

DASHBOARD PARA AUTOMAÇÃO APLICADO AO TRATAMENTO DE ESGOTO, RUMO A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

Allan dos Anjos Pestana⁽¹⁾

Técnico em automação industrial (IFSP). Tecnólogo em automação industrial (FATEC) e Tecnólogo em gestão ambiental (SENAC). Pós-graduado em indústria 4.0 (SENAI), MBA em gestão de projetos e processos organizacionais (Centro Paula Souza), além de especialista em automação para processos de saneamento (USP). Mestrando profissional em gestão e tecnologia em sistemas produtivos (Centro Paula Souza), além de aluno do MBA em data science e analytics (USP/ESALQ) e Engenharia elétrica (IFSP).

Endereço⁽¹⁾: Rua João Lopes Maciel, 465 – Cidade Nitroquímica – São Paulo - SP - CEP: 08090-040 - Brasil - Tel: +55 (11) 99139-7419 - e-mail: apestana@sabesp.com.br.

RESUMO

A transformação digital é um caminho inevitável para as companhias que pretendem se manter competitivas no mercado. Para o caso do saneamento e especificamente o tratamento de esgoto, a automação básica e suas componentes (instrumentação, controle, comunicação e supervisão) são o caminho para essa transformação e uso das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. Para tal é fundamental que o processo de evolução, acompanhamento e controle dos projetos de automação sejam estruturados, visando assertividade nos investimentos e energia aplicada em cada etapa do processo de tratamento para cada uma das Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). O presente trabalho tem por finalidade propor um *dashboard* para visualização desses níveis de automação em cada etapa do processo de cada uma das plantas, uma projeção para momento futuro e possíveis ganhos esperados com automação em algumas etapas, como químicos e energia elétrica.

PALAVRAS-CHAVE: *Dashboard*, Automação, Tratamento De Esgoto, KPI, Transformação Digital.

INTRODUÇÃO

Diversas tecnologias da Indústria 4.0 estão sendo adotadas por empresas de todos os setores visando eficiência de seus processos, e no saneamento essa digitalização não é diferente. Contudo, assim como em uma casa, para que sejam feitos novos andares, o alicerce se faz necessário, e para o uso de tecnologias modernas atualmente, como *Big Data*, *Machine Learning*, Inteligência Artificial e *Internet of Things* (IoT), exige que conceitos básicos de automação, instrumentação e controle já estejam consolidados.

Ainda levando em consideração o novo marco legal do saneamento, lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, que preconiza o setor de saneamento atender 99% da população com água potável e 90% com coleta e tratamento de esgoto até 31 de dezembro de 2033, o setor de saneamento tem um grande desafio pela frente.

REFERENCIAL TEÓRICO

Visando entender o estágio atual do uso e conhecimento de *dashboards* específicos para projetos de automação em tratamento de esgoto foi realizada uma bibliometria no portal da Capes. Uma string envolvendo os três assuntos foi pesquisada no portal, porém não retornou nenhum resultado: "*dashboard*" AND "*automation*" AND ("*sewage treatment*" OR "*wastewater*" OR "*sanitation*"). Portanto, a string abaixo foi utilizada nos campos "título" e "assunto":

"*dashboard*" AND "*automation*"

A pesquisa retornou uma quantidade de material, e após serem selecionados os materiais revisados por pares, artigos e materiais em inglês, o resultado obtido está expresso abaixo:

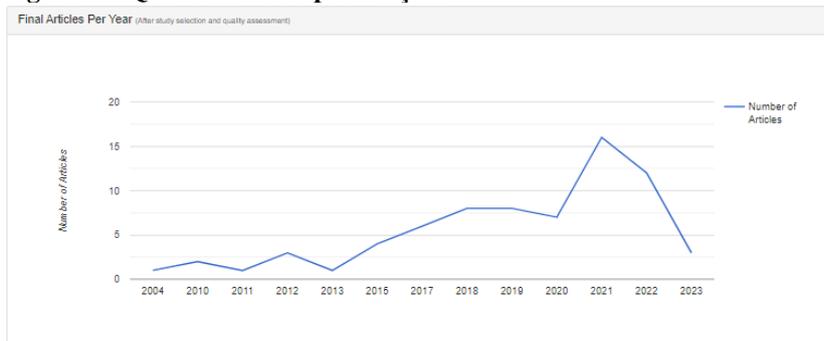
Tabela 1 - Resultados da busca na base de dados

	Resultados	Periódicos revisados por pares	Artigos	Inglês
<i>dashboard AND "automation"</i>	124	74	72	72

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Abaixo é possível ver o quantitativo de publicações ao longo do tempo e o aumento gradativo das pesquisas acerca dos temas:

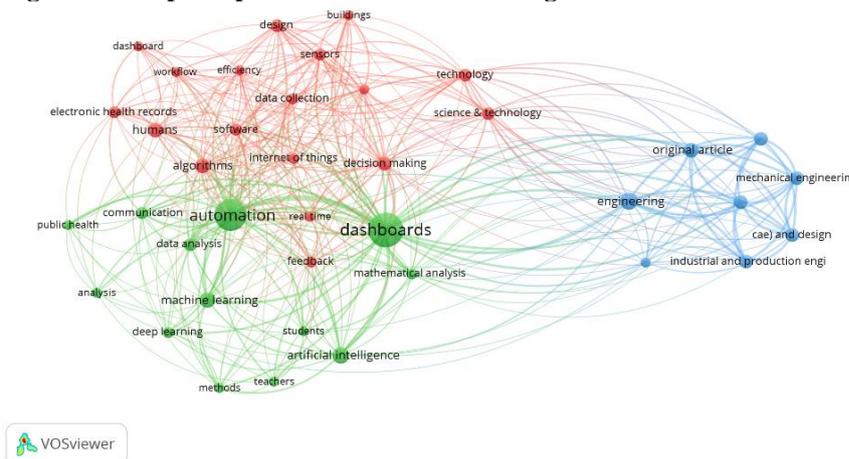
Figura 1 – Quantitativo de publicações



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do site Parsifal, 2023.

A partir desses resultados foi possível analisar dentro dos conteúdos pesquisados, quais estão relacionados aos outros, formando assim “clusters” de pesquisa:

Figura 2 – Mapa de palavras utilizadas nos artigos

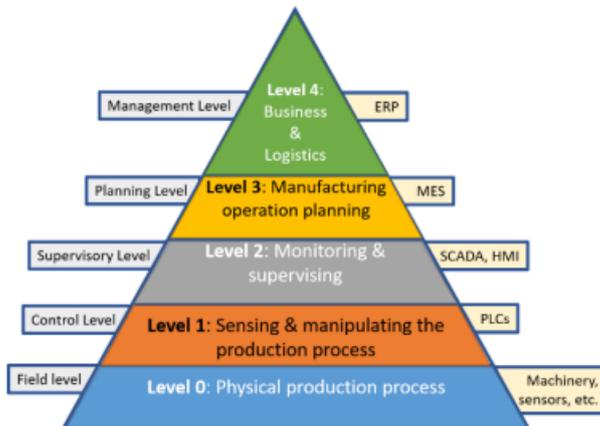


Fonte: Elaborado pelo autor a partir do software VOSviewer, 2023.

Três principais *clusters* são observados, com os termos *automation* e *dashboards* sendo atrelados a pesquisas que envolvem tecnologias com crescentes aplicações atualmente, como *machine learning* e inteligência artificial. Outra análise possível é a da utilização dessas palavras pelos pesquisadores ao longo do tempo.

integrado de gestão empresarial (ERPs) conforme figura 4 (MARTINEZ ET AL, 2021). Importantes ressaltar que níveis cada vez maiores de automação permitem controles mais aprimorados e por consequência melhor eficiência operacional, e para isso todo o volume de dados provenientes dos processos são fundamentais.

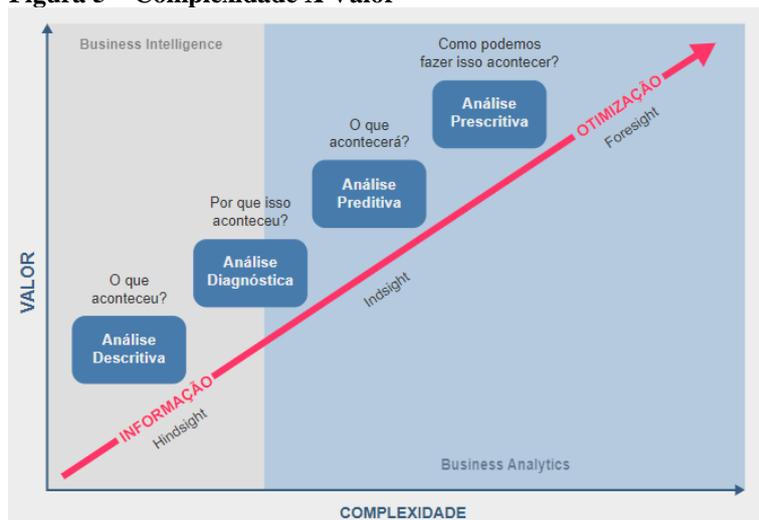
Figura 4 – Pirâmide de automação



Fonte: MARTINEZ ET AL, 2021.

O gráfico abaixo correlaciona a complexidade com o valor dos dados, onde o caminho de informação para otimização, do *Business Intelligence* para *Business Analytics*, saindo da análise descritiva e diagnóstica, ou seja, o que aconteceu e por que aconteceu, para a análise preditiva e prescritiva, o que acontecerá e como fazer para que algo aconteça, trazendo previsibilidade para os processos produtivos.

Figura 5 – Complexidade X Valor



Fonte: Big Data e Analytics – FIAP (Nano courses)

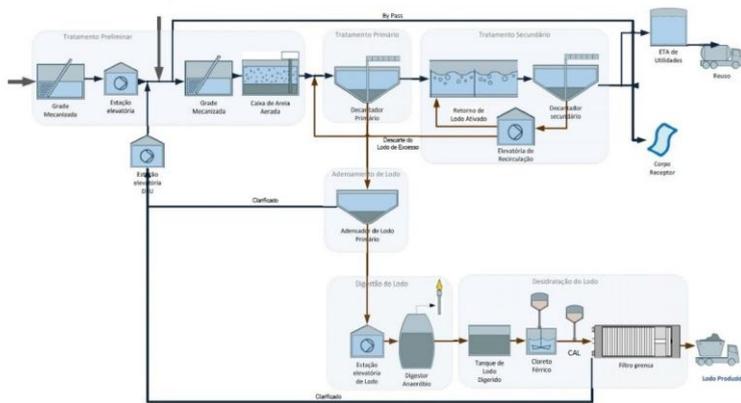
TRATAMENTO DE ESGOTO

A tecnologia mais comum para o tratamento de esgoto é o processo de lodo ativado. Cada vez mais os processos de tratamento exigem tecnologias mais eficientes com menor impacto ambiental e custo possível (PERES et all, 2021).

O processo de tratamento por lodo ativado consiste basicamente em acelerar o processo que ocorre na natureza de decomposição da matéria orgânica, oxigenando as bactérias presentes no esgoto. Esse material orgânico é composto por proteínas (40-60%), carboidratos (25-50%) e gorduras (10%) e é fonte de energia para esses

microrganismos (FERREIRA; CORAIOLA, 2008). Abaixo temos um fluxograma que representa o processo de uma Estação com essas características. Uma ênfase para a separação das fases de tratamento (líquida e sólida) e para onde ocorre essa depuração da matéria orgânica, nos tanques de aeração.

Figura 6 – Fluxograma do tratamento – ETE



Fonte: Dos autores, 2023.

INSTRUMENTAÇÃO

Instrumentação pode ser definido como um sistema que detecta uma variável de processo, quantifica-a e converte essa informação, geralmente para um sinal elétrico, para que posteriormente esse dado possa ser trabalhado, armazenado e acessado (PADMANABHAN, 2012).

OBJETIVOS

Objetivo geral:

O objetivo do trabalho é propor um *dashboard*, específico para acompanhamento dos níveis de automação e suas componentes (instrumentação, controle, comunicação e supervisão) voltado ao setor de saneamento e mais especificamente ao Tratamento de esgoto.

Objetivos específicos:

- Realizar uma revisão dos termos inerentes a proposta;
- Propor um *dashboard* para automação da Unidade de tratamento de esgoto de uma companhia de saneamento brasileira;
- Identificar possíveis aplicações para o uso do *dashboard*;
- Analisar os resultados para aplicação do *dashboard*.

METODOLOGIA UTILIZADA

O método escolhido para condução do estudo foi pesquisa exploratória, de abordagem quali-quantitativa, por meio de revisão bibliográfica sobre os temas, e a aplicação prática do *dashboard* proposto em uma companhia de saneamento.

O primeiro passo foi realizar um levantamento do que há e o que é necessário referente a automação para cada uma das etapas do processo, em cada uma das camadas da pirâmide de automação e em cada tipo de Estação (principal e sistema isolado). Por exemplo, foi definido que para os sistemas isolados, o mínimo necessário seria: Primeira camada – proteção de vibração e temperatura e medição de nível e vazão; segunda camada – controlador lógico programável (CLP); terceira camada – comunicação e supervisão; e para etapas futuras a quarta camada – Envio dos dados ao *Plant Information Management System* - Sistema de gerenciamento de informações da planta (PIMS), PI System da OSI Software no caso da companhia em questão. Onde o elemento não faz sentido, foi marcado como “N/A” e essa linha não será considerada nos cálculos posteriores. Abaixo é possível ver a planilha Excel com esse levantamento inicial:

Figura 7 – Levantamento do mínimo necessário

ITEM	SISTEMA	TIPO	LOCAL	PROTEÇÃO (VIBRAÇÃO/TEMPERATURA)	NÍVEL / COTA	VAZÃO	CLP / CONTROLE	COMUNICAÇÃO / SUPERVISÃO	HISTORIADOR (PIMS) - FUTURO
1	ABC	EFRF	IBIRAPUERA	N/A	N/A	✓	✗	✗	
2	ABC	ETE	RIACHO	✗	✓	✓	✗	✗	
3	ABC	ETE	CIPO	✗	✓	✓	✗	✗	
4	ABC	ETE	EMBU-GUAÇU	✗	✓	✓	✗	✗	
5	ABC	ETE	PINHEIRINHO	✗	✓	✓	✗	✗	
6	ABC	EEE	RIBEIRÃO PIRES	✗	✓	✓	✓	✓	
7	ABC	EEE	GUAMIRANGA	✗	✓	✗	✓	✓	
8	ABC	EEE	MOOCA	✗	✓	✓	✓	✓	
9	ABC	EEE	TAM 3	✗	✓	✓	✓	✓	
10	ABC	ETE	JESUS NETO	✗	✓	✓	✓	✗	
11	ABC	ETE	PARQUE ANDREENSE	N/A	✗	✗	✗	✗	
12	ABC	EEE	ESMERALDA	✗	✓	✓	✓	✓	
13	São Miguel	ETE	HORTO FLORESTAL	N/A	N/A	✓	✗	✗	
14	São Miguel	ETE	PQ. ACLIMAÇÃO	✗	✗	✗	✗	✗	
15	São Miguel	EEE	ITI 15	✗	✓	✗	✓	✓	
16	São Miguel	EEE	ITI-14	✗	✓	✓	✓	✓	
17	São Miguel	ETE	BONSUCESSO	✗	✓	✓	✓	✓	
18	São Miguel	ETE	VÁRZEA DO PALÁCIO	✗	✓	✓	✓	✓	
19	São Miguel	ETE	SÃO JOÃO	✗	✓	✓	✓	✓	
20	São Miguel	EEE	Pq CECAP	✗	✓	✓	✓	✓	
21	São Miguel	EEE	TRÊS PONTES	✗	✓	✓	✓	✗	
22	Suzano	ETE	ETE ARUJÁ	N/A	✓	✓	✗	✗	
23	Suzano	ETE	BIRITIBA	✗	✓	✓	✓	✗	
24	Suzano	ETE	SALESÓPOLIS	N/A	N/A	✓	N/A	✗	
25	Suzano	ETE	REMÉDIOS	N/A	N/A	✓	N/A	✗	
26	Suzano	ETE	GUATAMBU	✗	✓	✓	✗	✗	
27	Suzano	ETE	MANDI	✗	✓	✓	✓	✗	
28	Suzano	ETE	JD. ODETE	N/A	✓	✓	✓	✗	

Fonte: Dos autores, 2023.

O levantamento do mínimo necessário foi feito em conjunto com a equipe operacional com base em atender legislação, por exemplo, com a importância dos medidores de nível em elevatórias, permitindo-se assim manter a cota operacional da mesma quando em conjunto com o CLP. A existência de comunicação ou não das informações com o sistema supervisório, podem nos dizer a frequência necessária da equipe operacional no local, principalmente em ambientes mais remotos. Após esses levantamentos, estatísticas gerais de plantas e Sistemas de acordo com os elementos desejados já começam a ser possíveis conforme mostrado abaixo:

$$Média\ automação = \frac{Camada\ 1 + Camada\ 2 + Camada\ 3}{3}$$

$$Camada\ 1 = \frac{Média\ instrumentação + Elementos\ de\ controle}{2}$$

$$Instrumentação = \frac{Proteções + Analíticos + Nível + Vazão}{4}$$

$$Camada\ 2 = Controlador\ Lógico\ Programável\ (CLP)$$

$$Camada\ 3 = \frac{Comunicação + Supervisório}{2}$$

Figura 8 – Estatística do levantamento

		LESTE					
		N/A TOTAL	8	4	0	2	0
		N/A ABC	2	1	0	0	0
		N/A São Miguel	1	1	0	0	0
		N/A Suzano	5	2	0	2	0
ABC	12		0,00%	90,32%	65,71%	66,67%	51,43%
São Miguel	9						
Suzano	14						
TOTAL	35						
		CAMADA 1		52,01%			
		CAMADA 2		66,67%			
		CAMADA 3		51,43%			
		PROTEÇÃO (VIBRAÇÃO/TEMPERATURA)					
		ABC	0,00%	90,91%	75,00%	50,00%	33,33%
		SMP	0,00%	87,50%	77,78%	88,89%	66,67%
		SUZ	0,00%	91,67%	50,00%	66,67%	57,14%
		MÉDIA POR CAMADA	0,00%	90,03%	67,59%	68,52%	52,38%
							MÉDIA POR PLANTA

Fonte: Dos autores, 2023.

O levantamento para plantas principais segue o mesmo raciocínio usado nas plantas isoladas, porém com algumas alterações. Na primeira camada, foram inclusos os elementos de controle, usuais em muitas etapas de tratamento, e no campo de instrumentação, os instrumentos analíticos de processo, como pH, condutividade, Oxigênio Dissolvido (OD), Sólidos Suspensos Totais (ST), Turbidez, Amônia, Demanda química de Oxigênio (DQO) entre outros. Para terceira camada, também se decidiu por separar os itens comunicação/supervisão, isso porque em muitas etapas a comunicação daquele processo de tratamento se dá por um componente diferente de outra etapa, podendo estar disponível em uma delas e indisponível em outras.

Figura 9 – Levantamento do mínimo necessário – Plantas principais

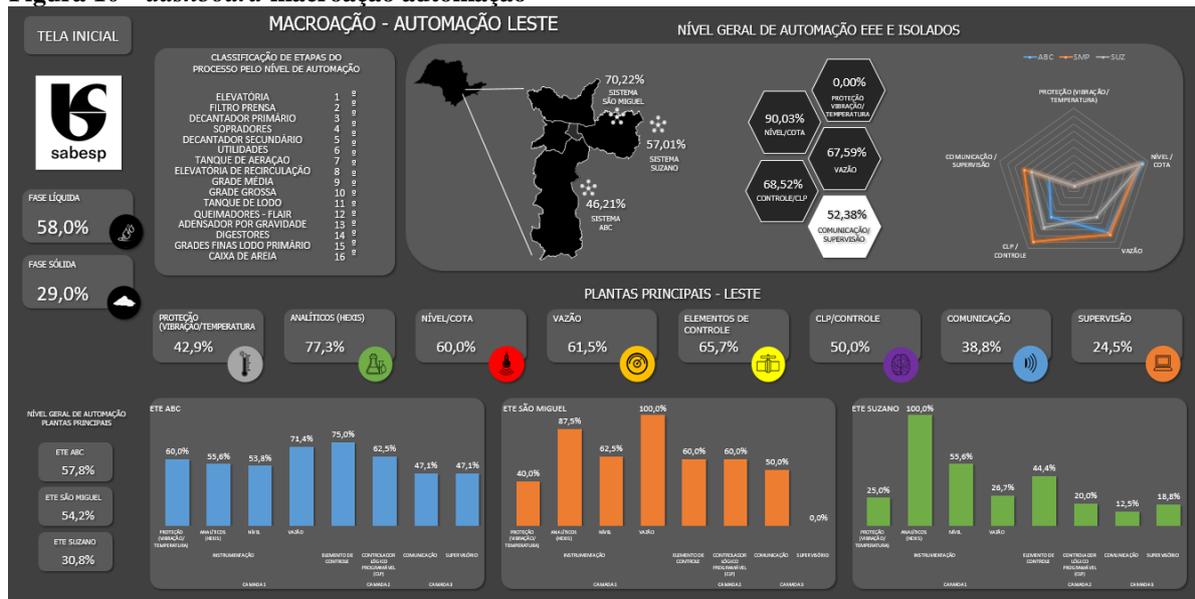
ITEM	ETE	ETAPA DO PROCESSO	CAMADA 1				ELEMENTO DE CONTROLE	CAMADA 2 CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)	CAMADA 3 COMUNICAÇÃO (RÁDIO/FIBRA)	CAMADA 3 SUPERVISÓRIO	CAMADA 4 HISTORIADOR (PMS) FUTURO
			INSTRUMENTAÇÃO								
			PROTEÇÃO (VIBRAÇÃO/TEMPERATURA)	ANALÍTICOS (HEXIS)	NÍVEL	VAZÃO					
1	ABC	GRADE GROSSA	N/A	N/A	⊗	N/A	⊗	⊗	⊗		
2	ABC	ELEVATÓRIA	⊗	N/A	⊗		⊗	⊗	⊗		
3	ABC	GRADE MÉDIA	N/A	N/A	⊗	N/A	⊗	⊗	⊗		
4	ABC	CAIXA DE ARÉIA	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		
5	ABC	DECANTADOR PRIMÁRIO	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		
6	ABC	TANQUE DE AERAÇÃO	N/A	⊗	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗		
7	ABC	SOPRADORES	⊗	N/A	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗		
8	ABC	DECANTADOR SECUNDÁRIO	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		
9	ABC	ELEVATÓRIA DE RECIRCULAÇÃO	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		
10	ABC	GRADES FINAS LODO PRIMÁRIO	N/A	N/A	⊗	N/A	⊗	⊗	⊗		
11	ABC	ADENSADOR POR GRAVIDADE	N/A	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		
12	ABC	ADENSADOR POR FLOTAÇÃO	N/A	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		
13	ABC	DIGESTORES	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		
14	ABC	QUEIMADORES - FLAIR	N/A	N/A	N/A	⊗	N/A	⊗	⊗		
15	ABC	TANQUE DE LODO CONDICIONADO	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		
16	ABC	FILTRO PRENSA	⊗	⊗	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗		
17	ABC	UTILIDADES	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		
18	São Miguel	GRADE GROSSA	N/A	N/A	⊗	N/A	N/A	⊗	⊗		
19	São Miguel	ELEVATÓRIA	⊗	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		
20	São Miguel	GRADE MÉDIA	N/A	N/A	⊗	N/A	N/A	⊗	⊗		
21	São Miguel	CAIXA DE ARÉIA	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	⊗	⊗		
22	São Miguel	DECANTADOR PRIMÁRIO	N/A	⊗	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗		
23	São Miguel	TANQUE DE AERAÇÃO	N/A	⊗	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗		
24	São Miguel	SOPRADORES	⊗	N/A	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗		
25	São Miguel	DECANTADOR SECUNDÁRIO	N/A	⊗	N/A	⊗	N/A	⊗	⊗		
26	São Miguel	ELEVATÓRIA DE RECIRCULAÇÃO	⊗	⊗	N/A	N/A	⊗	⊗	⊗		
27	São Miguel	GRADES FINAS LODO PRIMÁRIO	N/A	N/A	⊗	N/A	N/A	⊗	⊗		
28	São Miguel	ADENSADOR POR GRAVIDADE	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		
29	São Miguel	DIGESTORES	N/A	N/A	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗		

Fonte: Dos autores, 2023.

Para criação das telas em si, dividiu-se inicialmente as plantas principais dos sistemas isolados. Para os sistemas isolados uma representação do mapa do estado com uma ampliação da região metropolitana da cidade de permitem visualizar as médias da disponibilidade para cada um dos Sistemas e ao lado a média de cada uma das componentes para os Sistemas juntos e separados.

Enquanto para os Sistemas principais, um gráfico para cada um deles mostrando o nível para cada elemento está disposto na parte inferior. A esquerda desses é mostrado a média de automação da planta como um todo. Por fim, algumas análises possíveis após o levantamento mostrado até então permitem comparar por exemplo os níveis entre fase líquida e sólida, além de comparar as etapas do processo, por exemplo, elevatória final e tanque de aeração.

Figura 10 – dashboard macroação automação



Fonte: Dos autores, 2023.

Uma das necessidades percebidas, foi que nem todas as pessoas envolvidas no processo de priorização de investimentos de automação, são necessariamente especialistas na área. Por isso, para representação da média de disponibilidade de cada componente, foi criado um símbolo, visando facilitar o entendimento do usuário e criar um link com seu significado, abaixo temos os símbolos criados para comunicação, supervisão, vazão, dados analíticos, nível controle, elementos de controle e temperatura:

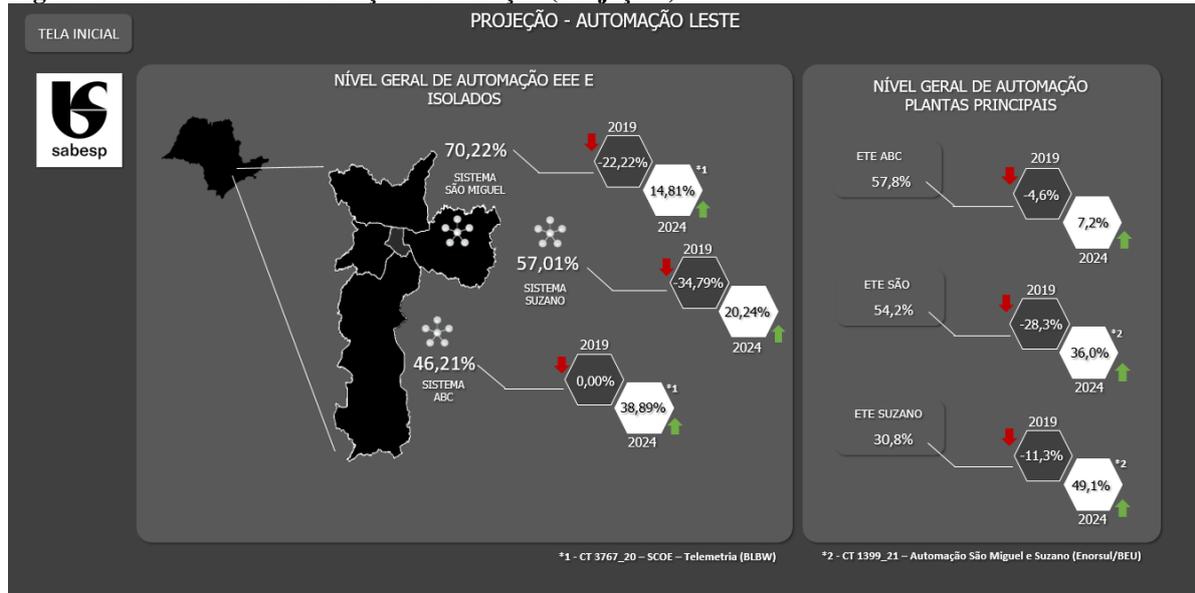
Figura 11 – Símbolos para o dashboard



Fonte: Dos autores, 2023.

Após levantado o nível de cada uma das componentes, também foi possível, estimar um cenário futuro em que alguns contratos já teriam se encerrado e projetar novos valores. Isso se mostra interessante, pois permite visualizar prioridades de investimento, mesmo considerando cenários futuros. Abaixo podemos ver a projeção dos Sistemas principais:

Figura 12 – Dashboard Macroação Automação (Projeções)



Fonte: Dos autores, 2023.

Algumas estimativas de custos também foram possíveis, sejam economizados ou potenciais. Por exemplo, levando-se em consideração locais remotos em que existe comunicação com a planta principal ou não e a distância desses locais, é possível calcular valores economizados ou não com deslocamento. A mesma linha de raciocínio ocorre para energia elétrica e químicos, em etapas em que existe controle automático ou não.

Figura 13 – Dashboard Macroação Automação (Custos)



Fonte: Dos autores, 2023.

RESULTADOS OBTIDOS

Anterior ao trabalho proposto, os únicos indicadores acompanhados pela equipe de macroação de automação eram “Links comunicando” que quantificam o número de sistemas isolados comunicando com plantas principais, e “Malhas críticas fechada” que totalizava o número de malhas de controle operando em toda Unidade. Apesar de balizarem a Unidade com o mercado e serem indicadores importantes, eles não eram suficientes para uma análise crítica sobre a automação na Unidade, muito menos sobre os próximos passos de

investimento a se realizar. Com o uso do *dashboard* é possível analisar não só os indicadores citados de maneira fácil e resumida, mas também outras informações necessárias para melhor a eficiência das Estações.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No momento de crescente quantidade de dados gerados através de diversos processos produtivos, enxergar valor nesses dados e transforma-los em eficiência é o grande diferencial. Contudo, é preciso entender que a automação e suas camadas são o passaporte para o assunto e aplicação de modelagens sofisticadas. Por tanto, gerenciar os projetos acerca do tema e os níveis de automação em cada local e fundamental e o *dashboard* proposto pode auxiliar nesse sentido.

O uso do *dashboard* se mostrou adequado para acompanhamento dos níveis de automação na Unidade, porém para estimativa de custos, melhorias são necessárias visando melhor assertividade nesses valores, haja vista que no estágio atual foram utilizadas médias obtidas em ganhos de trabalhos anteriores.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Uma primeira recomendação para novas versões do trabalho, sugerem a necessidade de incluir mais uma camada da hierarquia de componentes pertencentes de automação. Por exemplo, no momento de se listar os elementos de controle, por vezes etapas do processo tinham mais de um elemento, e o levantamento se mostrou deficiente haja vista que a lista usa símbolos para dizer somente se há ou não os elementos.

O próximo passo para o trabalho é incluir elementos que ainda não fazem parte do sistema SAP da companhia para que esse *dashboard* possa ser calculado de maneira automática e além de ser uma foto do nível atual de automação das plantas, possa ser também a disponibilidade numa base tempo, haja vista que vai considerar as inclusões de contratos executados e as necessidades de manutenção desses componentes. Abaixo o exemplo dessa árvore, com inclusão dos componentes de medição:

Figura 14 – Árvore de equipamentos no SAP – inclusão automação

100ETESMIGL1-DIP01	DIGESTORES ANAERÓBIOS
100ETESMIGL1-DIP01-CAD01	SISTEMA DE AQUECIMENTO-CALDEIRA
100ETESMIGL1-DIP01-GBL01	BOMBEAMENTO LODO DIGERIDO
100ETESMIGL1-DIP01-GBL02	BOMBEAMENTO RECIRCULAÇÃO DE LODO
100ETESMIGL1-DIP01-GMC01	RECIRCULAÇÃO DE BIOGÁS
100ETESMIGL1-DIP01-MCA01	MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS
100ETESMIGL1-DIP01-OCV01	OBRA CIVIL
100ETESMIGL1-DIP01-SME01	SISTEMA DE MEDIÇÃO-1-DIGESTOR PRIMARIO 1
100ETESMIGL1-DIP01-SME02	SISTEMA DE MEDIÇÃO-2-DIGESTOR PRIMARIO 2
100ETESMIGL1-DIP01-SME03	SISTEMA DE MEDIÇÃO-3-DIGESTOR SECUNDÁRIO
100ETESMIGL1-DIP01-SME04	SISTEMA DE MEDIÇÃO-4-BOMBAS DE LODO DIG
100ETESMIGL1-DIP01-SQB01	QUEIMA DE BIOGÁS

Fonte: Dos autores, 2023.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DIAN FERREIRA, F.; CORAIOLA, M. *EFICIÊNCIA DO LODO ATIVADO EM FLUXO CONTÍNUO PARA TRATAMENTO DE ESGOTO*. *Revista acadêmica: ciências agrárias e ambientais*, v. 6, n. 2, p. 259, 2008.
2. EBERT, C.; DUARTE, C. H. C. *Digital Transformation*. *IEEE software*, v. 35, n. 4, p. 16–21, 2018.
3. FRANCESCHINI, F.; TURINA, E. *Proposal for a Performance Dashboard for the Monitoring of Water and Sewage Service Companies (WaSCs)*. *Water resources management*, v. 26, n. 1, p. 63–80, 2012.

4. HAN, H.; QIAO, J. *Nonlinear Model-Predictive Control for Industrial Processes: An Application to Wastewater Treatment Process. IEEE transactions on industrial electronics (1982)*, v. 61, n. 4, p. 1970–1982, 2014.
5. MARTINEZ, E. M. et al. Automation Pyramid as Constructor for a Complete Digital Twin, Case Study: A Didactic Manufacturing System. *Sensors (Basel, Switzerland)*, v. 21, n. 14, p. 4656, 2021.
6. MATT, C.; HESS, T.; BENLIAN, A. *Digital Transformation Strategies. Business & information systems engineering*, v. 57, n. 5, p. 339–343, 2015.
7. MEHTA, B. R.; REDDY, Y. J. *Industrial Process Automation Systems - Design and Implementation. Oxford: Elsevier*, 2014.
8. PADMANABHAN, T. R. *Industrial Instrumentation: Principles and Design. London: Springer London Limited*, 2012.
9. PAULUCCI, A.; RUBIM, L. FIAP - Nano courses. *Big Data & Analytics*. Disponível em: <https://on.fiap.com.br/local/nanocourses/index.php> Acesso em: 27 jun. 2022
10. PERES, J. et al. *Modelagem matemática para sistema de tratamento de esgoto doméstico com remoção simultânea de matéria orgânica e nitrogênio. Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 26, n. 4, p. 765–773, 2021.
11. SHADPOUR, F.; KILCOYNE, J. *Criteria for Building Automation Dashboards. ASHRAE journal*, v.57, n. 5, p. 28–36, 2015.
12. VIAL, G. *Understanding digital transformation: A review and a research agenda. The journal of strategic information systems*, v. 28, n. 2, p. 118–144, 2019.