converte o nome do mês para o número
correspondente

# Obter o último dia do mês escolhido
ultimo_dia = calendar.monthrange(ano, mes_numero)[1]

# Definir o caminho base automaticamente como o local onde o script está salvo
caminho_base = os.getcwd()

# Montar o caminho completo para o ano e mês escolhidos, apontando para a pasta 'entradas'
caminho_completo = os.path.join(caminho_base, str(ano), str(mes_numero), "entradas")

# Verificar se o caminho existe
if not os.path.exists(caminho_completo):
    raise FileNotFoundError(f"Caminho {caminho_completo} não encontrado")

# Lista para armazenar os DataFrames de resumo
df_resumos = []

# Itera sobre todos os dias do mês
for dia in range(1, ultimo_dia + 1):
    arquivo = os.path.join(caminho_completo, f'{dia:02d}.xlsx') # Monta o caminho completo do
arquivo

    try:
        base_df = pd.read_excel(arquivo) # Lê o arquivo Excel
        bases_df.append(base_df) # Adiciona o DataFrame à lista

        # Corrigindo a data
        base_df['data_convertida'] = pd.to_datetime(base_df['Time'], origin='1899-12-30', unit='D')

        # Substituindo valores vazios pelo valor anterior
        base_df[nivel] = base_df[nivel].fillna(method="ffill")
        base_df[vazao_ent_rese] = base_df[vazao_ent_rese].fillna(method="ffill")

        # Convertendo o nível da telemetria no nível real do reservatório
        if reservatorio == "Benedito Bentes":
            base_df['altura_h'] = base_df[nivel] - 0.25
        else:
            base_df['altura_h'] = base_df[nivel] + 0.25

        # Gerando a coluna de volumes
        base_df['volume_torre'] = expressao_volume(base_df['altura_h'])

        # Criando a variável de variação de volume
        base_df['vari_vol'] = base_df['volume_torre'].diff(periods=-1)
        base_df['vari_vol'] = base_df['vari_vol'].fillna(0) # Substitui valores vazios da coluna vari_vol
        base_df['vari_vol'] = base_df['vari_vol'] * -1 # Corrige o sinal da variação de volume

        # Calculando a variação de volume na torre por hora
        intervalos = [(0, 12), (13, 24), (25, 37), (38, 49), (50, 62), (63, 74), (75, 87), (88, 99),
            (100, 112), (113, 124), (125, 137), (138, 149), (150, 162), (163, 174), (175, 187),
            (188, 199), (200, 212), (213, 224), (225, 237), (238, 249), (250, 262), (263, 274),
            (275, 287), (288, 299)]

        soma_vari_vol = [base_df['vari_vol'].iloc[inicio:fim + 1].sum() for inicio, fim in intervalos]
        med_vaz = [base_df[vazao_ent_rese].iloc[inicio:fim + 1].mean() for inicio, fim in intervalos]
        # Criando DataFrames a partir de listas
        df_vazoes = pd.DataFrame(med_vaz, columns=['med_vaz_ent'])
        df_soma_vari_vol = pd.DataFrame(soma_vari_vol, columns=['vari_vol_rese'])

```

```

# Juntando DataFrames
df_resumo = pd.concat([df_vazoes, df_soma_vari_vol], axis='columns')

# Calculando o consumo horário
df_resumo['consumo_horario'] = df_resumo['med_vaz_ent'] - df_resumo['vari_vol_rese']

# Calculando o consumo base
df_resumo['consumo_base'] = df_resumo['med_vaz_ent'].mean()

# Calculando o fator de consumo
df_resumo['fator_consumo'] = df_resumo['consumo_horario'] / df_resumo['consumo_base']

# Calculando o volume produzido
df_resumo['vol_produz'] = df_resumo['med_vaz_ent'].sum()

# Calculando o volume consumido
df_resumo['vol_consum'] = df_resumo['consumo_horario'].sum()

# Limpando as colunas de volume produzido e volume consumido
df_resumo['vol_produz'] = df_resumo['vol_produz'].where(df_resumo.index == 0, pd.NA)
df_resumo['vol_consum'] = df_resumo['vol_consum'].where(df_resumo.index == 0, pd.NA)

# Criando uma coluna com o índice que corresponderá ao horário
df_resumo['Horario'] = df_resumo.index

# Organizando para a coluna Horario ser a primeira
colunas = ['Horario'] + [col for col in df_resumo.columns if col != 'Horario']
df_resumo = df_resumo[colunas]

# Formatando o nome das colunas
df_resumo = df_resumo.rename(columns={
    'Horario': 'HORARIO',
    'med_vaz_ent': 'MEDIA VAZAO ENTRADA [M3/H]',
    'vari_vol_rese': 'VARIACAO VOLUME RESERVATORIO [M3]',
    'consumo_horario': 'CONSUMO HORARIO [M3]',
    'consumo_base': 'CONSUMO BASE [M3]',
    'fator_consumo': 'FATOR DE CONSUMO',
    'vol_produz': 'VOLUME PRODUZIDO [M3]',
    'vol_consum': 'VOLUME CONSUMIDO [M3]'
})

# Adiciona o DataFrame de resumo à lista
df_resumos.append(df_resumo)

except FileNotFoundError:
    print(f"Arquivo {arquivo} não encontrado, pulando.")

# Concatenando todos os DataFrames de resumo em um único DataFrame
df_resumo_final = pd.concat(df_resumos, keys=[f'Dia {dia:02d}' for dia in range(1, ultimo_dia + 1)],
names=['Dia'])

# Exibe o DataFrame final
display(df_resumo_final)

#formatando o pandas para os valores no dataframe nao aparecerem em notação científica
pd.options.display.float_format = '{:.2f}'.format

#criando os dataframes dos dias
# Criar uma lista para armazenar os DataFrames por dia

```



```

dfs_por_dia = []

# Iterar pelos dias do mês até o último dia válido
for dia in range(1, ultimo_dia + 1):
    try:
        # Formatar o nome da linha com dois dígitos (ex: 'Dia 01', 'Dia 02', etc.)
        nome_linha = f'Dia {dia:02d}'
        # Carregar os dados do resumo para o dia correspondente
        df_dia = df_resumo_final.loc[nome_linha]
        dfs_por_dia.append(df_dia)
    except KeyError:
        print(f'{nome_linha} não encontrado no DataFrame, ignorando...')
        continue

# Criar uma lista para armazenar os DataFrames dos fatores de consumo
dfs_fator_de_consumo = []

# Iterar pelos dias do mês até o último dia válido
for dia in range(1, ultimo_dia + 1):
    try:
        # Formatar o nome da linha com dois dígitos (ex: 'Dia 01', 'Dia 02', etc.)
        nome_linha = f'Dia {dia:02d}'

        # Recuperar o FATOR DE CONSUMO do dia correspondente
        df_dia = df_resumo_final.loc[nome_linha][['FATOR DE CONSUMO']]

        # Renomear a coluna 'FATOR DE CONSUMO' para o nome do dia com dois dígitos
        df_dia.columns = [f'{dia:02d}']

        # Adicionar o DataFrame modificado à lista
        dfs_fator_de_consumo.append(df_dia)
    except KeyError:
        print(f'{nome_linha} não encontrado no DataFrame, ignorando...')
        continue

# Concatenar todos os DataFrames de FATOR DE CONSUMO e o HORARIO de df_01
df_00 = pd.DataFrame({'HORARIO': range(24)})
resumo_fator_de_consumo_df = pd.concat([df_00[['HORARIO']]] + dfs_fator_de_consumo, axis=1)

#exibindo resumo de fator de consumo
display(resumo_fator_de_consumo_df)

# Criar uma lista para armazenar os DataFrames de CONSUMO BASE
dfs_consumo_base = []
dias_validos = []

# Iterar pelos dias do mês até o último dia válido
for dia in range(1, ultimo_dia + 1):
    try:
        # Formatar o nome da linha com dois dígitos (ex: 'Dia 01', 'Dia 02', etc.)
        nome_linha = f'Dia {dia:02d}'
        # Adicionar o CONSUMO BASE do dia correspondente
        df_dia = df_resumo_final.loc[nome_linha][['CONSUMO BASE [M3]']]
        dfs_consumo_base.append(df_dia)
        # Adicionar o dia como string para nomear as colunas posteriormente
        dias_validos.append(f'{dia:02d}')
    except KeyError:
        print(f'{nome_linha} não encontrado no DataFrame, ignorando...')
        continue

```

```

# Concatenar todos os DataFrames de CONSUMO BASE
resumo_consumo_base_df = pd.concat(dfs_consumo_base, axis=1)

# Definir os nomes das colunas como os dias válidos
resumo_consumo_base_df.columns = dias_validos

#removendo as linhas desnecessárias
resumo_consumo_base_df = resumo_consumo_base_df.iloc[:1]
#exibindo resumo de consumo base
display(resumo_consumo_base_df)

#exibindo resumo_fator_de_consumo_df
print('resumo_fator_de_consumo_df')
display(resumo_fator_de_consumo_df)

#gerando os graficos
# Certifica-se de que o número do mês e o ano são strings
mes_numero_str = str(mes_numero)
ano_str = str(ano) # Converte o ano para string

# Montar o caminho completo para a pasta de saídas (ano/mês/saídas)
caminho_saidas = os.path.join(caminho_base, ano_str, mes_numero_str, "saidas")

# Verifica se o diretório de saídas existe, se não existir, cria o diretório
if not os.path.exists(caminho_saidas):
    os.makedirs(caminho_saidas) # Cria a pasta e subpastas se não existirem

#grafico fator de consumo 01
eixo_x_dia_fator_consumo = ['00','01','02','03','04','05','06','07','08','09','10','11','12','13','14','15','16','17','18','19','20','21','22','23']
for dia in range(1, ultimo_dia + 1):
    coluna_dia = f'{dia:02d}' # Formata o dia para ter dois dígitos
    eixo_y_dia_fator_consumo = resumo_fator_de_consumo_df[coluna_dia].round(2).tolist()

    plt.figure() # Cria uma nova figura para cada gráfico
    plt.plot(eixo_x_dia_fator_consumo, eixo_y_dia_fator_consumo)
    plt.xlabel('Hora')
    plt.ylabel('Fator de consumo')
    plt.grid(True)
    plt.title(f'Fator de Consumo - {reservatorio} - {mes} de {ano} - Dia {dia}')
    # Exporta o gráfico
    plt.savefig(os.path.join(caminho_saidas,
f'Fator_de_Consumo_{reservatorio}_{mes}_{ano}_Dia_{dia}.png'), format='png') # Salva o gráfico como PNG
    plt.show()

#juntando os graficos de fator de consumo em um só
# Configurações do gráfico
eixo_x_dia_fator_consumo = ['00', '01', '02', '03', '04', '05', '06', '07', '08', '09', '10', '11', '12', '13', '14',
'15', '16', '17', '18', '19', '20', '21', '22', '23']

plt.figure(figsize=(14, 8)) # Ajuste o tamanho do gráfico conforme necessário

# Itera sobre todos os dias do mês
for dia in range(1, ultimo_dia + 1):
    coluna_dia = f'{dia:02d}' # Formata o dia para ter dois dígitos
    eixo_y_dia_fator_consumo = resumo_fator_de_consumo_df[coluna_dia].round(2).tolist()

    plt.plot(eixo_x_dia_fator_consumo, eixo_y_dia_fator_consumo, label=f'Dia {dia}')

plt.xlabel('Hora')

```

```

plt.ylabel('Fator de Consumo')
plt.grid(True)
plt.title(f'Fator de Consumo - {reservatorio} - {mes} de {ano}')
plt.legend(title='Dia do Mês', bbox_to_anchor=(1.05, 1), loc='upper left') # Ajuste a legenda para fora
do gráfico
plt.tight_layout() # Ajusta o layout para não cortar a legenda
# Exporta o gráfico
plt.savefig(os.path.join(caminho_saidas,
f'Fator_de_Consumo_Dias_Reunidos_{reservatorio}_{mes}_{ano}.png'), format='png') # Salva o gráfico como
PNG
plt.show()

# Gráfico de Consumo Base
eixo_x_dia_consumo_base = [f'{dia:02d}' for dia in range(1, ultimo_dia + 1)]
eixo_y_consumo_base = resumo_consumo_base_df.iloc[0].apply(lambda x: int(x) if isinstance(x,
float) else x).tolist()

# Ajuste o tamanho da figura
plt.figure(figsize=(14, 8)) # Largura e altura da figura

# Criação do gráfico
barras_consumo_base = plt.bar(eixo_x_dia_consumo_base, eixo_y_consumo_base)

# Adiciona os rótulos nas barras
plt.bar_label(barras_consumo_base, labels=eixo_y_consumo_base)

# Configuração dos eixos e título
plt.xlabel('Dia')
plt.ylabel('Média de Consumo Horário [m³/h]')
plt.grid(True)
plt.title(f'Consumo Base - {reservatorio} - {mes} de {ano}')

# Ajuste do layout para evitar cortes
plt.tight_layout()

# Exporta o gráfico
plt.savefig(os.path.join(caminho_saidas, f'Consumo_Base_{reservatorio}_{mes}_{ano}.png'),
format='png') # Salva o gráfico como PNG

# Exibe o gráfico
plt.show()

# Organizando os dados por dia da semana - fator de consumo

#utilizando o nome do arquivo para extrair o mes e o ano
nome_arquivo = (f'resumo_fator_consumo_{reservatorio}_{mes}_{ano}.xlsx")

# Criar dicionário com os meses em Português
meses_ptbr = {
    'Janeiro': 1, 'Fevereiro': 2, 'Março': 3, 'Abril': 4, 'Maio': 5, 'Junho': 6,
    'Julho': 7, 'Agosto': 8, 'Setembro': 9, 'Outubro': 10, 'Novembro': 11, 'Dezembro': 12
}

# Extrair o mês e o ano do nome do arquivo, garantindo que seja um nome válido
try:
    # Dividir nome do arquivo pelo sublinhado e pegar as últimas partes
    partes_nome_arquivo = nome_arquivo.split('_')

    # O mês e o ano estão nas duas últimas partes
    mes_nome = partes_nome_arquivo[-2] # Ex: "Agosto"

```

```

ano = int(partes_nome_arquivo[-1].split('.')[0]) # Ex: "2023"

except ValueError:
    print("Erro ao extrair o mês e o ano do nome do arquivo.")
    raise # Levantar o erro novamente para depuração

# Verificar se o nome do mês está no dicionário
if mes_nome not in meses_ptbr:
    raise ValueError(f"Nome do mês '{mes_nome}' inválido ou não está no formato esperado.")

# Converter o nome do mês para número
mes_num = meses_ptbr[mes_nome] # Ex: "Agosto" -> 8

# Criar uma lista de datas para o mês e ano fornecidos
# Verificando se o dataframe tem as colunas corretas (números)
if not all(col.isdigit() for col in resumo_fator_de_consumo_df.columns[1:]):
    raise ValueError("Algumas colunas do DataFrame não são números válidos de dias.")

# Criar as datas correspondentes aos dias do DataFrame
datas = pd.date_range(start=f'{ano}-{mes_num}-01', periods=resumo_fator_de_consumo_df.shape[1]
- 1, freq='D')

# Obter o nome dos dias da semana
dias_da_semana = [data.strftime('%A') for data in datas]

# Inserir a linha dos dias da semana no DataFrame
resumo_fator_de_consumo_df.loc['Dia da Semana'] = ['HORARIO'] + dias_da_semana # Inserindo no
DataFrame

# Reorganizar o DataFrame para que a linha dos dias da semana fique na primeira linha
resumo_fator_de_consumo_df = resumo_fator_de_consumo_df.reindex(['Dia da Semana'] +
list(resumo_fator_de_consumo_df.index[:-1])) # Reposiciona a nova linha no topo

# Exibir o DataFrame atualizado
display(resumo_fator_de_consumo_df)

#separando os dataframes em dias comuns e dias de final de semana

# Extraímos a linha que contém os dias da semana e o resto do DataFrame com os dados
dias_da_semana = resumo_fator_de_consumo_df.iloc[0, 1:] # A primeira linha contém os dias da
semana, excluindo a coluna de horário
df_consumo = resumo_fator_de_consumo_df.iloc[1:, :] # As linhas seguintes contém os dados de
consumo

# Filtrar os dias úteis (Monday a Friday) e fim de semana (Saturday e Sunday)
dias_comuns = dias_da_semana[dias_da_semana.isin(['Monday', 'Tuesday', 'Wednesday', 'Thursday',
'Friday'])]
dias_fim_de_semana = dias_da_semana[dias_da_semana.isin(['Saturday', 'Sunday'])]

# Criar DataFrames para dias comuns e fim de semana com base nas colunas correspondentes
df_dias_comuns = df_consumo[['HORARIO'] + list(dias_comuns.index)]
df_fim_de_semana = df_consumo[['HORARIO'] + list(dias_fim_de_semana.index)]

# Exibir os dois DataFrames
print("DataFrame com Dias Comuns:")
display(df_dias_comuns)

print("\nDataFrame com Dias de Fim de Semana:")
display(df_fim_de_semana)

```

```

# Organizando os dados por dia da semana - consumo base
# Inserir a linha dos dias da semana no DataFrame
resumo_consumo_base_df.loc['Dia da Semana'] = dias_da_semana # Inserindo no DataFrame

# Reorganizar o DataFrame para que a linha dos dias da semana fique na primeira linha
resumo_consumo_base_df = resumo_consumo_base_df.reindex(['Dia da Semana'] +
list(resumo_consumo_base_df.index[:-1])) # Reposiciona a nova linha no topo

# Exibir o DataFrame atualizado
display(resumo_consumo_base_df)

#separando os dataframes em dias comuns e dias de final de semana

# Extraímos a linha que contém os dias da semana e o resto do DataFrame com os dados
df_consumo = resumo_consumo_base_df.iloc[1:, :] # As linhas seguintes contém os dados de consumo

# Filtrar os dias úteis (Monday a Friday) e fim de semana (Saturday e Sunday)
dias_comuns = dias_da_semana[dias_da_semana.isin(['Monday', 'Tuesday', 'Wednesday', 'Thursday',
'Friday'])]
dias_fim_de_semana = dias_da_semana[dias_da_semana.isin(['Saturday', 'Sunday'])]

# Criar DataFrames para dias comuns e fim de semana com base nas colunas correspondentes
df_dias_comuns_cb = df_consumo[list(dias_comuns.index)]
df_fim_de_semana_cb = df_consumo[list(dias_fim_de_semana.index)]

# Exibir os dois DataFrames
print("DataFrame com Dias Comuns:")
display(df_dias_comuns_cb)

print("\nDataFrame com Dias de Fim de Semana:")
display(df_fim_de_semana_cb)

#exportando as planilhas

# Certifica-se de que o número do mês e o ano são strings
mes_numero_str = str(mes_numero)
ano_str = str(ano) # Converte o ano para string

# Montar o caminho completo para a pasta de saídas (ano/mês/saídas)
caminho_saídas = os.path.join(caminho_base, ano_str, mes_numero_str, "saídas")

# Verifica se o diretório de saídas existe, se não existir, cria o diretório
if not os.path.exists(caminho_saídas):
    os.makedirs(caminho_saídas) # Cria a pasta e subpastas se não existirem

# Exporta as planilhas para o diretório de saídas
df_resumo_final.to_excel(os.path.join(caminho_saídas,
f"resumo_dados_{reservatorio}_{mes}_{ano}.xlsx"), index=False)
resumo_fator_de_consumo_df.to_excel(os.path.join(caminho_saídas,
f"resumo_fator_consumo_geral_{reservatorio}_{mes}_{ano}.xlsx"), index=False)
df_dias_comuns.to_excel(os.path.join(caminho_saídas,
f"resumo_fator_consumo_dias_comuns_{reservatorio}_{mes}_{ano}.xlsx"), index=False)
df_fim_de_semana.to_excel(os.path.join(caminho_saídas,
f"resumo_fator_consumo_fim_de_semana_{reservatorio}_{mes}_{ano}.xlsx"), index=False)
resumo_consumo_base_df.to_excel(os.path.join(caminho_saídas,
f"resumo_consumo_base_geral_{reservatorio}_{mes}_{ano}.xlsx"), index=False)
df_dias_comuns_cb.to_excel(os.path.join(caminho_saídas,
f"resumo_consumo_base_dias_comuns_{reservatorio}_{mes}_{ano}.xlsx"), index=False)
df_fim_de_semana_cb.to_excel(os.path.join(caminho_saídas,
f"resumo_consumo_base_fim_de_semana_{reservatorio}_{mes}_{ano}.xlsx"), index=False)

```

APÊNDICE C

Algoritmo computacional em Python Pratygy-Módulo2

```

import pandas as pd
import numpy as np
from scipy import stats
import matplotlib.pyplot as plt

#formatando o pandas para os valores no dataframe nao aparecerem em notação científica
pd.options.display.float_format = '{:.2f}'.format

# Menu de seleção de reservatório
print("Escolha o reservatório:")
reservatorios = ["Benedito Bentes", "r1", "r2", "r2a", "r4"]
for i, reserv in enumerate(reservatorios, 1):
    print(f"{i}. {reserv}")
reservatorio_escolhido = int(input("Digite o número correspondente ao reservatório desejado:
(1)Benedito Bentes; (2)r1; (3)r2; (4)r2a; (5)r4 "))
reservatorio = reservatorios[reservatorio_escolhido - 1]

# Menu de seleção de meses (período personalizado)
print("\nEscolha os meses do período que deseja analisar (separe por vírgula):")
meses = ["Janeiro", "Fevereiro", "Março", "Abril", "Maio", "Junho", "Julho", "Agosto", "Setembro",
"Outubro", "Novembro", "Dezembro"]

# Exibe a lista de meses com os números correspondentes
for i, mes in enumerate(meses, 1):
    print(f"{i}. {mes}")

# Solicita ao usuário que selecione os meses
meses_escolhidos = input("Digite os números correspondentes aos meses desejados, separados por
vírgula (ex: 1, 3, 5): ")

# Converte a string de entrada em uma lista de números inteiros
meses_selecionados = [meses[int(mes.strip()) - 1] for mes in meses_escolhidos.split(",")]

# Define o período como os meses selecionados
periodo = ', '.join(meses_selecionados)

# Menu de seleção do ano (entrada manual)
print("\nDigite o ano desejado:")
ano = input("Ano (ex: 2023): ")

# Menu de seleção do tipo de análise
print("\nEscolha o tipo de análise:")
tipos = ["Dias Comuns", "Finais de Semana"]
for i, tipo_analise in enumerate(tipos, 1):
    print(f"{i}. {tipo_analise}")
tipo_escolhido = int(input("Digite o número correspondente ao tipo de análise desejado: (1) Dias
Comuns; (2) Finais de Semana "))
tipo = tipos[tipo_escolhido - 1]

# Exibe as escolhas feitas
print("\nResumo da seleção:")
print(f"Reservatório: {reservatorio}")
print(f"Período: {' '.join(meses_selecionados)}")
print(f"Ano: {ano}")
print(f"Tipo de Análise: {tipo}")

```

```

#importando os arquivos em excel
#benedito bentes | dias comuns
#base_df1 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_Benedito
Bentes_Agosto_2023.xlsx')
#base_df2 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_Benedito
Bentes_Setembro_2023.xlsx')
#base_df3 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_Benedito
Bentes_Outubro_2023.xlsx')
#base_df4 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_Benedito
Bentes_Novembro_2023.xlsx')
#base_df5 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_Benedito
Bentes_Agosto_2023.xlsx')
#base_df6 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_Benedito
Bentes_Setembro_2023.xlsx')
#base_df7 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_Benedito
Bentes_Outubro_2023.xlsx')
#base_df8 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_Benedito
Bentes_Novembro_2023.xlsx')
#benedito bentes | fim de semana
#base_df1 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_Benedito
Bentes_Agosto_2023.xlsx')
#base_df2 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_Benedito
Bentes_Setembro_2023.xlsx')
#base_df3 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_Benedito
Bentes_Outubro_2023.xlsx')
#base_df4 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_Benedito
Bentes_Novembro_2023.xlsx')
#base_df5 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_Benedito
Bentes_Agosto_2023.xlsx')
#base_df6 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_Benedito
Bentes_Setembro_2023.xlsx')
#base_df7 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_Benedito
Bentes_Outubro_2023.xlsx')
#base_df8 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_Benedito
Bentes_Novembro_2023.xlsx')

#r1 | dias comuns
#base_df1 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r1_Agosto_2023.xlsx')
#base_df2 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r1_Setembro_2023.xlsx')
#base_df3 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r1_Outubro_2023.xlsx')
#base_df4 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r1_Novembro_2023.xlsx')
#base_df5 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r1_Agosto_2023.xlsx')
#base_df6 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r1_Setembro_2023.xlsx')
#base_df7 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r1_Outubro_2023.xlsx')
#base_df8 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r1_Novembro_2023.xlsx')
#r1 | fim de semana
#base_df1 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r1_Agosto_2023.xlsx')
#base_df2 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r1_Setembro_2023.xlsx')
#base_df3 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r1_Outubro_2023.xlsx')
#base_df4 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r1_Novembro_2023.xlsx')
#base_df5 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r1_Agosto_2023.xlsx')
#base_df6 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r1_Setembro_2023.xlsx')
#base_df7 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r1_Outubro_2023.xlsx')
#base_df8 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r1_Novembro_2023.xlsx')

#r2 | dias comuns
#base_df1 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r2_Agosto_2023.xlsx')
#base_df2 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r2_Setembro_2023.xlsx')
#base_df3 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r2_Outubro_2023.xlsx')

```

```
#base_df4 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r2_Novembro_2023.xlsx')
#base_df5 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r2_Agosto_2023.xlsx')
#base_df6 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r2_Setembro_2023.xlsx')
#base_df7 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r2_Outubro_2023.xlsx')
#base_df8 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r2_Novembro_2023.xlsx')
#r2 | fim de semana
#base_df1 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r2_Agosto_2023.xlsx')
#base_df2 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r2_Setembro_2023.xlsx')
#base_df3 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r2_Outubro_2023.xlsx')
#base_df4 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r2_Novembro_2023.xlsx')
#base_df5 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r2_Agosto_2023.xlsx')
#base_df6 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r2_Setembro_2023.xlsx')
#base_df7 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r2_Outubro_2023.xlsx')
#base_df8 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r2_Novembro_2023.xlsx')
```

#r2a | dias comuns

```
#base_df1 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r2a_Agosto_2023.xlsx')
#base_df2 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r2a_Setembro_2023.xlsx')
#base_df3 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r2a_Outubro_2023.xlsx')
#base_df4 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r2a_Novembro_2023.xlsx')
#base_df5 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r2a_Agosto_2023.xlsx')
#base_df6 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r2a_Setembro_2023.xlsx')
#base_df7 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r2a_Outubro_2023.xlsx')
#base_df8 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r2a_Novembro_2023.xlsx')
#r2a | fim de semana
base_df1 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r2a_Agosto_2023.xlsx')
base_df2 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r2a_Setembro_2023.xlsx')
base_df3 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r2a_Outubro_2023.xlsx')
base_df4 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r2a_Novembro_2023.xlsx')
base_df5 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r2a_Agosto_2023.xlsx')
base_df6 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r2a_Setembro_2023.xlsx')
base_df7 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r2a_Outubro_2023.xlsx')
base_df8 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r2a_Novembro_2023.xlsx')
```

#r4 | dias comuns

```
#base_df1 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r4_Agosto_2023.xlsx')
#base_df2 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r4_Setembro_2023.xlsx')
#base_df3 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r4_Outubro_2023.xlsx')
#base_df4 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_dias_comuns_r4_Novembro_2023.xlsx')
#base_df5 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r4_Agosto_2023.xlsx')
#base_df6 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r4_Setembro_2023.xlsx')
#base_df7 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r4_Outubro_2023.xlsx')
#base_df8 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_dias_comuns_r4_Novembro_2023.xlsx')
#r4 | fim de semana
#base_df1 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r4_Agosto_2023.xlsx')
#base_df2 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r4_Setembro_2023.xlsx')
#base_df3 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r4_Outubro_2023.xlsx')
#base_df4 = pd.read_excel('resumo_fator_consumo_fim_de_semana_r4_Novembro_2023.xlsx')
#base_df5 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r4_Agosto_2023.xlsx')
#base_df6 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r4_Setembro_2023.xlsx')
#base_df7 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r4_Outubro_2023.xlsx')
#base_df8 = pd.read_excel('resumo_consumo_base_fim_de_semana_r4_Novembro_2023.xlsx')
```

#fazendo a transposta para que os horarios fiquem nas colunas

```
base_df_transposta1 = base_df1.T
base_df_transposta2 = base_df2.T
base_df_transposta3 = base_df3.T
base_df_transposta4 = base_df4.T
base_df_transposta5 = base_df5.T
base_df_transposta6 = base_df6.T
```



```

base_df_transposta7 = base_df7.T
base_df_transposta8 = base_df8.T

#fazendo um pequeno ajuste removendo a primeira linha indesejada
base_df_transposta_corrigida1 = base_df_transposta1.drop(index='HORARIO')
base_df_transposta_corrigida2 = base_df_transposta2.drop(index='HORARIO')
base_df_transposta_corrigida3 = base_df_transposta3.drop(index='HORARIO')
base_df_transposta_corrigida4 = base_df_transposta4.drop(index='HORARIO')
#corrigindo o nome das colunas que não estavam sendo reconhecidos em novas operações
base_df_transposta_corrigida1.columns = ['0', '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', '9', '10', '11', '12', '13', '14',
'15', '16', '17', '18', '19', '20', '21', '22', '23']
base_df_transposta_corrigida2.columns = ['0', '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', '9', '10', '11', '12', '13', '14',
'15', '16', '17', '18', '19', '20', '21', '22', '23']
base_df_transposta_corrigida3.columns = ['0', '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', '9', '10', '11', '12', '13', '14',
'15', '16', '17', '18', '19', '20', '21', '22', '23']
base_df_transposta_corrigida4.columns = ['0', '1', '2', '3', '4', '5', '6', '7', '8', '9', '10', '11', '12', '13', '14',
'15', '16', '17', '18', '19', '20', '21', '22', '23']
base_df_transposta5.columns = ['0']
base_df_transposta6.columns = ['0']
base_df_transposta7.columns = ['0']
base_df_transposta8.columns = ['0']

# Concatenando os DataFrames
concat_cb = pd.concat([base_df_transposta5, base_df_transposta6, base_df_transposta7,
base_df_transposta8], ignore_index=True)
concat_pc = pd.concat([base_df_transposta_corrigida1, base_df_transposta_corrigida2,
base_df_transposta_corrigida3, base_df_transposta_corrigida4], ignore_index=True)

# Criar DataFrame zscore consumo base
zscore_cb = pd.DataFrame()

# Calcular o z-score para 24 colunas
for i in range(1):
    col_name = str(i) # Nome da coluna como string
    zscore_cb[col_name] = (concat_cb[col_name] - concat_cb[col_name].mean()) /
concat_cb[col_name].std()

# Identificar linhas onde algum valor está no intervalo [-3, 3]
indices_fora_do_intervalo_cb = zscore_cb[(zscore_cb < -3) | (zscore_cb > 3)].stack().index.tolist()

# Obter apenas os índices das linhas
linhas_a_remover_cb = set(index[0] for index in indices_fora_do_intervalo_cb)

# Remover as linhas do DataFrame
concat_cb_sem_out = concat_cb.drop(linhas_a_remover_cb)

# Criar DataFrame zscore padrao de consumo
zscore_pc = pd.DataFrame()

# Calcular o z-score para 24 colunas
for i in range(24):
    col_name = str(i) # Nome da coluna como string
    zscore_pc[col_name] = (concat_pc[col_name] - concat_pc[col_name].mean()) /
concat_pc[col_name].std()

# Identificar linhas onde algum valor está no intervalo [-3, 3]
indices_fora_do_intervalo_pc = zscore_pc[(zscore_pc < -3) | (zscore_pc > 3)].stack().index.tolist()

# Obter apenas os índices das linhas
linhas_a_remover_pc = set(index[0] for index in indices_fora_do_intervalo_pc)

```

```

# Remover as linhas do DataFrame
concat_pc_sem_out = concat_pc.drop(linhas_a_remover_pc)

#transpondo mais uma vez para gerar os graficos para cada dia
indices_pad_cons = concat_pc_sem_out.T
nomes_colunas_lista = indices_pad_cons.columns.tolist()
indices_pad_cons.columns = nomes_colunas_lista

#Exibe os dataframes
print("dataframes concatenados consumo base")
display(concat_cb)
print("dataframes concatenados padrao de consumo")
display(concat_pc)

print("zscore consumo base")
display(zscore_cb)
print("zscore padrão de consumo")
display(zscore_pc)

print("Índices dos valores fora do intervalo consumo base [-3, 3]:")
print(indices_fora_do_intervalo_cb)
print("Índices dos valores fora do intervalo padrao de consumo [-3, 3]:")
print(indices_fora_do_intervalo_pc)

print("dataframe consumo base com as linhas com outliers removidos")
display(concat_cb_sem_out)
print("dataframe padrao de consumo com as linhas com outliers removidos")
display(concat_pc_sem_out)

print("Índices padrao de consumo final")
display(indices_pad_cons)

#gerando os graficos
#grafico consumo base
# Extrair todos os valores do DataFrame
eixo_y_consumo_base = concat_cb_sem_out.applymap(lambda x: int(x) if isinstance(x, float) else
x).values.flatten().tolist()

print("consumo base sem out (eixo y do grafico)")
print(eixo_y_consumo_base)

# Gerar o eixo X com uma sequência de dias (ajustar de acordo com seus dados)
eixo_x_dia_consumo_base = [f'Dia {i}' for i in range(1, len(eixo_y_consumo_base) + 1)] # Substitua
pela sequência correta

# Calcular a média do consumo
media_consumo = np.mean(eixo_y_consumo_base)

# Ajuste o tamanho da figura
plt.figure(figsize=(14, 8)) # Largura e altura da figura

# Criação do gráfico de área
plt.fill_between(eixo_x_dia_consumo_base, eixo_y_consumo_base, color='skyblue', alpha=0.4,
label='Consumo Diário')

# Adicionar a linha de média
plt.axhline(y=media_consumo, color='red', linestyle='--', label=f'Média: {media_consumo:.2f} m³')

# Remover os rótulos do eixo X

```

```

plt.xticks([])

# Ajustar a escala do eixo Y para aumentar a visibilidade da diferença entre os dias
plt.ylim(min(eixo_y_consumo_base) - 5, max(eixo_y_consumo_base) + 5) # Ajusta com uma margem
para facilitar a visualização

# Configuração dos eixos e título
plt.xlabel(f'{periodo}')
plt.ylabel('Média de Consumo Horário [m³/h]')
plt.grid(True)
plt.title(f'Consumo Base - {reservatorio} - {periodo} de {ano} - {tipo}')

# Colocar o rótulo na linha da média
plt.text(len(eixo_x_dia_consumo_base)-1, media_consumo, f'{media_consumo:.0f} m³/h',
        color='red', va='bottom', ha='right', fontsize=14) # Aumentando o tamanho da fonte

# Remover a legenda
plt.legend().remove()

# Ajuste do layout para evitar cortes
plt.tight_layout()

# Exporta o gráfico
plt.savefig(f'consumo_base-{reservatorio}-{periodo} de {ano}-{tipo}.png', format='png') # Salva o
gráfico como PNG

# Exibe o gráfico
plt.show()

#grafico fator de consumo
eixo_x_dia_fator_consumo = ['00','01','02','03','04','05','06','07','08','09','10','11','12','13','14','15','16','17','18','19','20','21','22','23']
for coluna_dia in indices_pad_cons.columns:
    eixo_y_dia_fator_consumo = indices_pad_cons[coluna_dia].round(2).tolist()

plt.figure(figsize=(10, 6)) # Define o tamanho da figura
plt.plot(eixo_x_dia_fator_consumo, eixo_y_dia_fator_consumo, marker='o')
plt.xlabel('Hora')
plt.ylabel('Fator de consumo')
plt.grid(True)
plt.title(f'Fator de Consumo - {reservatorio} - {periodo} de {ano} - Dia {coluna_dia} - {tipo}')

#juntando os graficos de fator de consumo em um só

# Configurações do gráfico
eixo_x_dia_fator_consumo = ['00', '01', '02', '03', '04', '05', '06', '07', '08', '09', '10', '11', '12', '13', '14',
'15', '16', '17', '18', '19', '20', '21', '22', '23']

plt.figure(figsize=(14, 8)) # Ajuste o tamanho do gráfico conforme necessário

# Lista para armazenar os valores de cada hora de todos os dias
valores_para_media = []

# Itera sobre os dias presentes no DataFrame
for coluna_dia in indices_pad_cons.columns:
    eixo_y_dia_fator_consumo = indices_pad_cons[coluna_dia].round(2).tolist()

# Verifica se a lista tem 24 valores, senão adiciona valores NaN
if len(eixo_y_dia_fator_consumo) < 24:
    eixo_y_dia_fator_consumo += [np.nan] * (24 - len(eixo_y_dia_fator_consumo))

```

```

# Armazena os valores para calcular a média
valores_para_media.append(eixo_y_dia_fator_consumo)

# Plota a curva de cada dia
plt.plot(eixo_x_dia_fator_consumo, eixo_y_dia_fator_consumo, label=f'Dia {coluna_dia}',
alpha=0.3) # `alpha=0.3` para deixar as curvas individuais mais suaves

# Calcula a curva média
valores_para_media = np.array(valores_para_media) # Converte a lista para um array NumPy para
facilitar o cálculo
curva_media = np.nanmean(valores_para_media, axis=0) # Calcula a média ignorando valores NaN

# Plota a curva média em destaque
plt.plot(eixo_x_dia_fator_consumo, curva_media, label='Média', color='black', linewidth=2.5,
marker='o') # Destaque com uma linha mais grossa e marcadores

# Exibe os valores da curva média no gráfico com ajuste no deslocamento
for i, valor in enumerate(curva_media):
    if not np.isnan(valor): # Apenas exibe valores válidos
        plt.text(eixo_x_dia_fator_consumo[i], valor + 0.04, f'{valor:.2f}', # Deslocamento vertical de 0.04
        fontsize=10, color='black', ha='center', va='bottom')

# Configurações do gráfico
plt.xlabel('Hora')
plt.ylabel('Fator de Consumo')
plt.grid(True)
plt.title(f'Padrão de Consumo - {reservatorio} - {periodo} de {ano} - {tipo} (Curva Média Incluída)')
plt.legend(title='Dias', loc='upper center', bbox_to_anchor=(0.5, -0.2), ncol=12) # Ajusta a legenda
logo abaixo do gráfico
plt.tight_layout(rect=[0, 0, 1, 0.95]) # Ajusta o layout para dar espaço para a legenda

# Exporta o gráfico como PNG
plt.savefig(f'Padrão_de_Consumo_dias_reunidos_com_curva_media-{reservatorio}-{periodo}-de-
{ano}-{tipo}.png', format='png', dpi=300)
plt.show()

```

APÊNDICE D

Instruções aplicadas ao *software EPANET*

RULE 1

IF SYSTEM CLOCKTIME $\geq$ 0 AM
AND SYSTEM CLOCKTIME $<$ 6 AM
THEN VALVE FCV5 SETTING IS 34.20

RULE 2

IF SYSTEM CLOCKTIME $\geq$ 6 AM
THEN VALVE FCV5 SETTING IS 56.28

RULE 3

IF SYSTEM CLOCKTIME $\geq$ 0 AM
AND SYSTEM CLOCKTIME $<$ 6 AM
THEN VALVE FCV4 SETTING IS 158.82

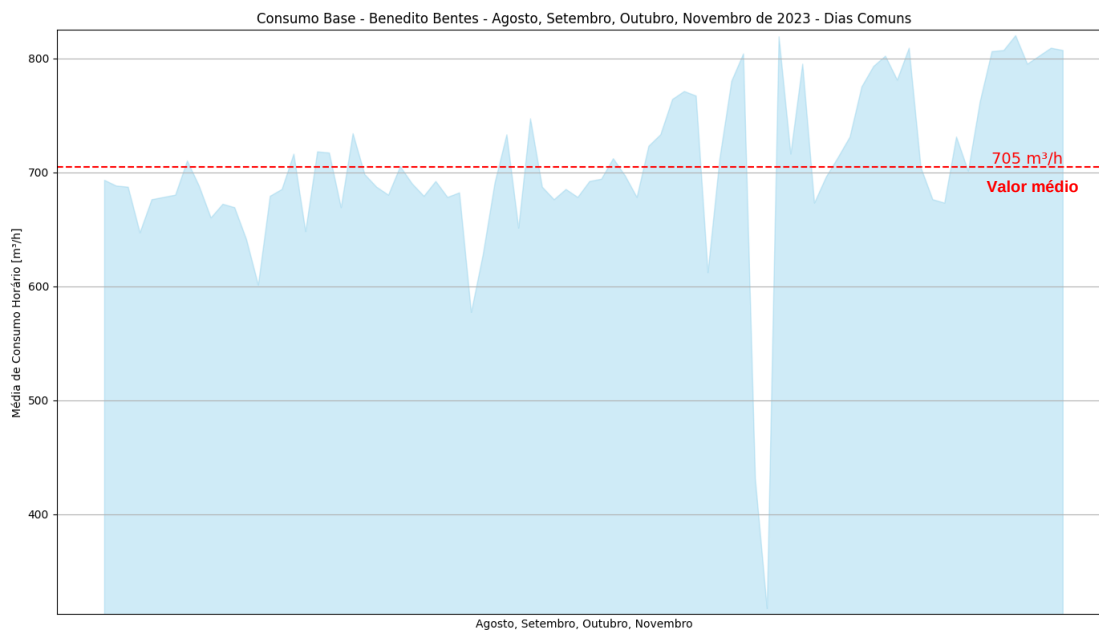
RULE 4

IF SYSTEM CLOCKTIME $\geq$ 6 AM
THEN VALVE FCV4 SETTING IS 136.74

APÊNDICE E

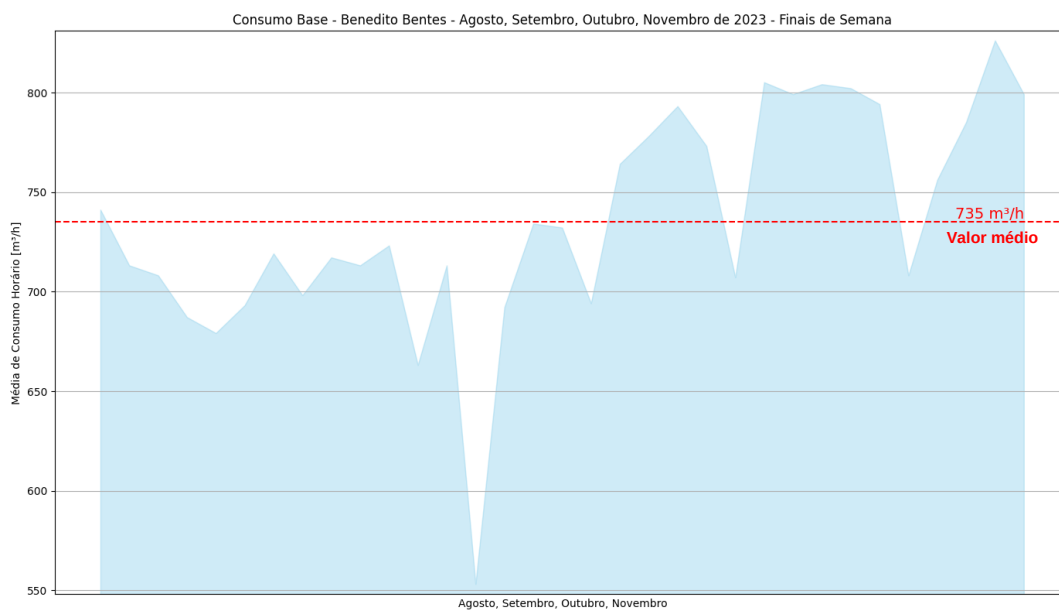
Resultados da aplicação Pratygy-Módulo2

Figura 24 – Consumo base - Benedito Bentes - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns



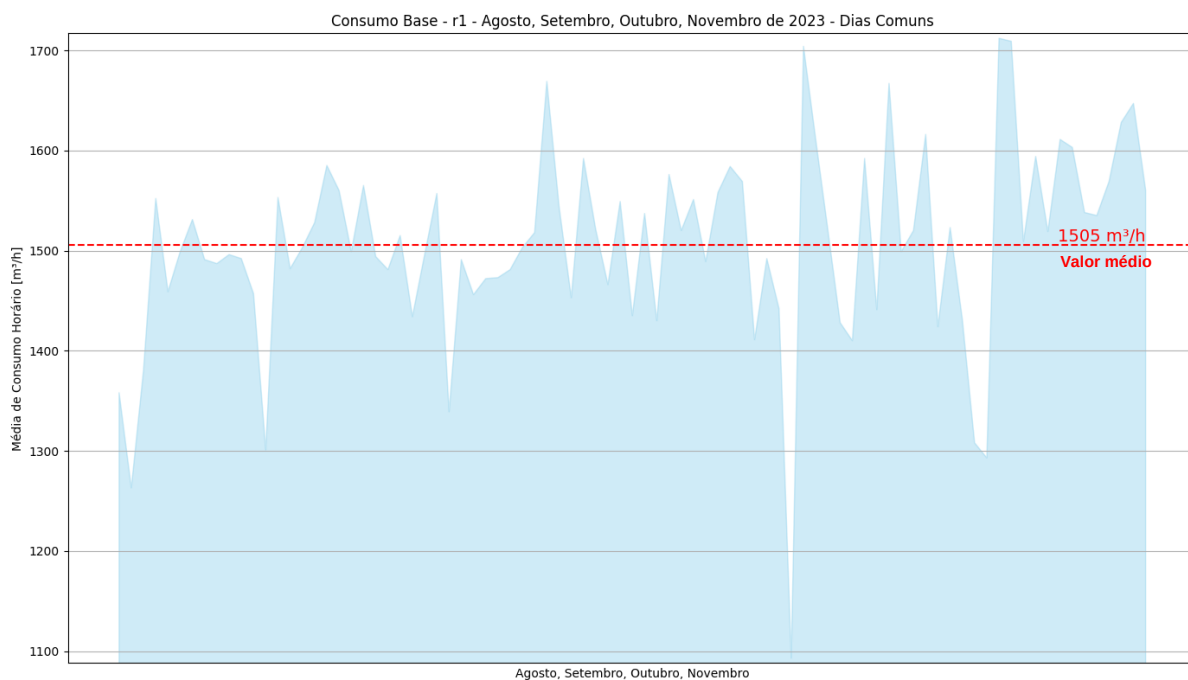
Fonte: Autor (2024)

Figura 25 – Consumo base - Benedito Bentes - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana



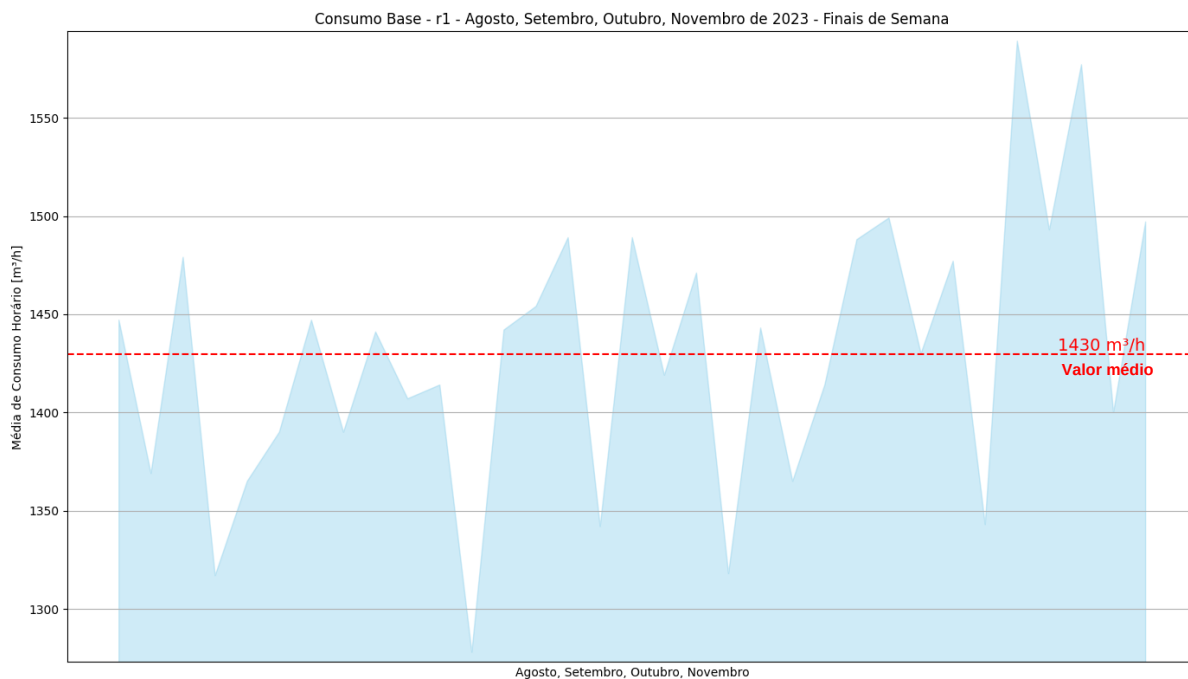
Fonte: Autor (2024)

Figura 26 – Consumo base - R1 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns



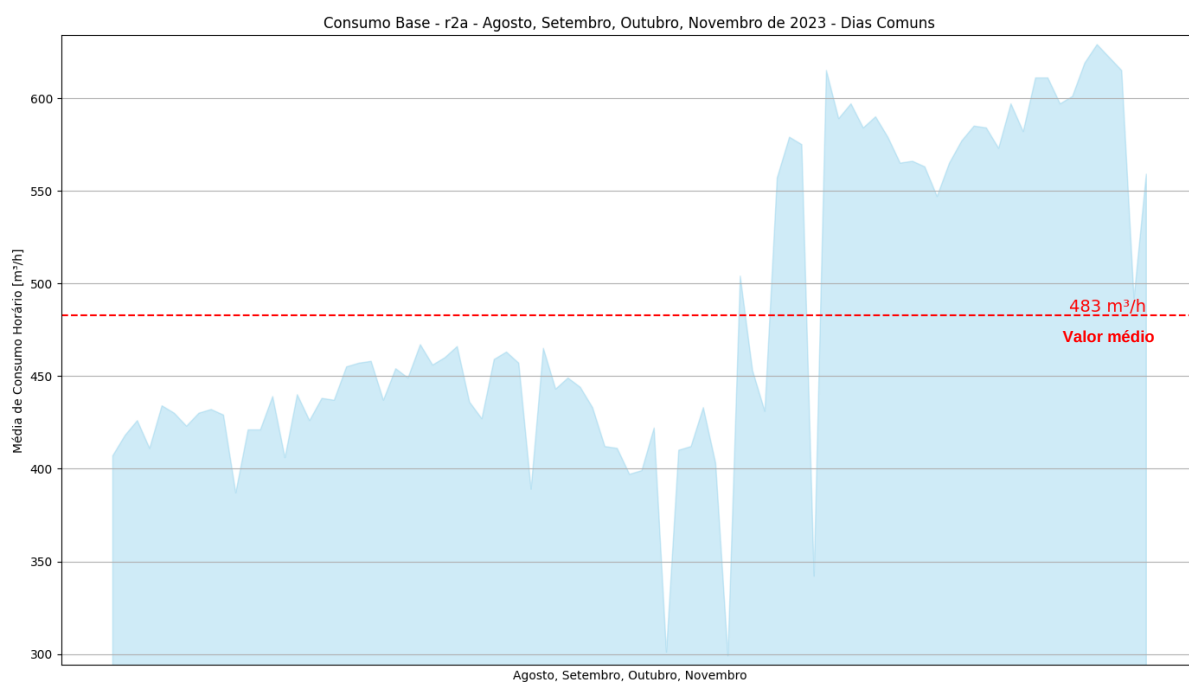
Fonte: Autor (2024)

Figura 27 – Consumo base - R1 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana



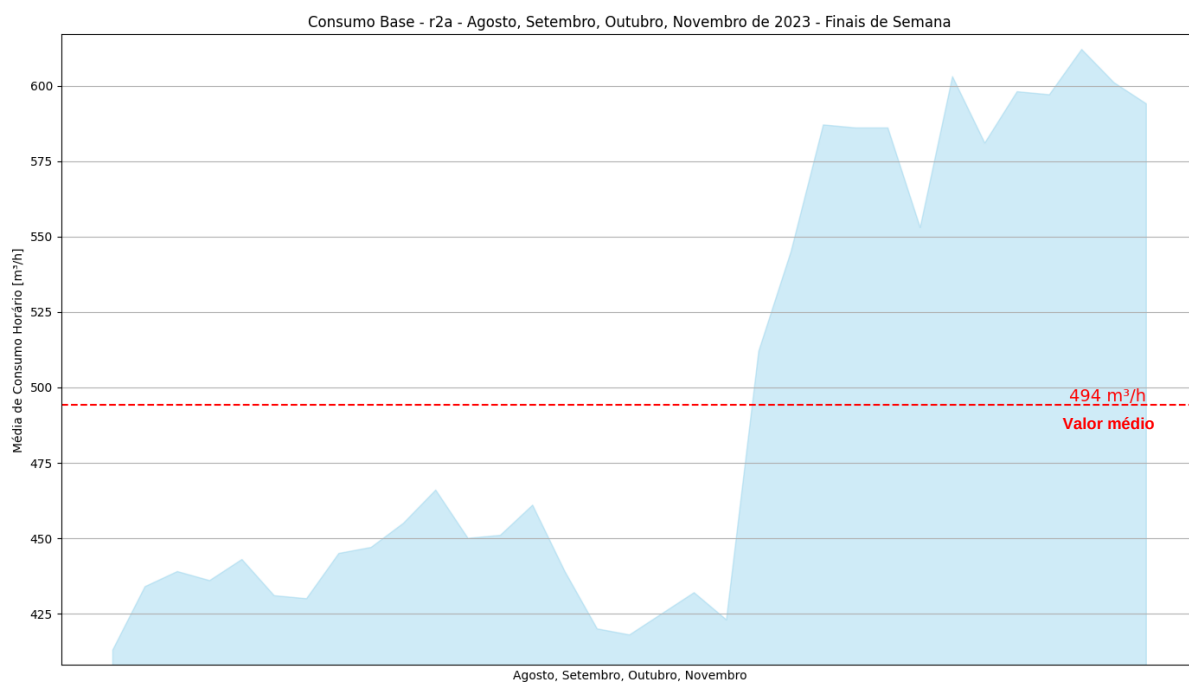
Fonte: Autor (2024)

Figura 28 – Consumo base - R2a - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns



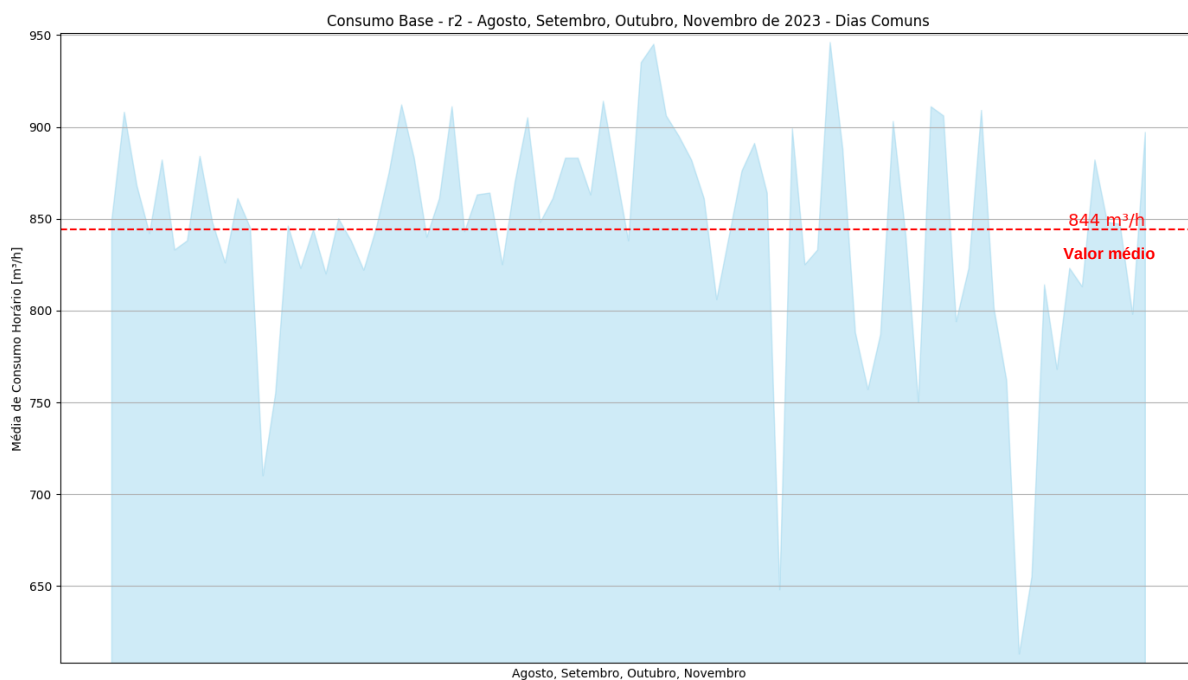
Fonte: Autor (2024)

Figura 29 – Consumo base - R2a - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana



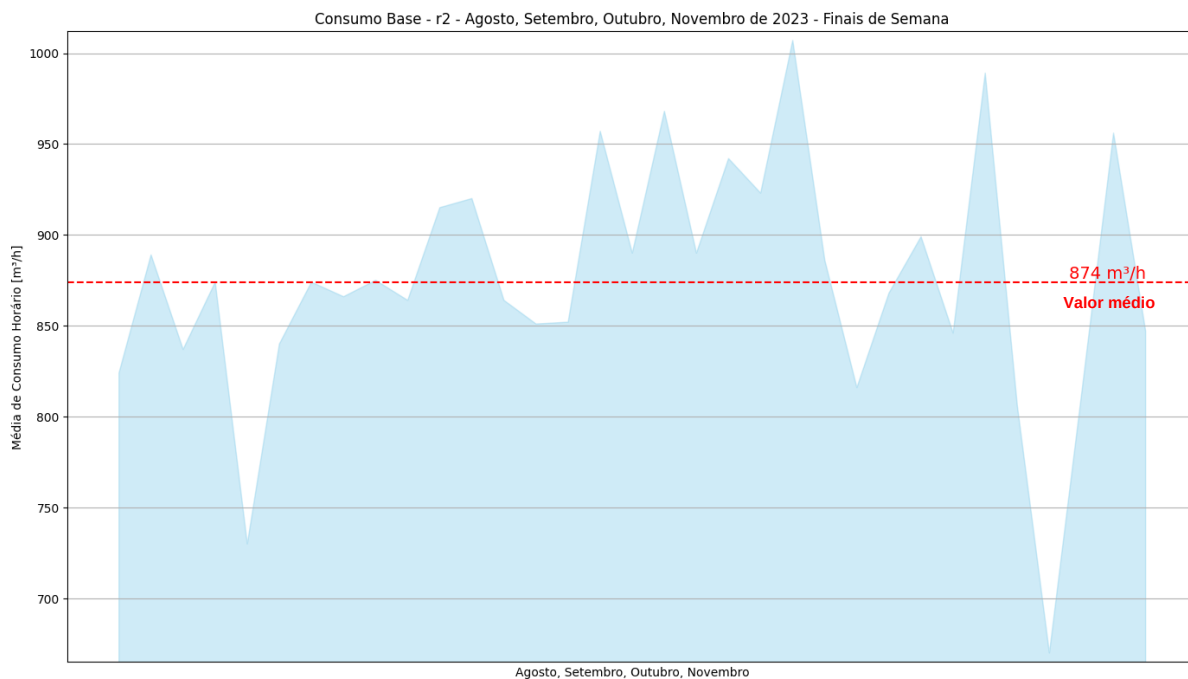
Fonte: Autor (2024)

Figura 30 – Consumo base - R2 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns



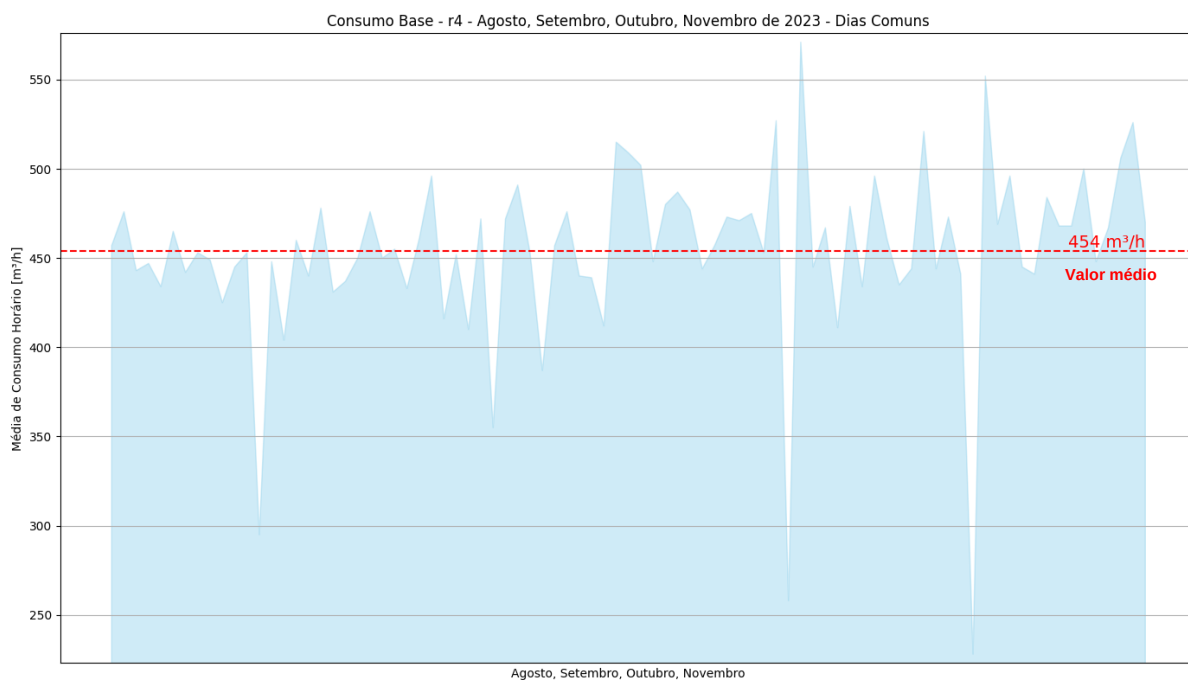
Fonte: Autor (2024)

Figura 31 – Consumo base - R2 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana



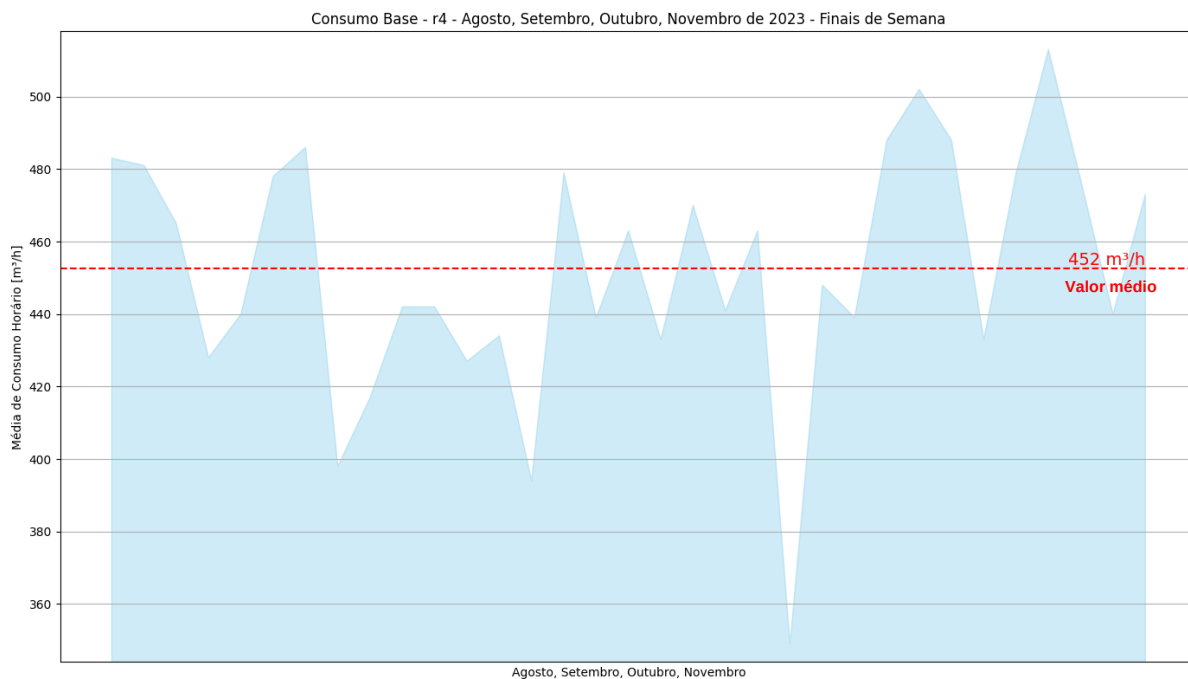
Fonte: Autor (2024)

Figura 32 – Consumo base - R4 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns



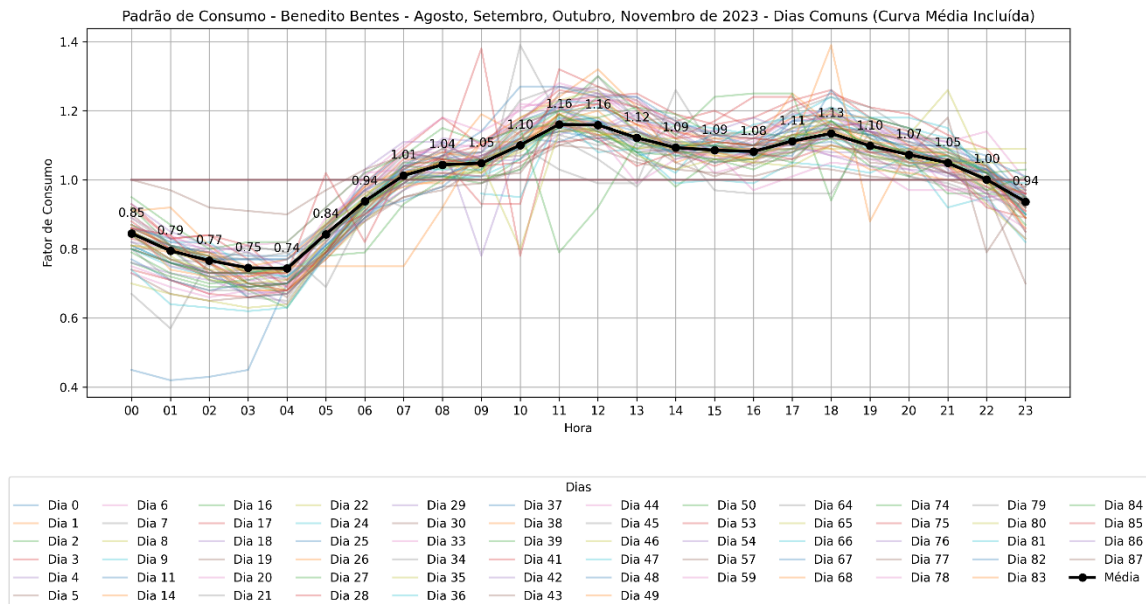
Fonte: Autor (2024)

Figura 33 – Consumo base - R4 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana



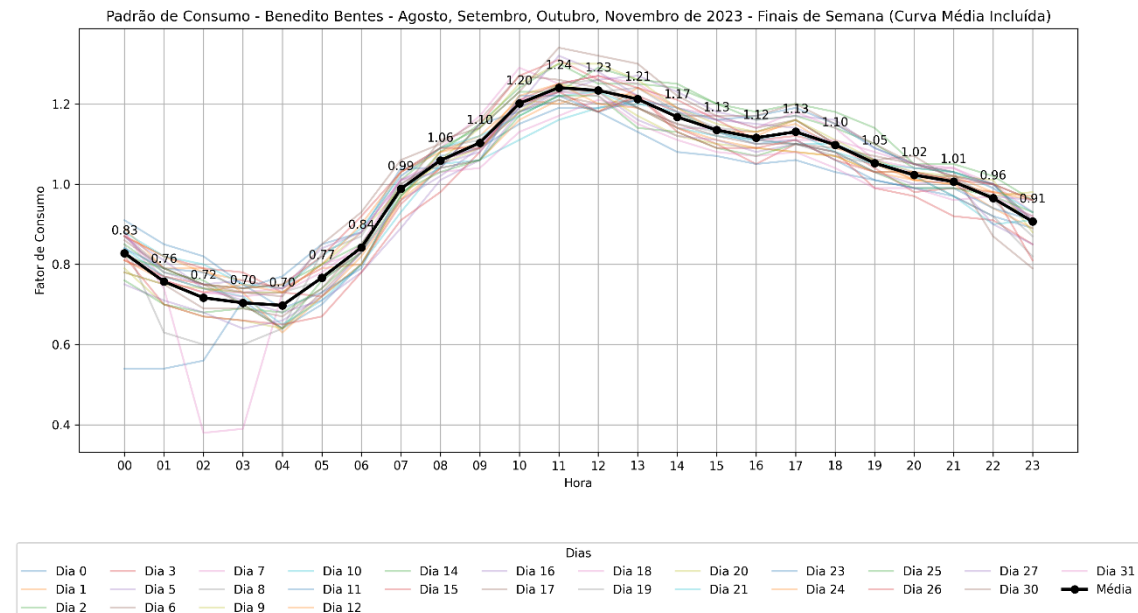
Fonte: Autor (2024)

Figura 34 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média - Benedito Bentes - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns



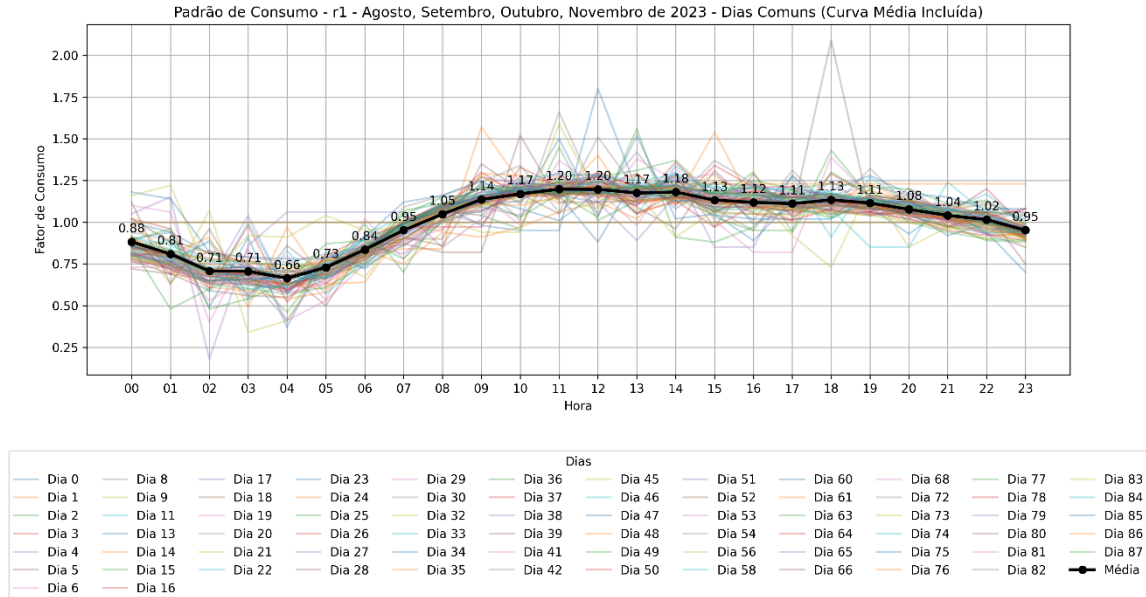
Fonte: Autor (2024)

Figura 35 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média - Benedito Bentes - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana



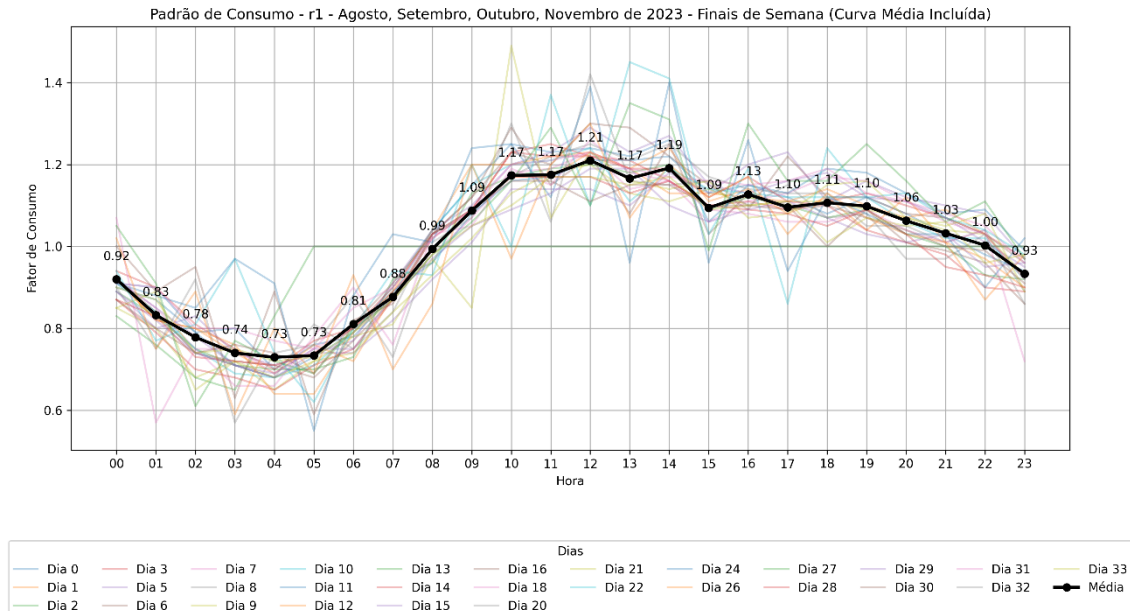
Fonte: Autor (2024)

Figura 36 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média - R1 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns



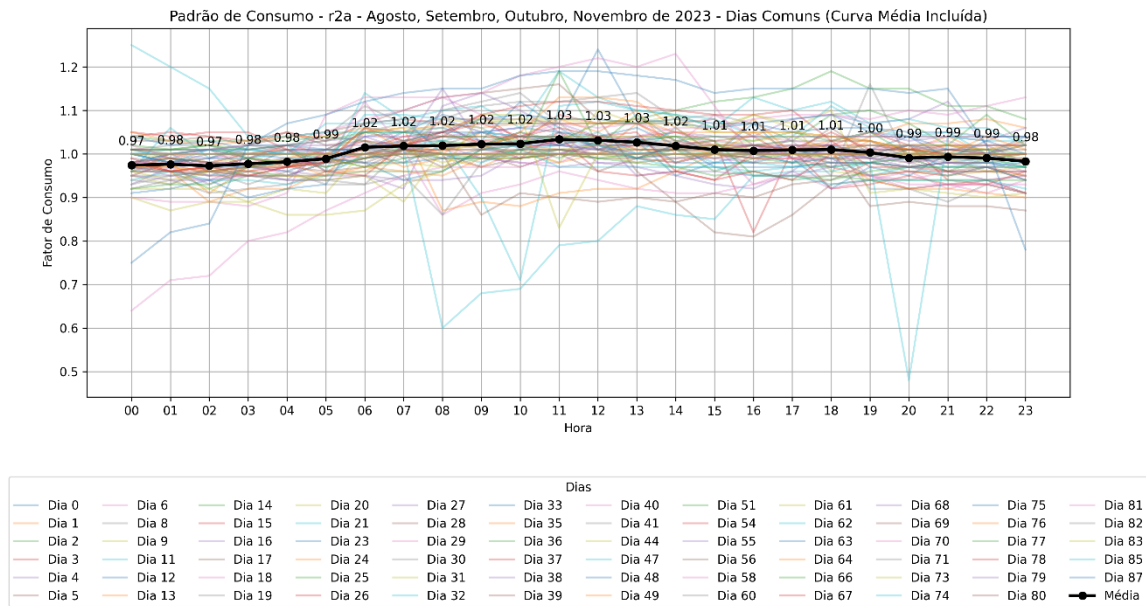
Fonte: Autor (2024)

Figura 37 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média - R1 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana



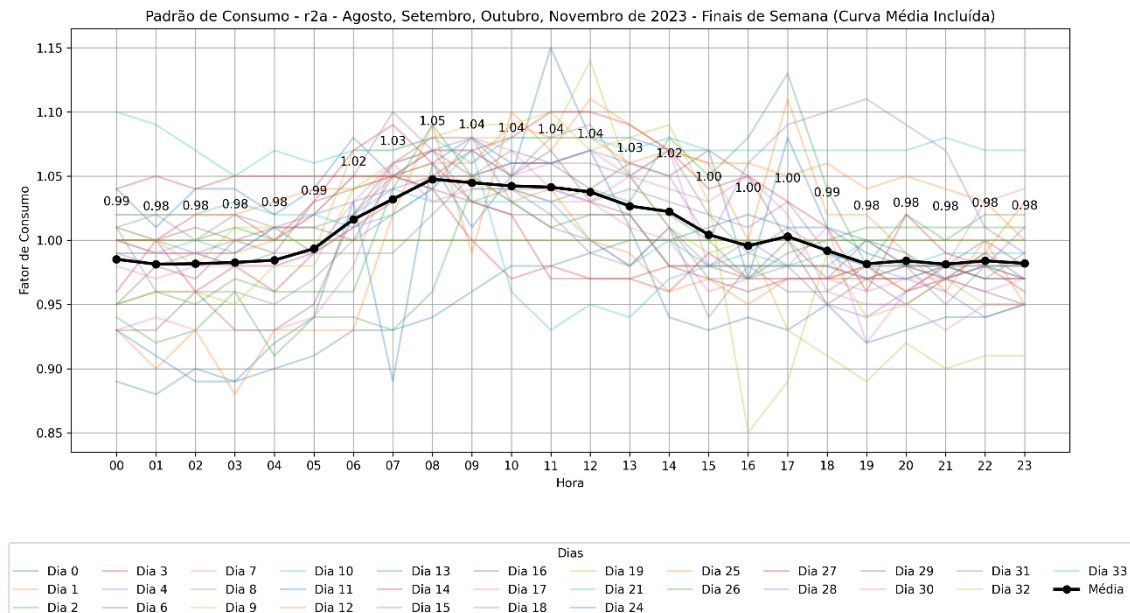
Fonte: Autor (2024)

Figura 38 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média – R2a - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns



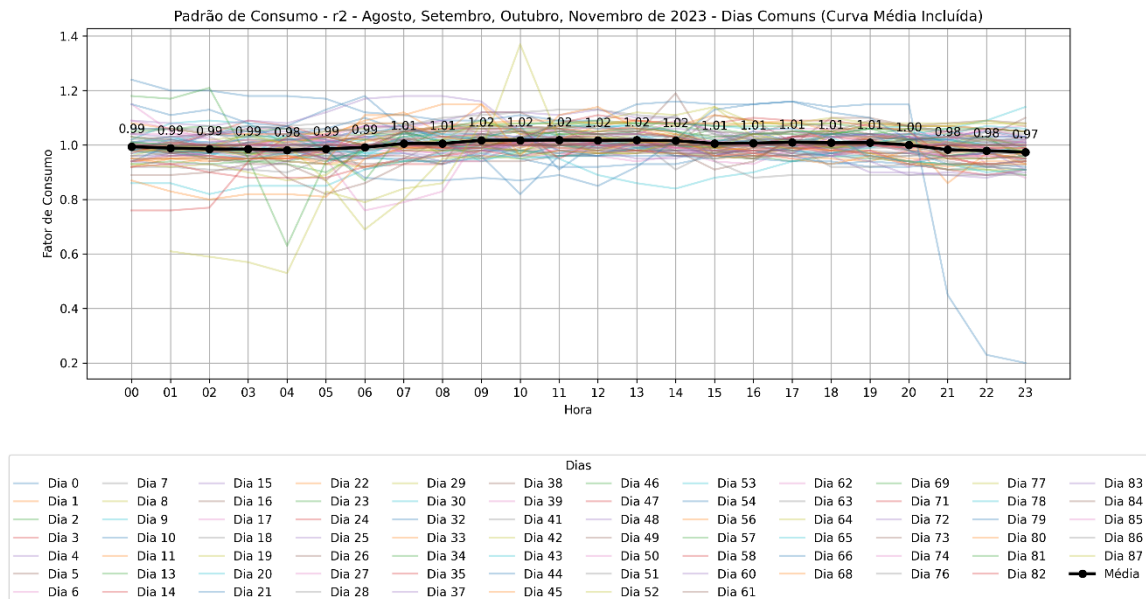
Fonte: Autor (2024)

Figura 39 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média – R2a - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana



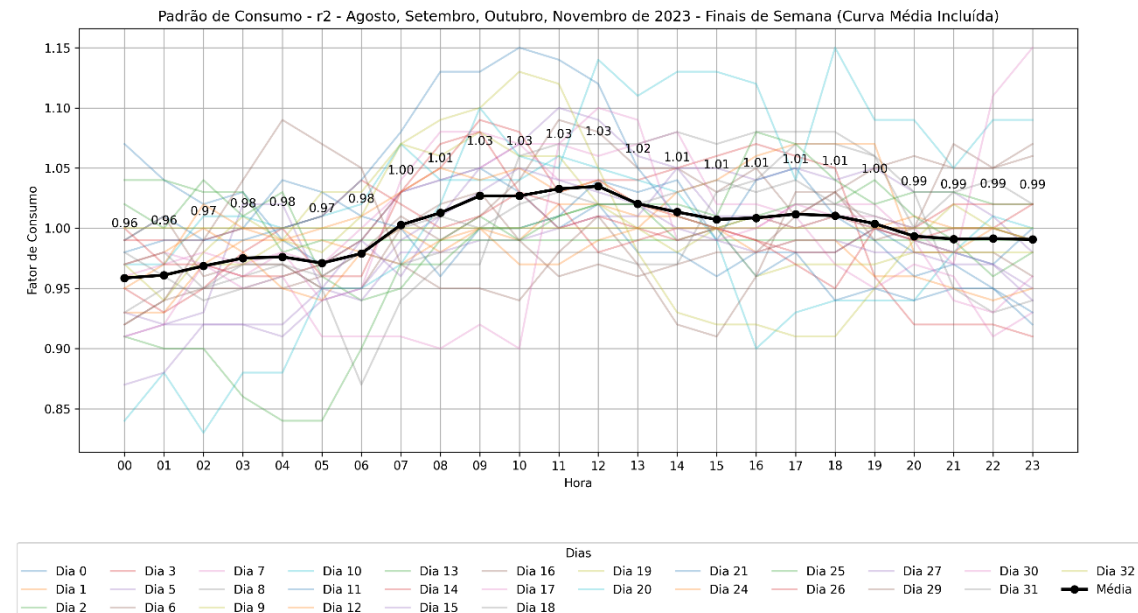
Fonte: Autor (2024)

Figura 40 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média - R2 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Dias Comuns



Fonte: Autor (2024)

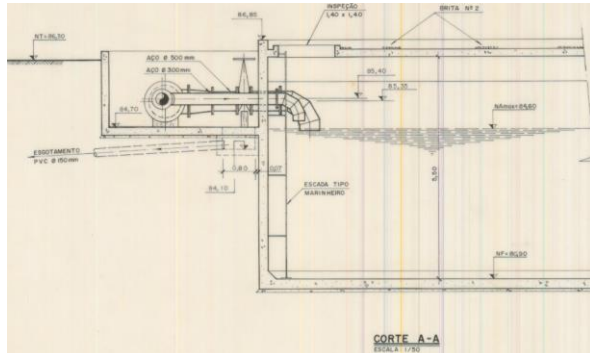
Figura 41 – Padrão de Consumo - dias reunidos com curva média - R2 - Agosto, Setembro, Outubro, Novembro de 2023 - Finais de Semana



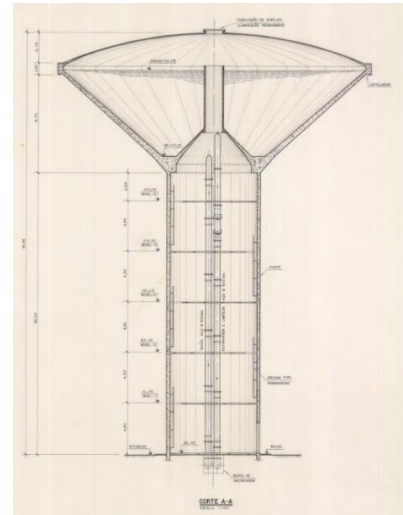
Fonte: Autor (2024)

ANEXO A

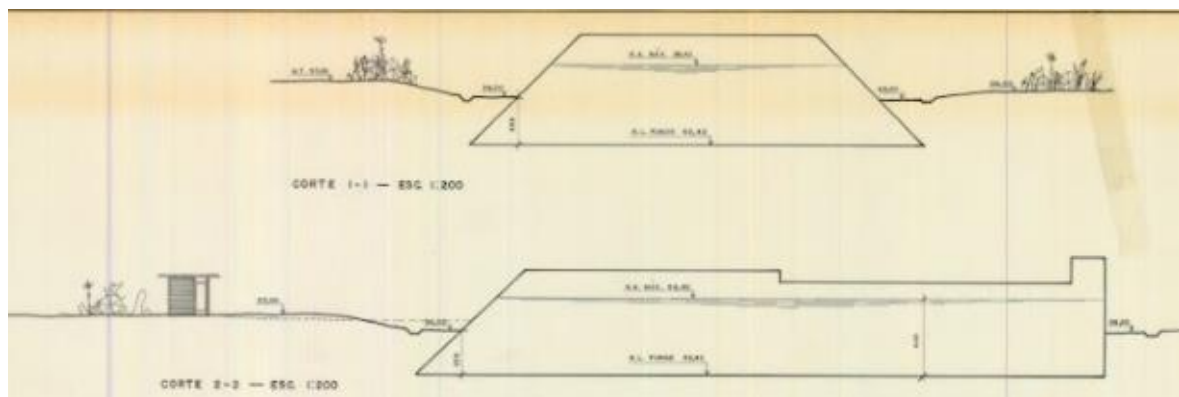
Figura 44 – Reservatórios em Planta de Corte



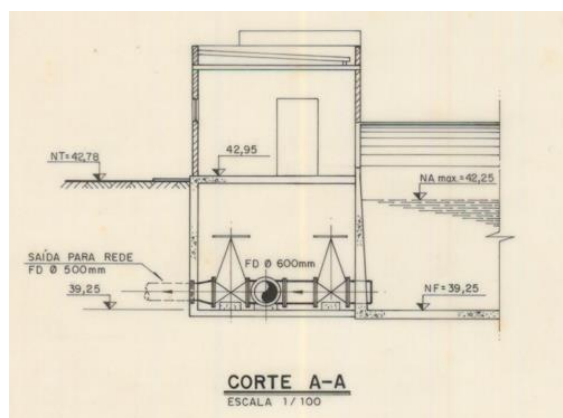
(a) Benedito Bentes – semienterrado



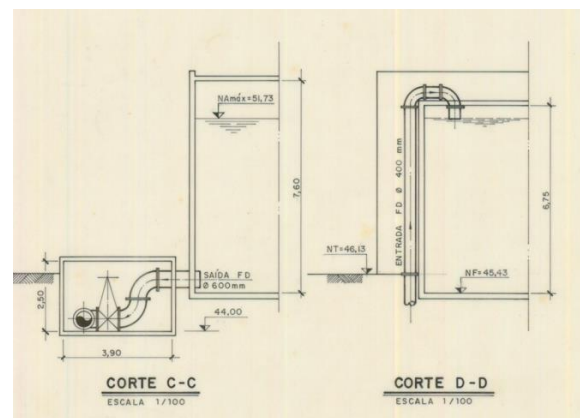
(b) Benedito Bentes – elevado



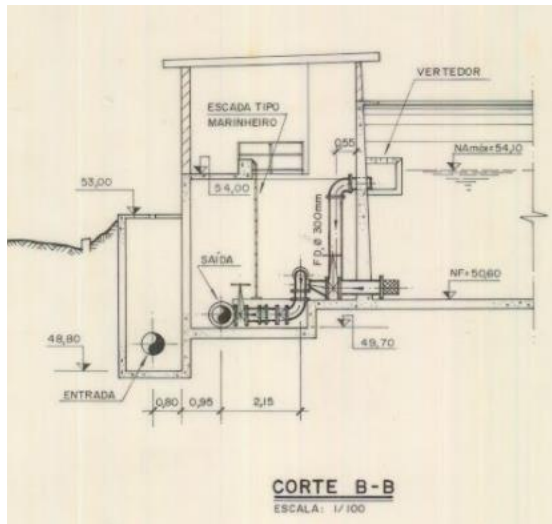
(c) R1



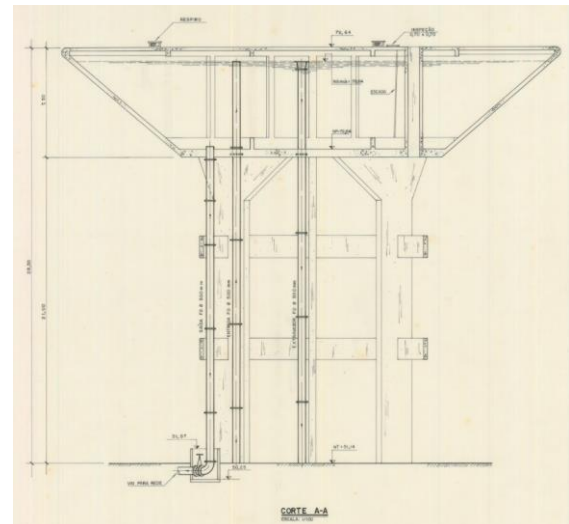
(d) R2



(e) R2a



(f) R4 semienterrado



(g) R4A elevado

Fonte: CASAL (2024)

ANEXO B

Documentações de comprovação da autorização de utilização dos dados.



ESTADO DE ALAGOAS

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS

Central de Controle de Processos Operacionais de Maceió
Rua Barão de Atalaia, 200, - Bairro Centro, Maceió/AL, CEP 57020-510
Telefone: (82) 3315-3139 - www.casal.al.gov.br

Memorando nº E:1/2024/Central de Controle de Processos Operacionais de Maceió

À Coordenação da CCOP

Assunto: **Solicitação de dados para publicação em Trabalho de Conclusão de Curso - TCC**

Eduardo Barbosa, colaborador desta Central de Controle Operacional - CCOP e concluinte do curso de Engenharia Civil da UFAL, venho por meio deste solicitar a **disponibilização de dados e autorização para publicação** dos mesmos em Trabalho de Conclusão de Curso - TCC - de minha autoria.

Tema: Otimização da Operação do Sistema de Abastecimento de Água Pratagy em Maceió/AL por Meio da Modelagem e Simulação Hidráulica com o Uso da Ferramenta Epanet

Delimitação do trabalho: desde a captação de água bruta no rio Pratagy até os reservatórios associados aos pontos de entrega da água tratada à BRK

Objetivo Geral

Conceber ferramentas de análise e tomada de decisão para otimizar o controle operacional do Sistema Pratagy

Objetivos Específicos

- conceber um modelo hidráulico do Sistema Pratagy utilizando a ferramenta EPANET;
- realizar simulações para validar o modelo gerado;
- levantar cenários de operação;
- gerar protocolos para auxílio na tomada de decisão dos Controladores da Central de Controle

Operacional CCOP-CASAL;

Dados solicitados do Sistema Produtor Pratagy:

Elemento	Descrição	Dados solicitados
ADUTORAS	Redes que compõem o Sistema Produtor Pratagy	Traçado, extensão, cotas, diâmetro, material.
RESERVATÓRIOS	Reservatório apoiado Benedito Bentes, Torre Benedito Bentes, R1, R2, R2A, R4, R4A	Locação, geometria, volume nominal, cota da laje de fundo, cota de extravasamento, cota da entrada de água
ELEVATÓRIAS	EEAB associada a CAP Pratagy, EEAT Benedito Bentes, EEAT R4, EEAT Cardoso-R2A	Locação dos conjuntos motobombas e cadastro de peças acessórias
CONJUNTO MOTOBOMBA	Equipamentos das Elevatórias e Booster	Curva da bomba: vazão x altura manométrica
TELEMETRIA E PITOMETRIA	Dados do supervisor e de coletas em campo	vazão e pressão na entrada da ETA e nos reservatórios; níveis dos reservatórios
POÇOS	PBBs	locação, vazão e pressão de saída

Segue Ata da Defesa do Plano de TCC:

Documentos I - Ata da Defesa do Plano de TCC (SEI nº 24774594).
Relacionados:

Atenciosamente,



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Barbosa da Silva, Equipe de Apoio** em 26/04/2024, às 22:05, conforme horário oficial de Brasília.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.al.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **24774559** e o código CRC **32CCD918**.



ESTADO DE ALAGOAS
COMPANHIA DE SANEAMENTO DE ALAGOAS
Vice-Presidência Operacional

Rua Barão de Atalaia, 200, - Bairro Centro, Maceió/AL, CEP 57020-510
 Telefone: (82) 3315-3108 - www.casal.al.gov.br

DESPACHO

PROCESSO	E:19620.0000005415/2024
INTERESSADO	Eduardo Barbosa da Silva
ASSUNTO	Comunicação: Institucional

A RMM,

Retornando com o conhecimento e autorização da VPO quanto ao solicitado.



Documento assinado eletronicamente por **Laura Petri Geraldino, Vice-Presidente** em 24/05/2024, às 18:05, conforme horário oficial de Brasília.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.al.gov.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **25317661** e o código CRC **F8DB5B7D**.

Processo
nº E:19620.0000005415/2024

Revisão 01 SEI
ALAGOAS

SEI nº do Documento
25317661