



SÃO PAULO

**FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA
REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA**

**AUTOMAÇÃO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO: BIG DATA E MACHINE
LEARNING NO SANEAMENTO**

**AUTOMATION IN SEWAGE TREATMENT STATION: BIG DATA AND MACHINE LEARNING IN
SANITATION**

**Allan dos Anjos Pestana^{1, i}
José Roberto dos Santos^{2, ii}
Daniel Camusso^{3, iii}
Ricardo Martinez Vicentini^{4, iv}
Claudio Luis Magalhães Fernandes^{5, v}**

Data de submissão: (24/03/2022) Data de aprovação: (27/06/2022)

RESUMO

O objetivo é apresentar um piloto e os possíveis benefícios do uso das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 no saneamento, mais especificamente em uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE), visando, por exemplo, melhoria no controle de Oxigênio Dissolvido (OD) nos tanques de aeração, controle dos produtos químicos utilizados na etapa de desidratação mecânica de lodo, controle do manto de lodo nos decantadores primários e secundários, entre muitos outros e consequentemente a estabilidade geral nos processos subsequentes. Visa também a eficiência energética nestas etapas do processo, considerando a Companhia de Saneamento, um dos maiores clientes da Companhia de Energia Elétrica da Região Metropolitana de São Paulo, e alguns de seus equipamentos podendo ser comparados ao consumo energético de pequenos municípios.

ABSTRACT

The project aims to introduce a pilot and the potential benefits of using enabling technologies of 4.0 Industry in Sanitation, more specifically in a Sewage Treatment Station (STS), aiming, for example, to improve the Dissolved Oxygen (DO) control in aeration tanks; the control of

¹ Pós-Graduando em Indústria 4.0 na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica e graduado em Engenharia Eletrônica com ênfase em Automação Industrial. E-mail: allan.pestana@hotmail.com

² Docente na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: joseroberto@sp.senai.br

³ Docente na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: daniel.camusso@sp.senai.br

⁴ Docente na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: ricardo.vicentini@sp.senai.br

⁵ Mestre em Engenharia Mecânica e Diretor Acadêmico do Ensino Superior do SENAI-SP. E-mail: claudio.fernandes@sp.senai.br

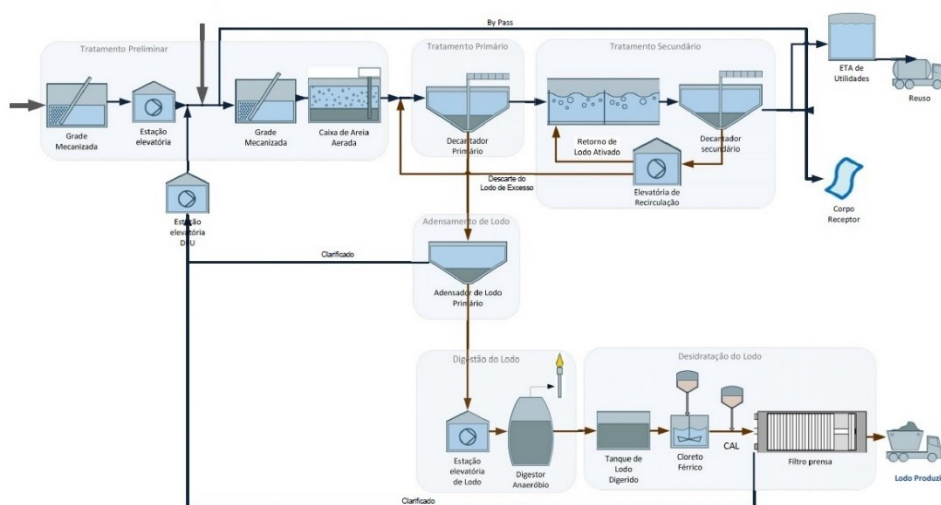
chemical products used in the mechanical dehydration stage of sludge; the sludge blanket control in primary and secondary decanters; etc., and, consequently, general stability in subsequent processes. Also target the energy efficiency in these stages of the process, considering the Sanitation Company is one of the largest customers of the Electric Energy Company of the Metropolitan Region of São Paulo, and some of its equipment can be compared to the energy consumption of small counties.

1 INTRODUÇÃO

A Estação de Tratamento de Esgotos em questão está localizada no município de São Paulo, entre os municípios de São Paulo e São Caetano do Sul. A instalação atende diversas cidades dessa região, são elas: Santo André, São Bernardo, Diadema, São Caetano, Mauá, e uma parte da cidade de São Paulo. Tem vazão média de 2792 litros/segundo e beneficia mais de 1,4 milhões de habitantes.

Essa Estação tem concepção de tratamento por lodo ativado, um tratamento aeróbico, onde é enviado oxigênio ao licor misto nos tanques de aeração. Dessa forma, os microrganismos presentes neste licor decompõem a matéria orgânica presentes no esgoto, segue fluxograma de uma dessas Estações na figura 1:

Figura 1 – Fluxograma do tratamento – ETE



Fonte: O autor (2022).

Segundo Van Haandel e Marais (1999) para garantir que o tratamento de esgoto seja eficiente é preciso manter um valor mínimo de Oxigênio Dissolvido (OD) no licor misto (de 1 a 2 mg/L).

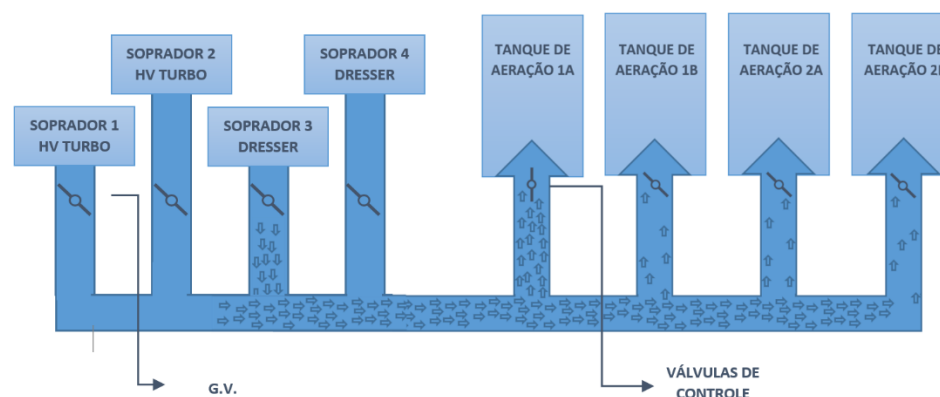
A automação e controles simples podem auxiliar nesse controle, que é um exemplo, dentre os diversos controles existentes na planta.

Outro fato observado, é que a carga orgânica da estação pode ser muito variável, dependendo de diversos fatores, como por exemplo, horário do dia, período de chuvas, entre outros. A variação desses fatores, exige que a oxigenação nos tanques de aeração varie imediatamente. Segundo Metcalf e Eddy (2003) os aeradores devem permitir atender essas

variações com flexibilidade e economizar energia, dado o custo energia nessa etapa do processo. Jordão e Pessoa (2014) afirmam que o oxigênio dissolvido é um parâmetro fundamental no tratamento por lodo ativado para decomposição da matéria orgânica.

A ausência do controle de pressão na saída dos sopradores afeta o controle de OD nos tanques de aeração. Isso acontece porque a modulação da válvula que controla vazão de ar individualmente em cada um dos tanques, altera a pressão de todo o sistema e as malhas dos outros tanques, como exemplificado abaixo, figuras 2:

Figura 2 - Malhas de controle de OD, abertura da válvula em dos tanques afeta a pressão e o controle dos outros tanques



Fonte: O autor (2022).

Pela ausência desse controle, encontrava-se dificuldade em atender os parâmetros amônia e alcalinidade no efluente da estação que é encaminhada a uma das maiores iniciativas de água de reuso. Essa iniciativa realiza um refinamento (tratamento terciário) e encaminha a água de reuso para um polo industrial, que a utiliza para fins industriais. O fornecimento médio de água secundária é de 450L/s, com possibilidade de expansão para até 1000L/s, previsto em contrato.

Considerando a companhia de saneamento um dos maiores clientes de energia elétrica da região, e os sopradores serem as maiores cargas elétricas de suas plantas de tratamento de esgotos, controlar o consumo de energia desses equipamentos no valor mínimo possível, com o objetivo de reduzir custos, é de extrema importância. É possível controlar a abertura do soprador, chamado de “Guide Vane”, ele determina a quantidade de ar que é enviado aos tanques, e quanto maior essa quantidade maior também será o consumo do mesmo. Segundo Van Haandel e Marais (1999) um dos custos operacionais mais expressivos em uma planta de tratamento de esgotos é com a energia utilizada nessa etapa.

Na análise orçamentária do ano 2017 da Unidade, o gasto com energia elétrica foi a segunda maior despesa. O gasto com energia elétrica representou 25,4% dos gastos, 63,5 milhões/ano.

A potência nominal do motor do soprador, responsável por enviar ar aos tanques de aeração em uma das Estações, é de 3550 CV ou 2611 kW em sua abertura total, e 1392 kW

em sua abertura mínima. Levando-se em consideração a média do valor pago por mês no ano de 2017 e o consumo em kWh, podemos calcular a média do valor pago por kWh, chegando ao valor aproximado de R\$ 0,2563, e então, podemos calcular quanto custa esse equipamento individualmente em sua abertura mínima por mês: R\$ 256.892,63/Mês.

$$Potência (kW) \times Tempo(h) \times Tarifa \left(\frac{kW}{h}\right) = Custo (R\$)$$

Equação (1)

A partir de dados de placa do equipamento em conjunto com a equação conseguimos chegar ao custo financeiro energético do equipamento:

Tabela 1 - Média de valores pagos em 2017 ETE ABC (R\$/kWh)

2017	Pagamentos total incluindo impostos (R\$)	Consumo por mês (kWh)	Média (R\$/kWh)
Média anual	666.710,36	2.604.733,73	0,2563057

Tabela 2 - Custo mensal do soprador Dresser a unidade

Abertura do GV (%)	Corrente (A)	Potência (kWh)	Consumo mensal(kWh)	Custo mensal(R\$)
29 (Mínima)	128	1392	1.002.289	256.892,63
100 (Máxima)	-	2611 (Nominal)	1.879.920	481.823,50

Fonte: O autor, 2022.

O consumo anual do Soprador na abertura mínima seria de 12.027.479,4 kWh equivalente ao consumo residencial de um pequeno município em 2016, com mais de 7000 consumidores, conforme figura 3:

Figura 3 – Anuário de Energéticos por Município Estado de São Paulo – Energia Elétrica – Ano base 2016

Anuário de Energéticos por Município 2017 - ano base 2016

Energia Elétrica - Número de Const

MUNICÍPIO	RESIDENCIAL		COMERCIAL		RURAL		INDUSTRIAL		ILUMINAÇÃO PÚBLICA		PODER PÚBLICO		SERVIÇO PÚBLICO		CONSUMO PRÓPRIO	
	N.C.	kWh	N.C.	kWh	N.C.	kWh	N.C.	kWh	N.C.	kWh	N.C.	kWh	N.C.	kWh	N.C.	kt
Inúbia Paulista	1.292	2.365.277	98	2.507.416	125	933.154	4	18.979	1	523.296	43	293.105	7	247.384	2	3.
Ipaussu	4.838	9.196.358	319	3.788.934	87	692.046	54	5.913.658	26	1.747.973	65	678.396	10	839.605	3	27.
Iperó	9.898	20.305.298	198	5.006.978	176	1.312.415	68	21.012.345	7	2.017.790	154	15.192.971	25	1.754.237	1	
Ipeúna	2.708	5.144.745	153	1.480.645	283	5.255.262	67	16.274.718	28	1.213.253	50	562.517	13	446.411	1	10.
Ipiratuba	1.246	2.524.235	45	736.389	36	4.069.515	9	1.677.817	4	322.701	25	346.252	8	301.896	0	
Iporanga	1.222	1.771.657	97	578.580	209	334.196	3	4.368	13	246.126	47	205.380	14	313.934	2	6.
Ipuã	5.334	11.316.988	319	3.451.724	150	3.341.131	22	9.499.842	8	1.300.385	87	-3.946.183	9	983.409	2	20.
Itacemópolis	7.592	16.402.013	724	6.600.471	106	3.397.163	177	20.523.130	24	2.776.242	63	1.129.209	14	1.351.454	1	87.
Itapuaçu	2.386	4.798.019	205	1.510.736	312	2.913.213	10	259.523	10	722.385	40	344.210	11	297.504	2	7.
Itapuru	2.242	3.837.428	211	1.289.537	441	1.376.863	10	151.366	8	670.817	41	1.415.843	14	1.128.443	0	
Itaberá	5.103	7.575.731	414	6.220.480	1.503	18.403.408	23	1.030.078	12	1.011.647	83	697.193	13	860.268	3	38.
Itai	7.186	11.905.688	448	4.314.714	68	69.977.548	41	352.021	22	2.564.764	67	798.524	10	1.285.517	3	59.
Itajobi	5.262	12.374.375	567	5.600.751	764	7.116.266	78	15.972.394	6	1.740.601	64	825.610	21	1.096.465	3	5.
Itajú	1.578	2.585.017	73	578.758	285	2.238.230	14	1.015.770	18	505.780	30	302.235	3	213.160	0	

Fonte:

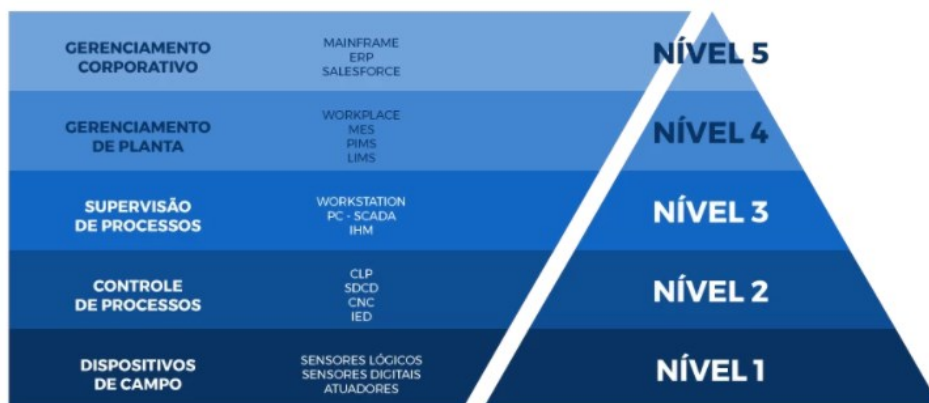
http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalev2/intranet/BiblioVirtual/diversos/anuario_energetico_municipio.pdf

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 Pirâmide de Automação

A literatura de automação, divide os elementos pertencentes a um sistema automático em cinco camadas, visando separá-los de acordo com sua funcionalidade hierárquica. A primeira camada, contempla todos os dispositivos de campo fundamentais para os controles, sejam atuadores, medidores de nível, vazão, pH e afins. Na segunda camada da pirâmide estão os controladores de processo, no caso das plantas de tratamento, são utilizados majoritariamente os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs). Na terceira camada estão os sistemas de supervisão e as Interface Homem Máquina (IHMs) com a funcionalidade de realizar a primeira interface com usuário final. Na quarta camada, os gerenciadores da planta, e na Sabesp é utilizado o *Plant Information Management System* - Sistema de gerenciamento de informações da planta (PIMS), PI System da OSI Software. Por fim, na última camada estão os *Enterprise Resource Planning* - Sistema integrado de gestão empresarial (ERPs) e atualmente o utilizado na Sabesp é o SAP (GOEKING, 2010).

Figura 4 – Pirâmide de automação



Fonte: <https://www.altus.com.br/post/100/curso-de-introducao-a-automacao--5baula-01-5d>

1.2 IoT

Internet of things ou Internet das coisas, é um conceito fundamental para a indústria, onde o “caminho” de comunicação usualmente utilizado por seres humanos na internet, para realizar compras, se comunicar em redes sociais e afins, é nesse caso utilizado pelas máquinas (SACOMANO et al., 2018).

1.3 Big Data

O termo ou conceito *Big Data* não é exatamente novo. De 2004 a 2010, por exemplo, a busca pelo tema se mantinha constante, foi então que o interesse pelo assunto começou a aumentar exponencialmente, chegando a ser dez vezes maior em 2018 (GOOGLE TRENDS, 2022). E como é possível afirmar isso sem muitas pesquisas? Utilizando a ferramenta do Google chamada Google Trends, que a partir de um número gigantesco de buscas em sua

plataforma, converte esses dados em gráficos que relacionam as pesquisas em determinados locais e períodos do tempo, um exemplo fantástico de *Big Data*.

Um outro exemplo de *Big Data* pode ser visto nos mapas virtuais. Antes o mapa do GPS, era egoísta, encaminhava todos pelo “melhor caminho” que a partir daí se abarrotava de motoristas e já não se mostrava ser exatamente o melhor. Hoje o Waze é colaborativo, utilizando-se dos dados dos usuários, indica o melhor caminho para cada indivíduo, e quando aquele caminho se tornar saturado de motoristas, o segundo melhor passará a ser a melhor rota, tudo isso de forma dinâmica. E isso só é possível com a utilização de *Big Data*.

Segundo a BBC, uma startup Recifense, Epitrack, entre os finalistas do The Venture Brasil, etapa brasileira de uma importante competição de empreendedorismo social no mundo, promete utilizar de Big Data, para prever com até duas semanas de antecedência o aparecimento de alguma epidemia ou surto de doença, através das pesquisas realizadas no Google pelas pessoas. Segundo Gartner (2022), em sua definição, Big Data, é uma grande quantidade de dados em volume, variedade e velocidade. Nesse caso, uma grande quantidade de pessoas pesquisando, por exemplo, “manchas vermelhas”, poderia significar o surto de determinada doença, em algum local, antes mesmo dos seres humanos especialistas no assunto perceberem isso. A máquina fazendo o que o ser humano não poderia fazer sozinho.

A era da informação permitiu a existência de uma grande quantidade de dados, com infinitas possibilidades de utilização, mas segundo Stair e Reynolds (2013) dados somente não é informação, e a boa utilização ou não de todo esse material, pode significar o surgimento de uma nova era ainda desconhecida para todos nós, ou fracasso de grandes companhias sem visão de negócio.

1.4 Indústria 4.0

Toda evolução humana e tecnológica que aconteceu gradualmente nos últimos séculos trouxeram benefícios para a indústria e meios de produção. A chamada primeira revolução industrial ocorre na segunda metade do século XVIII com a criação da máquina a vapor e a diminuição significativa do esforço braçal humano no trabalho. A segunda através da produção em escala e divisão do trabalho com o advento da eletricidade no começo do século XX. A terceira revolução é tida no início dos anos 70, com os robôs e controladores programáveis. (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

A quarta revolução industrial é caracterizada pelos sistemas autônomos e capazes de tomar ou propor decisões até então impossíveis ao ser humano, haja vista a capacidade de processamento. Segundo Choi et al., (2016) é também caracterizado pela utilização de sistemas inteligentes e elevado grau de automação. O termo foi utilizado pela primeira vez em 2011 em Hanover na Alemanha segundo (DRATH e HORCH, 2014).

1.5 Saneamento 4.0

Assim como a indústria, o saneamento demanda processos cada vez melhores e mais eficientes. 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.

O Saneamento 4.0 se mostra como uma alternativa para o setor. Alguns dos pilares da indústria 4.0, tem a possibilidade de tornar, por exemplo, o tratamento de esgoto algo não

mais reativo as mudanças de características do esgoto, do clima ou das bacias a que atende e sim podendo prever essas alterações com o uso de *Big Data* e *Machine Learning*.

Muito controles necessários nas Estações de Tratamento de Esgoto, como por exemplo, controle de oxigênio dissolvido nos tanques de aeração, cloreto férrico e polímero na desidratação mecânica de lodo, ou hipoclorito na água de reuso já existem desde o início dessas Estações. Contudo, com o Saneamento 4.0, espera-se aplicar as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 nesse setor, para alcançar um patamar que o controle humano não permite. Por exemplo, utilizar do *Big Data*, para minerar grande quantidade de dados relacionados as bacias pertencentes a determinada Estação, fatores climáticos e externos para prever e antecipar a atuação dos controles, tornando os processos muito mais eficientes.

1.6 Machine Learning

O *Machine Learning* pode ser definido como a capacidade de uma máquina de aprender sem ser previamente programado (SAMUEL, 1959). Posteriormente redefinido e categorizado em quatro possíveis grupos de algoritmos de Machine Learning: supervisionado, não supervisionado, semisupervisionado e aprendizado por reforço (MITCHELL, 1997).

1.7 Inteligência Artificial

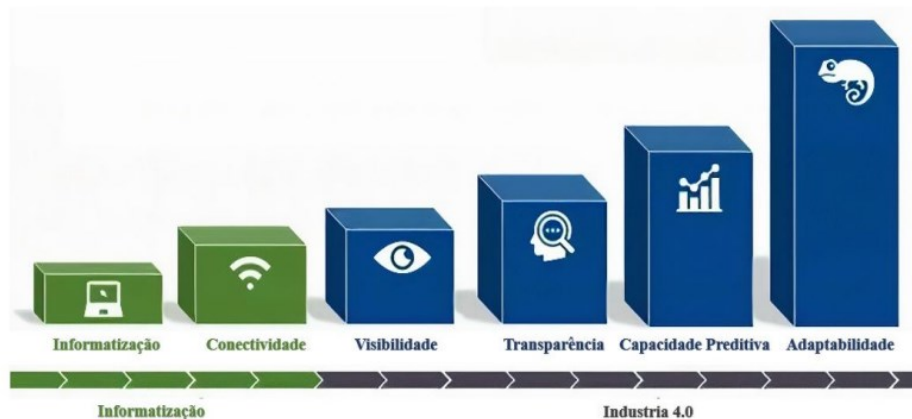
A inteligência artificial tem por objetivo fazer com que determinada máquina se comporte ou pense com inteligência, segundo Gomes (2010). Por exemplo, em um dia de chuva, é comum que uma pessoa leve um guarda-chuva, em um dia de chuva e frio é esperado também que essa mesma pessoa leve um guarda-chuva e uma blusa. Agora imagine em uma indústria em que diversos fatores acarretam uma porção de implicações. É bem provável que a capacidade humana, não seja suficiente para dar a esses processos todas a resposta de que ele precise, e as máquinas, sua capacidade computacional e a inteligência artificial podem ser uma alternativa para tal.

1.8 Avaliação de Maturidade da Acatech

Para identificação de qual momento a empresa está na implementação das tecnologias habilitadoras da indústria 4.0, é possível utilizar uma avaliação de maturidade, como por exemplo, a da ACATECH - German Academy of Science and Engineering – Academia Alemã de Ciências e Engenharia, (SCHUMACHER; EROL & SIHN, 2016).

Como apontado em algumas revisões bibliográficas, a Europa é o local, segundo suas publicações, com maior avanço no uso das tecnologias habilitadoras atualmente. No Brasil, infelizmente, boa parte da indústria ainda se encontra entre a segunda e terceira revolução industrial, sendo o setor automotivo o que apresenta melhor desempenho nesse sentido (FIRJAN, 2016)

Figura 5 – Escala de maturidade – Indústria 4.0 - ACATECH

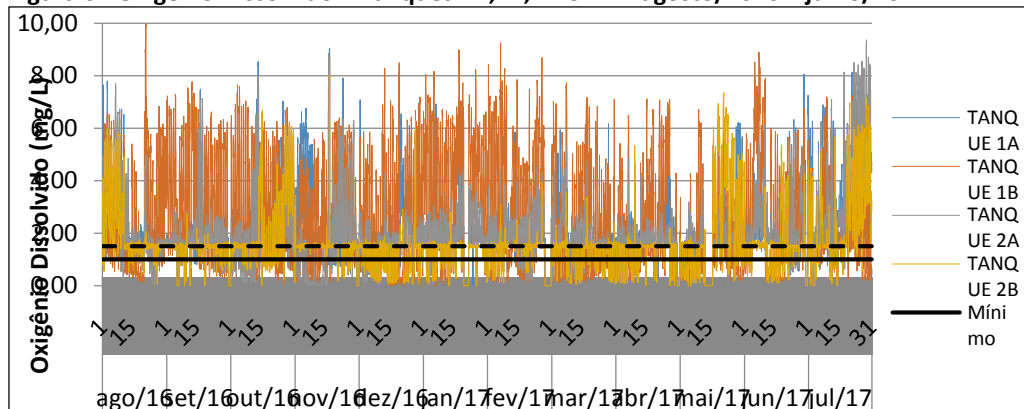


Fonte: Nunes (2020).

3 DESENVOLVIMENTO

O sistema supervisório registra diversos dados das plantas, entre eles, o oxigênio dissolvido. Analisando esses dados é possível observar a necessidade de melhorar esse controle, com dados fora da faixa ideal (Entre 1,0 e 1,5 mg/L). Pode ser visto no registro de OD no período de agosto de 2016 a julho de 2017, figura 6:

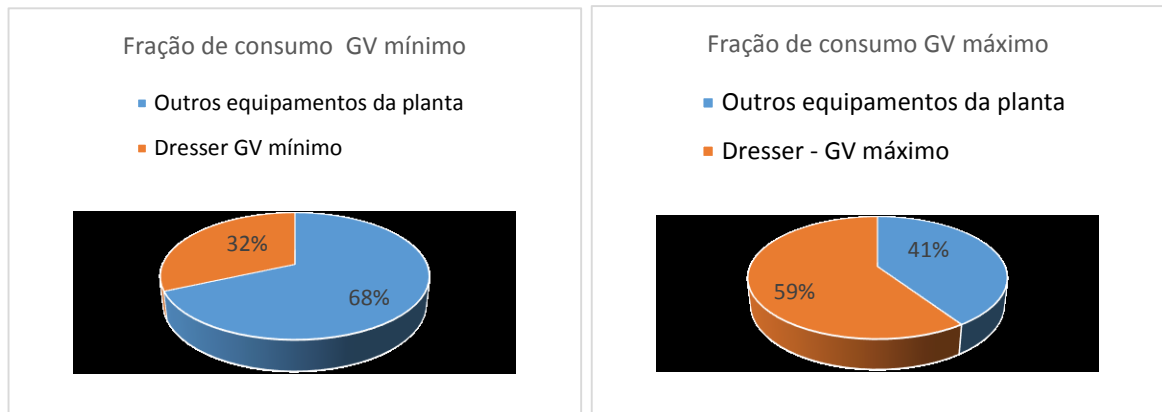
Figura 6 - Oxigênio Dissolvido – Tanques 1A,1B,2A e 2B – agosto/2016 – julho/2017



Fonte: O autor (2022)

A equipe de engenharia elétrica, que já cuida da gestão de energia da Unidade, inclusive a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) em questão, verificou a viabilidade técnica do projeto. Analisando os gastos com energia, e é possível observar o consumo do soprador e o potencial de redução desse gasto, visto na figura 07.

Figura 07 – Fração do consumo do soprador em relação ao restante da planta em sua abertura mínima e máxima

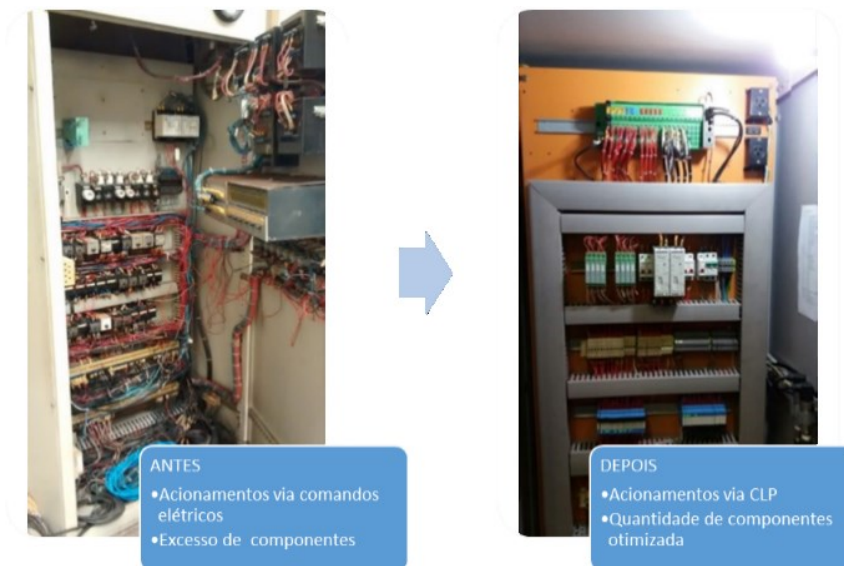


Fonte: O autor (2022).

O novo painel funciona de maneira amigável ao operador e é de fácil operação e manutenção. Permite partir o equipamento com rapidez, e tem a abertura e fechamento de válvulas, feitos de maneira automática. Tem informações agrupadas de acordo com as funções, grandezas e partes do equipamento, facilitando a visualização dessas informações nas telas.

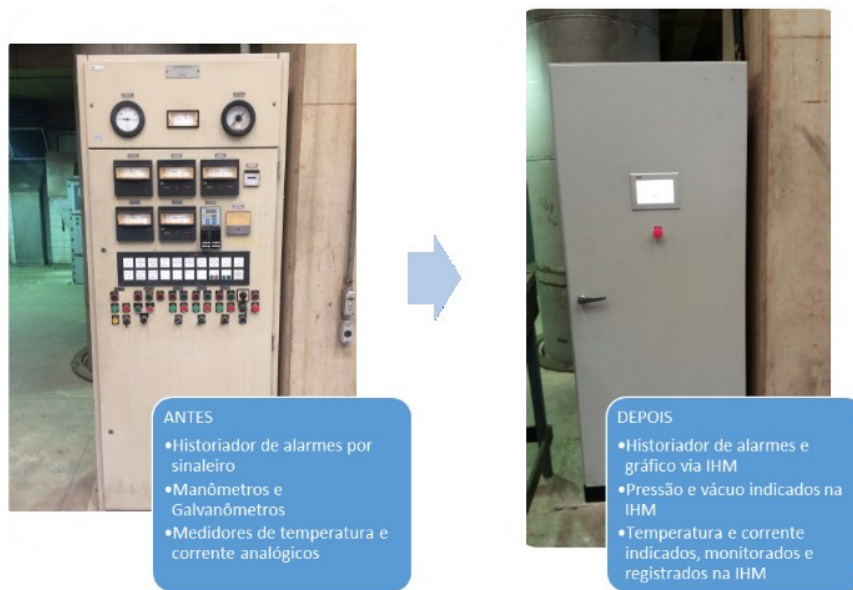
Seguem imagens antes e depois do projeto (Figuras 08 e 09).

Figura 08 – Antes e depois parte interna do painel



Fonte: O autor (2022).

Painel 09 – Antes e depois parte externa do painel

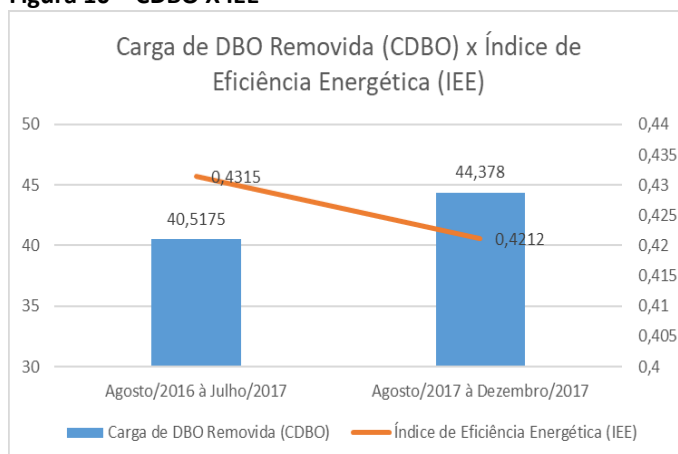


Fonte: O autor (2022).

4 RESULTADOS

A média dos valores do indicador “Índice de Eficiência Energética” (IEE) entre agosto de 2016 e Julho de 2017 foi de 0,4315. E entre agosto de 2017 e Dezembro de 2017 foi de 0,421, valor 2,43% menor. Enquanto o indicador CDBO nos períodos supra cima citados foi 40,518 para 44,38, ou seja, teve um aumento de aproximadamente 9,53% (Figura 10). Esses dados apesar de darem uma dimensão da importância do trabalho, ainda assim, poderiam ser mais representativos, caso houvesse, por exemplo, medição de energia setorizada em cada uma das etapas do processo da Estação.

Figura 10 – CDBO X IEE

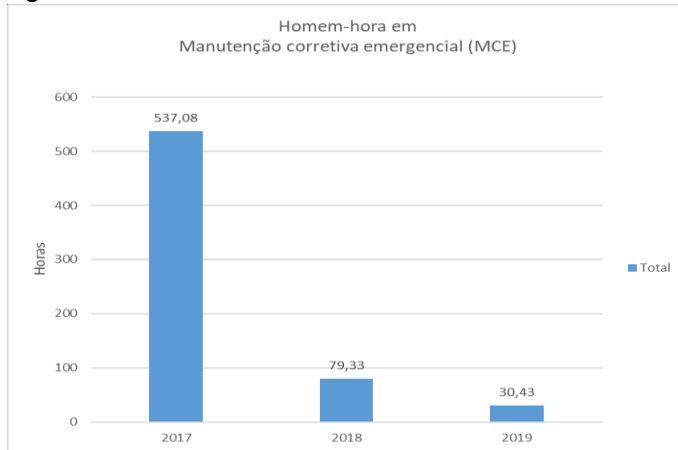


Fonte: O autor (2022)

Houve redução de homem-hora nos sopradores da estação, que é um equipamento crítico. Isso pode ser constatado através dos dados extraídos do módulo de manutenção do software de gestão da companhia, o SAP. As horas aplicadas em manutenção corretiva emergencial (MCE) nos dois Sopradores caíram de 537,08 horas em 2017 quando se iniciaram

os trabalhos no primeiro Soprador, Dresser 03, para 30,43 horas em 2019, quando o trabalho já havia sido terminado nas duas máquinas, uma redução de mais de 94% (Figura 11).

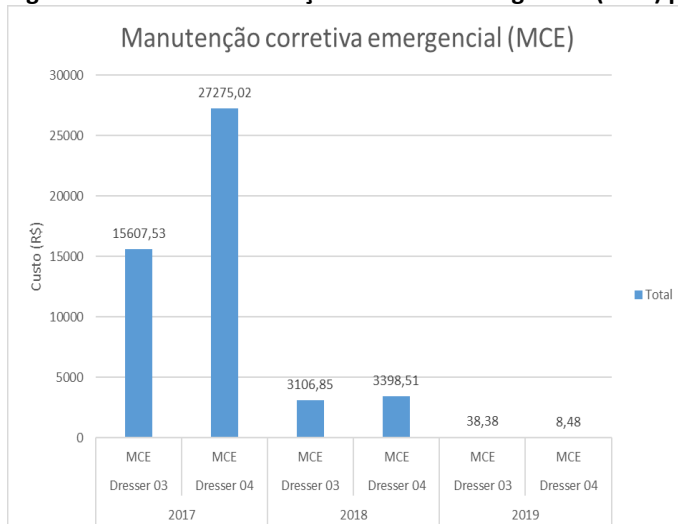
Figura 11 - Homem-hora em MCE



Fonte: O autor (2022).

Foi possível observar redução expressiva nos custos dessa modalidade de manutenção, MCE, nos dois sopradores à medida que o trabalho foi executado em cada uma das máquinas. Redução de mais de 99,75 com custos de MCE entre 2017 e 2019 no Dresser 03 e 99,96 no Dresser 04 no mesmo período (Figura 12).

Figura 12 – Custo manutenção corretiva emergencial (MCE) por Soprador



Fonte: O autor (2022).

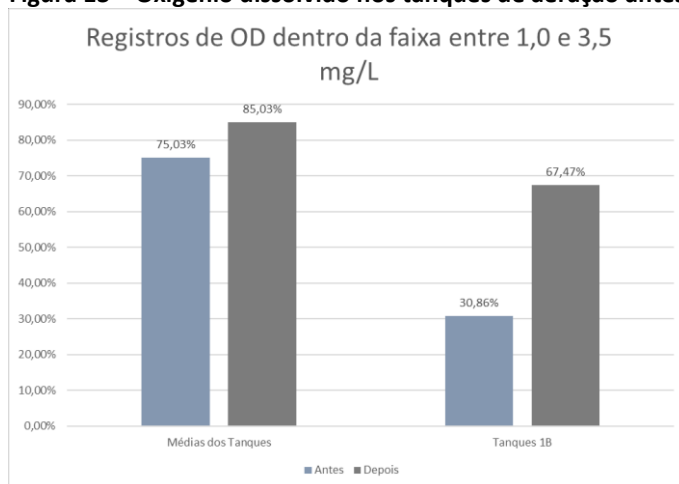
Foram obtidos ganhos intangíveis após a implementação do trabalho, por exemplo, tendo as operando em automático, o trabalho manual dos operadores nas válvulas dos tanques de aeração diminuiu.

Depoimento, Engenheira de processo da planta: “A amônia muito baixa, em torno de 1 ppm, complica o processo, necessita aplicação de soda caustica nos tanques biológicos. Em resumo, temos que controlar o OD para não desperdiçar energia e controlar a nitrificação, para que não ocorra a nitrificação completa e derrubando a alcalinidade e o pH. ”

Depoimento, Técnico operacional: “A troca da IHM do soprador 03 trouxe benefícios. Facilidade ao ligar e desligar o equipamento, pois a IHM faz de maneira automática a sequência de checagem das etapas de partida do soprador, bem como o ajuste do sistema ar óleo, alta segurança para o operador, pois visualiza via painel os parâmetros de todas as etapas, ajuste mais refinado de abertura e fechamento de *Guide Vane*, e facilidade na automação das malhas de OD.”

Após inserida a malha de controle de pressão na saída do Soprador foi possível observar melhoria expressiva no controle de OD da estação, com as mesmas malhas de controle de cada tanque. A média dos registros do OD dos 4 tanques que ficava em torno de 75% do período entre a faixa de 1,0 a 3,5, passou para 85%. Enquanto o tanque 1B que se mostrava o mais crítico, ficando apenas 30% do período nessa mesma faixa, passou a ficar em torno de 67%. O período classificado como “Antes” é entre agosto de 2016 e julho de 2017, em que se sabe que a planta não possuía malha de controle de pressão (Figura 13). Enquanto o “Depois” é entre agosto de 2017 e dezembro de 2017. Não são utilizados dados mais recentes para comparação pois é de conhecimento interno que alguns pontos de vazamentos de ar foram identificados nas tubulações da Estação.

Figura 13 – Oxigênio dissolvido nos tanques de aeração antes da implementação do trabalho

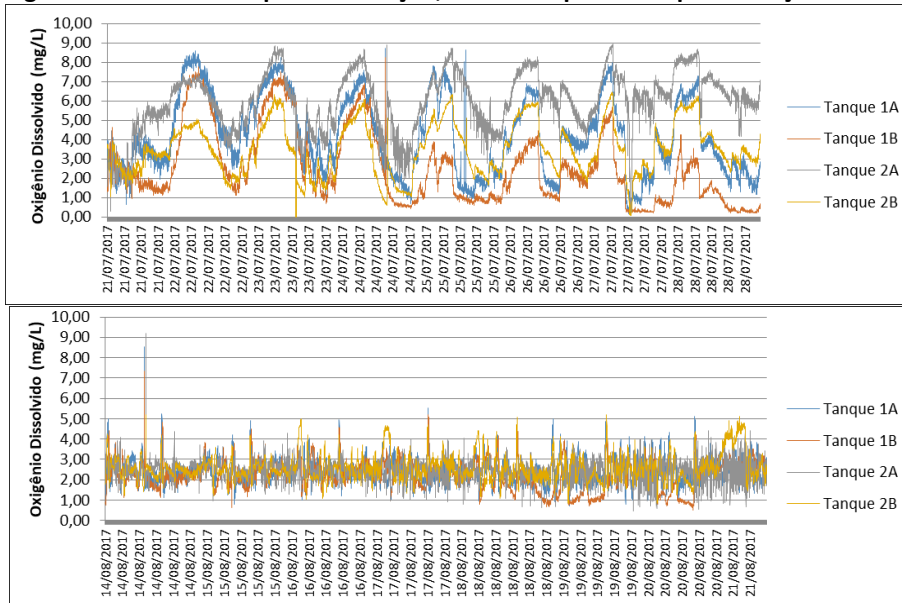


Fonte: O autor (2022).

Foi possível observar imediata melhora no controle de oxigênio dissolvido de todos os tanques de aeração, haja vista que essas malhas funcionam em cascata e uma depende da outra (Figura 14).

O projeto é avaliado a partir do dado de OD nos tanques de aeração extraído do supervisor, agora muito mais estável. A pressão na saída do compressor foi ajustada inicialmente em 10,5 PSI, desta forma atendendo a demanda dos tanques com “sobra”, então foi baixada gradativamente até obter-se um ponto ótimo.

Figura 14 – OD nos tanques de aeração, antes e depois da implementação do trabalho



Fonte: O autor (2022).

5 PILOTO DE TECNOLOGIAS HABILITADORAS NA ETE

O trabalho apresentado anteriormente demonstra os resultados financeiros e operacionais obtidos com a aplicação da automação de forma localizada em uma etapa do processo. Contudo o potencial de benefícios projetados pode ir muito além. A Unidade de Tratamento em questão que, por exemplo, possuía poucos instrumentos analíticos para controle de seus processos, tem previsão de aumento exponencial dessas análises, conforme pode ser visto abaixo:

Tabela 3: Instrumentação analítica em processo de comissionamento 03/2022

	Sistema	Parâmetro	Quant.
Compra de dados	Sistema ABC	pH	5
		Condutividade	5
		SST	6
		DQO	2
		ORP	6
		OD	12
		NH3	3
		Turbidez	6
		Manto de lodo	6
		Total	51
	ETE São Miguel	pH	1
		Condutividade	2
		SST	7
		DQO	2
		ORP	12
		OD	12
		NH3	3
		Turbidez	2
		Manto de lodo	4
		Cloro	1
		Total	46
	ETE Suzano	pH	1

		Condutividade	2
		SST	4
		DQO	2
		ORP	3
		OD	3
		NH3	3
		Turbidez	2
		Manto de lodo	4
		Cloro	1
		Total	25

Fonte: O autor (2022).

A previsão de liberação desses dados é para fevereiro de 2022, e após poderá ser pilotada uma solução de *Machine Learning* para o Tratamento de Esgoto, nesse caso, pela quantidade de análises, pioneira no Brasil. Em conjunto com o contrato de compra de dados também está em andamento um contrato para compra de elementos finais de controle, afim de que os mesmos possam realizar atuação no processo, podendo ser possível fechar as malhas de controles em cada uma das Estações de Tratamento.

Tabela 4 – Elementos finais de controle

Contrato	Sistema/ETE	Objeto	Etapas do processo	Quantidade
Elementos finais de controle	ETE ABC	Transmissor de nível radar	Poço de espuma	4
		Transmissor termal mássico de ar	Tanque de aeração	4
		Válvula + atuador	Decantador primário	18
		Caixa de terminais de válvulas	Decantador primário	2
		Compressor de ar	Decantador primário	2
	ETE São Miguel	Transmissor termal mássico de ar	Tanque de aeração	12
		Compressor de ar	Decantador primário	2
		Atuador + posicionador	Decantador primário	4
		Atuador + posicionador	Tanque de aeração	12
	ETE Suzano	Válvula + atuador	Decantador primário	12
		Caixa de terminais de válvulas	Decantador primário	1
		Compressor de ar	Decantador primário	2
		Atuador + posicionador	Tanque de aeração	4

Fonte: O autor (2022).

Com os dados analíticos das plantas de tratamento de esgoto tabulados, estudamos a possibilidade de haver correlações entre as séries de dados. O Excel possui uma fórmula para o cálculo do coeficiente de correlação, CORREL. Abaixo a equação que a fórmula utiliza:

$$Correl(X, Y) = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}}$$

Equação (2)

Ou seja, a partir desse ponto podemos enxergar possíveis correlações entre dados analíticos de diferentes etapas do processo. Como esses dados ainda estão em processo de registro segue exemplo da planilha criada no Excel, afim de criar um piloto para o estudo, inicialmente com dados aleatórios, com periodicidade de 5 minutos:

Figura 15 – Dados analíticos (ETE ABC)

			Local
		Parâmetro	
Data	Hora	TAG	
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-101	pH
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-102	Condutividade
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-103	SST (imersão)
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-104	DOO
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-105	SST (imersão)
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-106	DOO
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-107	SST (imersão)
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-108	DOO
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-109	Condutividade
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-110	SST (imersão)
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-111	DOO
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-112	SST (imersão)
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-113	DOO
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-114	SST (imersão)
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-115	DOO
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-116	SST (imersão)
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-117	DOO
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-118	SST (imersão)
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-119	DOO
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-120	SST (imersão)
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-121	DOO
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-122	SST (imersão)
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-123	DOO
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-124	SST (imersão)
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-125	DOO
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-126	SST (imersão)
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-127	DOO
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-128	SST (imersão)
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-129	DOO
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-130	SST (imersão)
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-131	DOO
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-132	SST (imersão)
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-133	DOO
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-134	SST (imersão)
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-135	DOO
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-136	SST (imersão)
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-137	DOO
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-138	SST (imersão)
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-139	DOO
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-140	SST (imersão)
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-141	DOO
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-142	SST (imersão)
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-143	DOO
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-144	SST (imersão)
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-145	DOO
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-146	SST (imersão)
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-147	DOO
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-148	SST (imersão)
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-149	DOO
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-150	SST (imersão)
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-151	DOO
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-152	SST (imersão)
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-153	DOO
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-154	SST (imersão)
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-155	DOO
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-156	SST (imersão)
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-157	DOO
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-158	SST (imersão)
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-159	DOO
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-160	SST (imersão)
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-161	DOO
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-162	SST (imersão)
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-163	DOO
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-164	SST (imersão)
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-165	DOO

Fonte: O autor (2022).

Como em alguns pontos, existe mais de uma medição de determinada grandeza, como por exemplo, turbidez nos DSs, e não há interesse em enxergar correlações entre essas medidas individualmente, então nesses casos a média dos valores encontrados devem servir para os passos seguinte. Abaixo segue a tabela, com o detalhe em cinza para os dados em que foram obtidas as médias:

Figura 16 – Dados analíticos, média (ETE ABC)

			Local
		Parâmetro	
Data	Hora	TAG	
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-101	Esgoto bruto
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-102	Esgoto bruto
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-103	Esgoto desarenado
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-104	Esgoto desarenado
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-105	Captação Aquapolo
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-106	Efluente Primário
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-107	Efluente Final
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-108	Licor misto
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-109	Reatores Aeróbios
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-110	Reatores Aeróbios
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-111	Reatores Aeróbios
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-112	Efluente Primário
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-113	Efluente Final
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-114	Efluente Final
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-115	Efluente Final
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-116	Efluente Final
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-117	Efluente Final
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-118	Efluente Final
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-119	Efluente Final
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-120	Efluente Final
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-121	Efluente Final
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-122	Efluente Final
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-123	Efluente Final
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-124	Efluente Final
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-125	Efluente Final
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-126	Efluente Final
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-127	Efluente Final
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-128	Efluente Final
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-129	Efluente Final
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-130	Efluente Final
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-131	Efluente Final
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-132	Efluente Final
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-133	Efluente Final
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-134	Efluente Final
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-135	Efluente Final
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-136	Efluente Final
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-137	Efluente Final
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-138	Efluente Final
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-139	Efluente Final
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-140	Efluente Final
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-141	Efluente Final
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-142	Efluente Final
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-143	Efluente Final
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-144	Efluente Final
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-145	Efluente Final
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-146	Efluente Final
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-147	Efluente Final
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-148	Efluente Final
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-149	Efluente Final
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-150	Efluente Final
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-151	Efluente Final
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-152	Efluente Final
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-153	Efluente Final
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-154	Efluente Final
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-155	Efluente Final
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-156	Efluente Final
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-157	Efluente Final
01/04/2022	03:00:00	PI-AIT-158	Efluente Final
01/04/2022	06:00:00	PI-AIT-159	Efluente Final
01/04/2022	09:00:00	PI-AIT-160	Efluente Final
01/04/2022	12:00:00	PI-AIT-161	Efluente Final
01/04/2022	15:00:00	PI-AIT-162	Efluente Final
01/04/2022	18:00:00	PI-AIT-163	Efluente Final
01/04/2022	21:00:00	PI-AIT-164	Efluente Final
01/04/2022	00:00:00	PI-AIT-165	Efluente Final

Fonte: O autor (2022).

E então é possível calcular o coeficiente de correlação entre duas séries de dados. Abaixo temos uma tabela com todas as correlações sendo calculadas, o valor pode ser obtido cruzando linha e coluna com os dados em que se deseja correlacionar:

Figura 19 – Dados analíticos, correlações com delay 1 hora (ETE ABC)

			Comparação Delay 3 horas															
Local	Parâmetro	TAG	Local	Parâmetro	TAG	Local	Parâmetro	TAG	Local	Parâmetro	TAG	Local	Parâmetro	TAG	Local	Parâmetro	TAG	Local
Esgoto bruto	pH	PI-AIT-101	Esgoto bruto	pH	PI-AIT-101	Esgoto bruto	Condutividade	PI-AIT-102	Esgoto bruto	Condutividade	PI-AIT-102	Esgoto desareado	SST (imersão)	PI-AIT-103	Esgoto desareado	DOO	PI-AIT-104	Esgoto desareado
Esgoto bruto	Condutividade	PI-AIT-102	Esgoto bruto	Condutividade	PI-AIT-102	Esgoto desareado	SST (imersão)	PI-AIT-103	Esgoto desareado	DOO	PI-AIT-104	Esgoto desareado	DOO	PI-AIT-104	Captção Aquapolo	NH3	PI-AIT-123	Efluente Primário
Esgoto desareado	SST (imersão)	PI-AIT-103	Esgoto desareado	DOO	PI-AIT-104	Esgoto desareado	DOO	PI-AIT-104	Efluente Primário	SST (imersão)	PI-AIT-105	Efluente Final	DOO	PI-AIT-506	Licor misto	SST (imersão)	PI-AIT-406	Reatores Aeróbios
Esgoto desareado	DOO	PI-AIT-104	Esgoto desareado	DOO	PI-AIT-104	Efluente Primário	SST (imersão)	PI-AIT-105	Efluente Final	DOO	PI-AIT-506	Licor misto	SST (imersão)	PI-AIT-406	Reatores Aeróbios	ORP (Médio) - Saída	PI-AIT-408	Reatores Aeróbios
Captção Aquapolo	NH3	PI-AIT-123	Captção Aquapolo	NH3	PI-AIT-123	Efluente Primário	SST (imersão)	PI-AIT-105	Efluente Final	DOO	PI-AIT-506	Licor misto	SST (imersão)	PI-AIT-406	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Entrada	PI-AIT-414	Reatores Aeróbios
Efluente Primário	SST (imersão)	PI-AIT-105	Efluente Primário	DOO	PI-AIT-506	Licor misto	SST (imersão)	PI-AIT-406	Reatores Aeróbios	ORP (Médio) - Saída	PI-AIT-408	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Entrada	PI-AIT-414	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	PI-AIT-420	Efluente Primário
Efluente Final	DOO	PI-AIT-506	Efluente Final	DOO	PI-AIT-506	Licor misto	SST (imersão)	PI-AIT-406	Reatores Aeróbios	ORP (Médio) - Saída	PI-AIT-408	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Entrada	PI-AIT-414	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	PI-AIT-420	Efluente Final
Licor misto	SST (imersão)	PI-AIT-406	Licor misto	SST (imersão)	PI-AIT-406	Reatores Aeróbios	ORP (Médio) - Saída	PI-AIT-408	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Entrada	PI-AIT-414	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	PI-AIT-420	Efluente Final	DOO	PI-AIT-506	Efluente Final
Reatores Aeróbios	ORP (Médio) - Saída	PI-AIT-408	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Entrada	PI-AIT-414	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	PI-AIT-420	Efluente Final	DOO	PI-AIT-506	Efluente Final	DOO	PI-AIT-506	Tanque D3a	pH	PI-AIT-401	Efluente Final
Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Entrada	PI-AIT-414	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	PI-AIT-420	Efluente Final	DOO	PI-AIT-506	Efluente Final	DOO	PI-AIT-506	Efluente Final	DOO	PI-AIT-506	Efluente Final	pH	PI-AIT-401	Efluente Final
Efluente Primário	NH3	PI-AIT-123	Efluente Primário	NH3	PI-AIT-123	Efluente Final	DOO	PI-AIT-506	Efluente Final	DOO	PI-AIT-506	Efluente Final	DOO	PI-AIT-506	Efluente Final	pH	PI-AIT-401	Efluente Final

Fonte: O autor (2022).

Figura 20 – Correlações com delay, seleção da série de dados

		=CORREL(\$B\$5:\$B\$13;BD6:BD14)															
		CORREL(matriz1; matriz2)															
Local	Parâmetro	Local	Parâmetro	Local	Parâmetro	Local	Parâmetro	Local	Parâmetro	Local	Parâmetro	Local	Parâmetro	Local	Parâmetro	Local	Parâmetro
Esgoto bruto	pH	Esgoto bruto	pH	Esgoto bruto	Condutividade	Esgoto bruto	Condutividade	Esgoto desareado	SST (imersão)	Esgoto desareado	DOO	Esgoto desareado	DOO	Captção Aquapolo	NH3	Efluente Primário	SST (imersão)
Esgoto bruto	Condutividade	Esgoto bruto	Condutividade	Esgoto desareado	SST (imersão)	Esgoto desareado	DOO	Esgoto desareado	DOO	Esgoto desareado	DOO	Captção Aquapolo	NH3	Efluente Primário	SST (imersão)	Efluente Final	DOO
Esgoto desareado	SST (imersão)	Esgoto desareado	DOO	Esgoto desareado	DOO	Captção Aquapolo	NH3	Efluente Primário	SST (imersão)	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO
Esgoto desareado	DOO	Esgoto desareado	DOO	Captção Aquapolo	NH3	Efluente Primário	SST (imersão)	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO
Captção Aquapolo	NH3	Efluente Primário	SST (imersão)	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO
Efluente Primário	SST (imersão)	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO
Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO
Licor misto	SST (imersão)	Licor misto	SST (imersão)	Reatores Aeróbios	ORP (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Entrada	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída
Reatores Aeróbios	ORP (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Entrada	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída
Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Entrada	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída	Reatores Aeróbios	Oxigênio Dissolvido (Médio) - Saída
Efluente Primário	NH3	Efluente Primário	SST (imersão)	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO	Efluente Final	DOO

Fonte: O autor (2022).

Algumas etapas de fato possuem correlação com outras com determinado “*delay*”, porém, na maioria dos casos, esse *delay* não é conhecido. Portanto, a próxima etapa do trabalho foi realizar essa mesma análise de correlação, porém considerando diferentes atrasos horários, com a finalidade de encontrar quais são maiores para correlações que de fato existem. Segue:

Figura 21 – Correlações com diversos delays

HORAS	TAD		Local		Parâmetros		TAD	
	P1A1T-101		P1A1T-102		P1A1T-103		P1A1T-104	
0	0,03	0,00	0,04	0,01	0,00	0,03	0,00	0,04
1	-0,05	-0,01	0,11	-0,05	-0,03	-0,05	-0,03	-0,08
2	-0,01	-0,01	0,02	-0,04	0,06	0,00	0,02	-0,01
3	0,08	0,02	0,02	0,04	-0,07	-0,03	-0,02	0,02

Fonte: O autor (2022).

Afim de identificar quais pares de analíticos possuem correlação e quais não, foi realizada uma soma em cada uma das colunas. Haja vista que a formula do Excel utilizada, retorna um número entre “-1” (altamente correlacionável, indiretamente proporcional) e “1” (altamente correlacionável, diretamente proporcional), valores maiores dessa soma, tanto positivo quanto negativo, nos mostrarão quais dados valem a atenção. Segue:

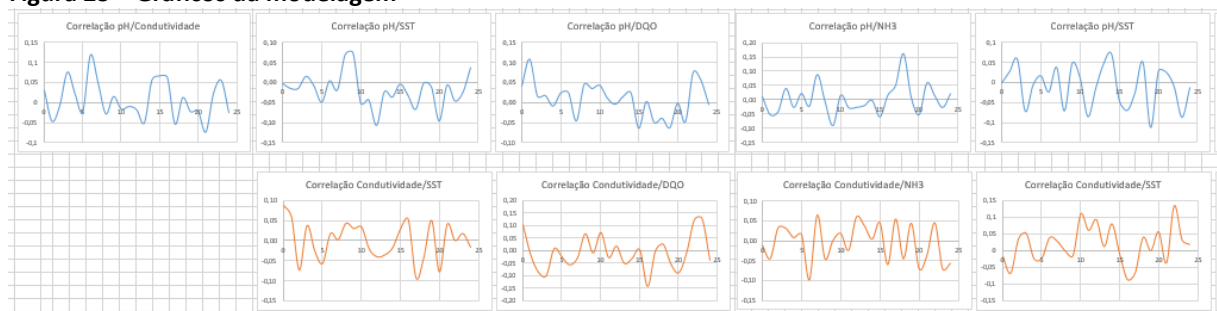
Figura 22 – Soma das correlações

22	0,02	-0,05	0,07	0,01	-0,01	0,03	-0,04	0,07	-0,06	0,01	-0,05	0,12	-0,03	0,10	-0,05	0,04	0,06	-0,06	-0,01	-0,1
23	0,06	-0,02	0,05	-0,03	-0,09	-0,03	-0,11	0,07	0,02	-0,04	0,05	0,02	0,07	-0,14	-0,04	0,04	-0,02	0,05	0,04	-0,1
24	-0,03	0,04	-0,01	0,02	-0,01	-0,04	0,03	0,02	-0,01	-0,02	0,08	-0,04	-0,05	-0,09	-0,08	0,03	-0,09	0,04	0,03	-0,1
SOMA	0,19	-0,44	0,19	0,00	-0,21	-0,07	-0,43	0,06	0,06	-0,04	0,34	-0,11	-0,01	-0,30	-0,13	0,13	0,13	-0,09	0,06	0,1

Fonte: O autor (2022).

Por fim, é possível visualizar os gráficos para cada uma das correlações, com base nessa “biblioteca” posteriormente criar padrões de operação e para os próprios controladores responsáveis por esses processos:

Figura 23 – Gráficos da modelagem



Fonte: O autor (2022).

Nessa etapa é possível já simular o uso da planilha, inicialmente de maneira manual, com dados reais, por exemplo, da ETE ABC, e foi possível enxergar algumas correlações inclusive considerando o tempo de detenção hidráulica das etapas envolvidas:

Figura 24 – Correlação do SST com OD em diversos “delays”

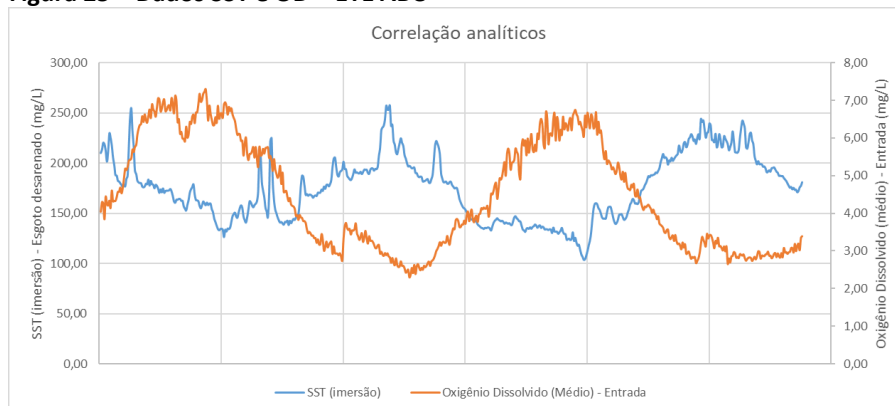


Fonte: O autor (2022).

Com esse gráfico podemos concluir que há uma forte correlação (0,72) entre os dados de Sólidos Suspensos Totais no esgoto desarenado com o Oxigênio Dissolvido nos Tanques de Aeração na ETE ABC, e não somente isso, mas conseguimos concluir que essa correlação é maior depois de exatamente 11 horas. Contudo, nesse caso, é mais coerente observar a correlação vista na mesma base de tempo (-0,66), inversamente proporcional, haja vista que o tempo de detenção hidráulica entre essas etapas é pequeno, e que a correlação entre essas análises tende a ser contrária, ou seja, quanto maior o SST, maior a carga que está sendo enviada aos tanques, diminuindo assim, o valor observado de oxigênio dissolvido.

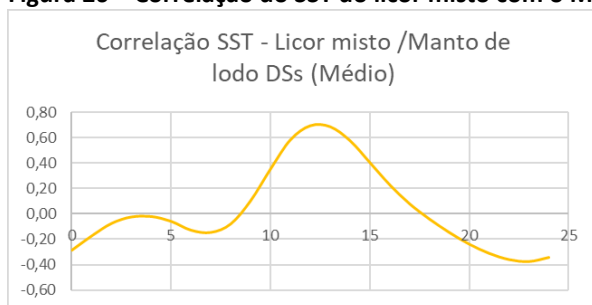
Essa correlação, agora observando-se os dados propriamente ditos, podem ser vistos no gráfico abaixo:

Figura 25 – Dados SST e OD – ETE ABC



Fonte: O autor (2022).

Outro exemplo pode ser visto, agora analisando-se a ETE São Miguel. Uma forte correlação (0,7) pode ser enxergada entre o SST do licor misto e os mantos de lodo dos DSs com um atraso de 12 horas

Figura 26 – Correlação do SST do licor misto com o Manto de lodo dos DSs

Fonte: O autor (2022).

Em paralelo ao trabalho de enxergar possíveis correlações e atuações no controle, também foi levantado junto a operação, os limites e set-points dos parâmetros analisados a fim de nos auxiliarem nas etapas futuras do trabalho. Segue um primeiro esboço para os limites da ETE São Miguel:

Figura 27 – Limites ou set-points desejados

TAG	Parâmetro	Local	Limites ou set-point desejado?
P4-AIT-101	pH	Esgoto desarenado	6,5 a 7,5
P4-AIT-102	Condutividade	Esgoto desarenado	450 a 1.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$
P4-AIT-103	SST (imersão)	Esgoto desarenado	120 a 280 mg/L
P4-AIT-104	DQO	Esgoto desarenado	400 a 500 mg/L
P4-AIT-105	SST (imersão)	Efluente Primário	100 a 180 mg/L
P4-AIT-106	DQO	Efluente Final	24 a 60 mg/L
P4-LIT-301	Manta de Lodo	Decantador Prim.	$\leq 1,5$ m
P4-LIT-302	Manta de Lodo	Decantador Prim.	$\leq 1,5$ m
P4-AIT-109	SST (imersão)	Licor misto	1.500 a 3.500 mg/L
P4-AIT-110	SST (imersão)	Lodo de Retorno	3.000 a 5.000 mg/L
P4-AIT-111	ORP	Reator aeróbio 1	+ 80 a + 180 mV
P4-AIT-112	ORP	Reator aeróbio 1	+ 30 a + 100 mV
P4-AIT-113	ORP	Reator aeróbio 1	+ 100 a + 300 mV
P4-AIT-114	ORP	Reator aeróbio 2	+ 80 a + 180 mV
P4-AIT-115	ORP	Reator aeróbio 2	+ 30 a + 100 mV
P4-AIT-116	ORP	Reator aeróbio 2	+ 100 a + 300 mV
P4-AIT-117	ORP	Reator aeróbio 3	+ 80 a + 180 mV
P4-AIT-118	ORP	Reator aeróbio 3	+ 30 a + 100 mV
P4-AIT-119	ORP	Reator aeróbio 3	+ 100 a + 300 mV
P4-AIT-120	ORP	Reator aeróbio 4	+ 80 a + 180 mV
P4-AIT-121	ORP	Reator aeróbio 4	+ 30 a + 100 mV
P4-AIT-122	ORP	Reator aeróbio 4	+ 100 a + 300 mV
P4-AIT-123	Oxigênio Dissolvido	Reator aeróbio 1	1 a 3 mg/L
P4-AIT-124	Oxigênio Dissolvido	Reator aeróbio 1	0,1 a 2 mg/L
P4-AIT-125	Oxigênio Dissolvido	Reator aeróbio 1	1 a 3 mg/L
P4-AIT-126	Oxigênio Dissolvido	Reator aeróbio 2	1 a 3 mg/L
P4-AIT-127	Oxigênio Dissolvido	Reator aeróbio 2	0,1 a 2 mg/L
P4-AIT-128	Oxigênio Dissolvido	Reator aeróbio 2	1 a 3 mg/L
P4-AIT-129	Oxigênio Dissolvido	Reator aeróbio 3	1 a 3 mg/L
P4-AIT-130	Oxigênio Dissolvido	Reator aeróbio 3	0,1 a 2 mg/L
P4-AIT-131	Oxigênio Dissolvido	Reator aeróbio 3	1 a 3 mg/L
P4-AIT-132	Oxigênio Dissolvido	Reator aeróbio 4	1 a 3 mg/L
P4-AIT-133	Oxigênio Dissolvido	Reator aeróbio 4	0,1 a 2 mg/L
P4-AIT-134	Oxigênio Dissolvido	Reator aeróbio 4	1 a 3 mg/L
P4-AIT-135	NH ₃	Efluente Primário	Até 30 mg/L
P4-AIT-136	NH ₃	Licor misto	Até 25 mg/L
P4-AIT-137	Turbidez	Efluente tratado	Até 10 NTU
P4-LIT-501	Manto de Lodo	Decantador DS1	≤ 50 cm
P4-LIT-502	Manto de Lodo	Decantador DS2	≤ 50 cm
P4-LIT-503	Manto de Lodo	Decantador DS3	≤ 50 cm

P4-LIT-504	Manto de Lodo	Decantador DS4	≤ 50 cm
P4-AIT-142	SST (imersão)	Lodo Aflu. Digestor	23.000 a 38.000 mg/L
P4-AIT-143	SST (imersão)	Lodo condicionado	23.000 a 35.000 mg/L
P4-AIT-144	SST (imersão)	Filtrado FPP 1 a 3	Até 220 mg/L
P4-AIT-145	NH ₃	Filtrado FPP 1 a 3	Até 350 mg/L
P4-AIT-146	Condutividade	Filtrado FPP 1 a 3	200 a 1.500 μ S/cm
P4-AIT-147	Cloro (inserção)	ETA Reuso	>1 e <10 mg/L
P4-AIT-148	Turbidez	ETA Reuso	Até 10 NTU

Fonte: O autor (2022)

6 CONCLUSÃO

Muitas outras correlações podem ser obtidas com suas respectivas diferenças horárias, iniciando assim um banco de dados de como operar de maneira otimizada as Estações de Tratamento, prevendo falhas e antecipando atuações dos controles.

Etapas futuras do trabalho, devem fazer essa análise mostrada e outras de forma automática, haja vista que esses dados estarão chegando aos controladores, sendo enviados ao supervisão e armazenados no banco de dados das plantas.

A ideia nesse ponto do trabalho é utilizar o software da empresa BirminD que possui soluções para uso das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0. Espera-se utilizar dos módulos: “Relevância”, “Otimização”, “Simulação” e “Detecção de anomalias”. Abaixo podemos visualizar o módulo “simulação” no add-in para Excel utilizando o mesmo banco de dados que foi usado para obter as correlações observadas anteriormente:

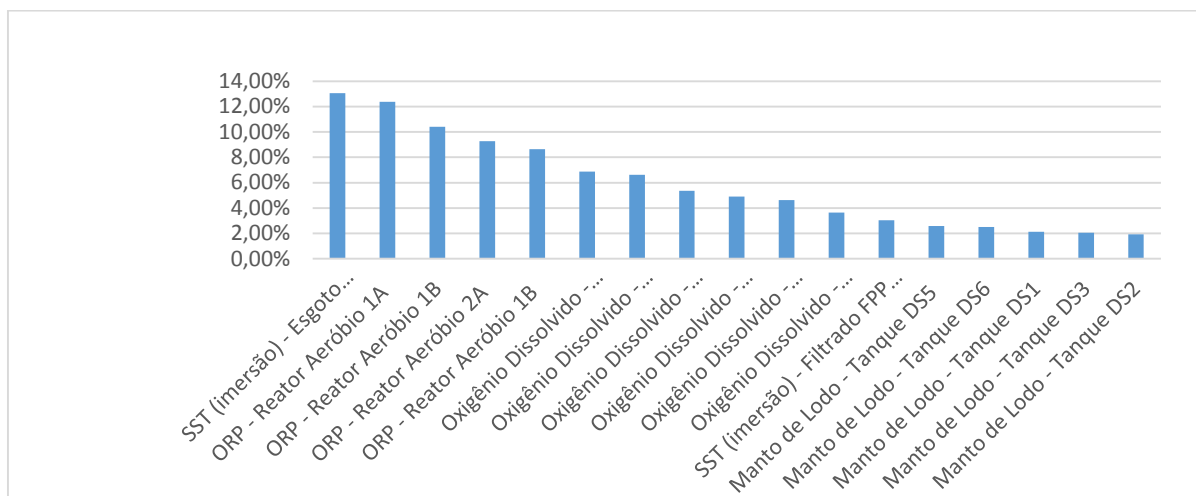
Figura 28 – Simulação de relevância add-in para Excel BirMind em dados analíticos do tratamento de esgoto

output	pH - Esgoto bruto	
inputs_relevance	SST (imersão) - Esgoto desarenado	13,05%
	ORP - Reator Aeróbio 1A	12,38%
	ORP - Reator Aeróbio 1B	10,41%
	ORP - Reator Aeróbio 2A	9,27%
	ORP - Reator Aeróbio 1B	8,65%
	Oxigênio Dissolvido - Reator Aeróbio 1B	6,87%
	Oxigênio Dissolvido - Reator Aeróbio 2A	6,63%
	Oxigênio Dissolvido - Reator Aeróbio 2B	5,37%
	Oxigênio Dissolvido - Reator Aeróbio 1A	4,89%
	Oxigênio Dissolvido - Reator Aeróbio 2B	4,63%
	Oxigênio Dissolvido - Reator Aeróbio 1B	3,63%
	SST (imersão) - Filtrado FPP 1 a 3	3,04%
	Manto de Lodo - Tanque DS5	2,59%
	Manto de Lodo - Tanque DS6	2,51%
	Manto de Lodo - Tanque DS1	2,11%
	Manto de Lodo - Tanque DS3	2,06%
	Manto de Lodo - Tanque DS2	1,92%

Fonte: O autor (2022)

Observado o resultado da análise, temos que diversos dados analíticos possuem correlação com o pH nas porcentagens que foram apresentadas, ou seja, é possível entender quais dados possuem mais correlação em relação aos outros. Abaixo, a mesma informação apresentada em forma de gráfico:

Figura 29 – Gráfico - Simulação de relevância add-in para Excel BirMind em dados analíticos do tratamento de esgoto



Fonte: O autor (2022)

Outro módulo interessante é de “Otimização” que determina como devem ser os outros parâmetros, afim de obter um set-point específico em determinada análise:

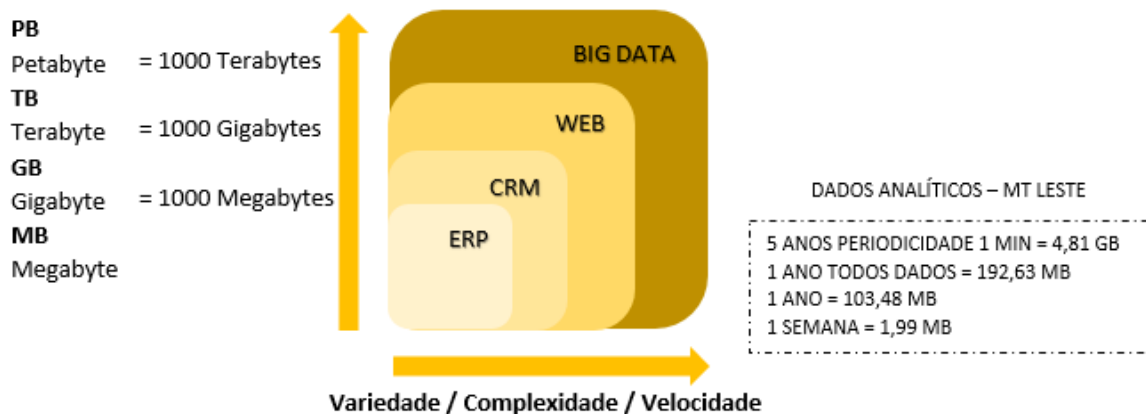
Figura 30 – Gráfico - Simulação de otimização add-in para Excel BirMind em dados analíticos do tratamento de esgoto

output	P1-AIT-101	
results	P1-AIT-603	3,35
	P1-LIT-439	1,04
	P1-LIT-438	1,04
	P1-LIT-436	1,31
	P1-LIT-435	0,5
	P1-LIT-434	0,92
	P1-AIT-421	5,43
	P1-AIT-419	1
	P1-AIT-418	5,27
	P1-AIT-417	4,86
	P1-AIT-415	0,66
	P1-AIT-414	4,8
	P1+AIT+411	108,94
	P1-AIT-410	282,16
	P1-AIT-409	245,43
	P1-AIT-408	234,09
	P1-AIT-103	182,94
entries_score	7	
optimal_point	7	

Fonte: O autor, 2022

Nesse passo também foi possível entender e projetar a dimensão dos dados analíticos dentro da Unidade, visando saber de necessidade de novas alternativas ou não para o armazenamento dos dados existentes hoje, ou seja, se podemos considerar como Big Data os dados analisados:

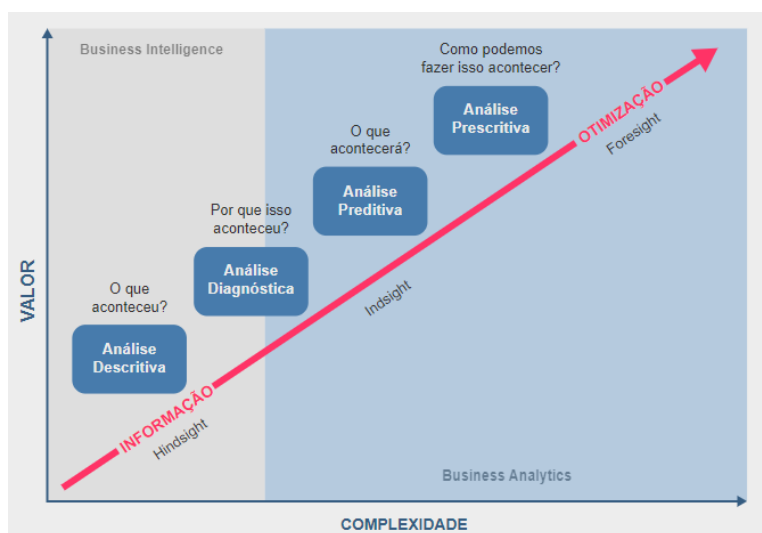
Figura 31 – Projeção de dados analíticos



Fonte: Paulucci & Rubim (2022)

Outro conceito importante é entender onde a companhia se encontra e onde pode se posicionar no médio prazo com o uso do Data Science, passando do Business Intelligence (BI) para o Business Analytics, com análises preditivas e prescritivas:

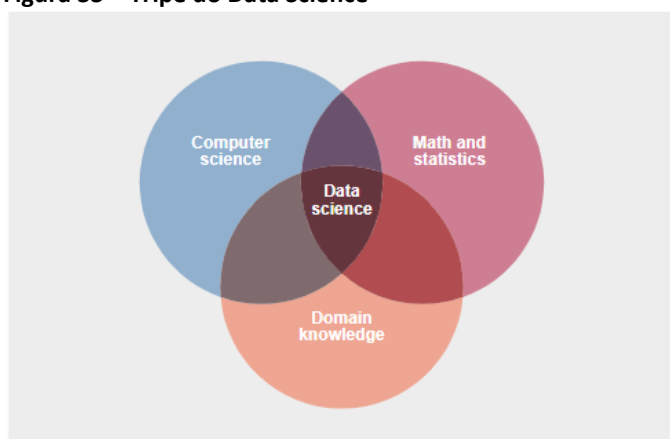
Figura 32 – Business Intelligence (BI) para o Business Analytics



Fonte: Paulucci & Rubim (2022)

Para isso será fundamental a intersecção de algumas áreas do conhecimento afim de se chegar a esse Data Science, são essas: Matemática e Estatística, Ciência da Computação e o Domínio do conhecimento.

Figura 33 – Tripé do Data Science



Fonte: Paulucci & Rubim (2022)

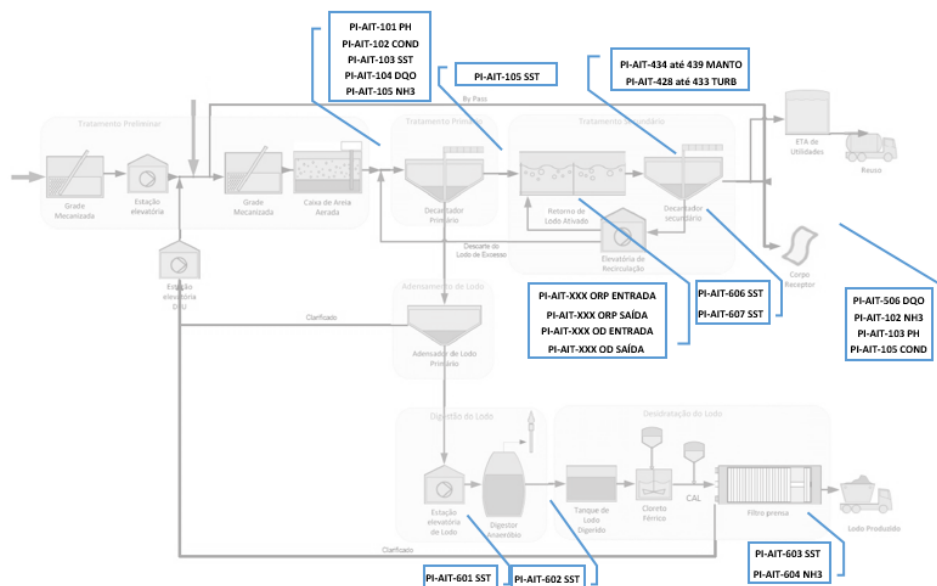
Por fim a ideia é que possamos, em etapas futuras do trabalho, desenhar algo como um mapa das Estações de Tratamento de Esgoto, com base nos dados analíticos agora analisados, e elencar as correlações que foram enxergadas como os respectivos “delays”:

Figura 34 – Mapa dos dados analisados



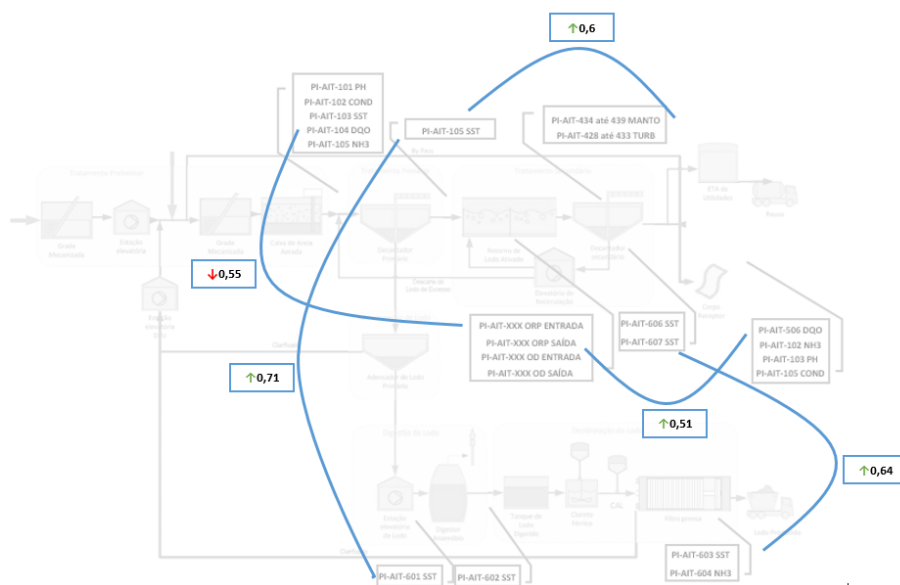
Fonte: Do autor (2022)

Figura 35 – Fluxograma do processo com localização dos dados analisados



Fonte: Do autor (2022)

Figura 36 – Fluxograma do processo com localização dos dados analisados, elencando correlações (exemplo)



Fonte: Do autor (2022)

REFERÊNCIAS

- BBC. **Eles pararam de reclamar dos governos e estão usando o celular para melhorar a política.** Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-36660936> . Acesso em: 24 mar. 2022.
- CHOI, S. S.; KANG, G.; JUNG, K.; KULVATUNYOU, B. & MORRIS, K.C. Applications of the factory design and improvement reference activity model. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCES IN PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS (APMS), 2016. Iguassu Falls, Brazil. Disponível em: <https://hal.inria.fr/hal-01615741/document> . Acesso em: 14 mar. 2022.
- BRASIL. Presidência da República. **Lei n. 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm . Acesso em: 14 mar. 2022.
- SÃO PAULO (ESTADO). **Anuário de energéticos por municípios do Estado de São Paulo: 2021 ano base 2020.** Disponível em: http://dadosenergeticos.energia.sp.gov.br/portalcev2/intranet/BiblioVirtual/diversos/anuario_energetico_municipio.pdf. Acesso em: 07 mai. 2018.
- DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or hype? **IEEE industrial electronics magazine**, v. 8, n. 2, p. 56–58, 2014.
- 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
- FIRJAN. **Indústria 4.0: panorama da Inovação.** 2016. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A555B47FF01557D8802C639A4> . Acesso em: 09 mar. 2022.
- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 7. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.
- GARTNER. **Tecnologia da Informação.** 2022. Disponível em: <https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/big-data> . Acesso em: 14 mar. 2022.
- GOEKING, W., Da máquina a vapor aos softwares de automação, **Revista O Setor Elétrico**, Edição 52, Brasil, maio de 2010. Disponível em https://www.voltimum.com.br/sites/www.voltimum.com.br/files/memoria_maio_10.pdf . Acesso em: 10 mar. 2022.
- GOMES, Dennis S. Inteligência Artificial: conceitos e aplicações. **Revista Olhar Científico.** Faculdades Associadas de Ariquemes, v. 01, n.2, ago./dez. 2010. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/48312264/49-148-1-PB.pdf> . Acesso em: 10 mar. 2022.

GOOGLE TRENDS. **Big data**. Disponível em:

<https://trends.google.com.br/trends/explore?date=all&geo=BR&q=BIG%20DATA> . Acesso em: 08 mar. 2022.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W. & HELBIG, J. Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0: **final report of the Industrie 4.0**, 2013. Disponível em:

<https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf> . Acesso em: 14 mar. 2022.

METCALF & EDDY. **Wasterwater engineering: treatment and reuse**. 4. ed. [s. l.]: McGraw-Hill, 2003.

MITCHELL, Tom. **Machine learning**. New York: McGraw-Hill, 1997.

NUNES, Guilherme B. **Análise de maturidade 4.0 do núcleo de tecnologias tridimensionais do CTI Renato Archer**. Disponível em:

https://www.gov.br/cti/pt-br/publicacoes/producao-cientifica/seminario-pci/x_seminario_pci-2020/pdf/seminario-2020_paper_25.pdf. Acesso em: 27 jun. 2022.

ALTUS. **Curso de introdução a automação**. Disponível em:

<https://www.altus.com.br/post/100/curso-de-introducao-a-automacao--5baula-01-5d>. Acesso em: 23 jun. 2022.

SACOMANO, J.B. et al. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Blucher, 2018.

SAMUEL, Arthur L. Some studies in machine learning using the game of checkers. **IBM Journal of Research and Development** , v. 3, n. 3, pp. 210-229, July, 1959. DOI:

10.1147/rd.33.0210. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5392560>. Acesso em: 23 jun. 2022.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia CIRP**, v. 52, p. 161-166, 2016.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827116307909> . Acesso em: 14 mar. 2022.

STAIR, Ralph M.; REYNOLDS, George W. **Princípios de sistemas de informação**. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. V. R. **O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado**. Campina Grande: Epgraf, 1999.

AGRADECIMENTOS

A José Ricardo de Oliveira Pestana que sempre me inspira a melhorar.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, a Sabesp, por todo aprendizado e oportunidade de crescimento.

A equipe de Automação Leste da Unidade de Tratamento de Esgoto: Danilo Cardoso, Fernando Barbosa, José Anselmo, José Faria, Marcelo Lima, Paulo André e Samuel Januário. Pela dedicação e empenho. Nenhum trabalho é feito sozinho.

A Yasmin de Faria Sobrinho, minha companheira, pela paciência e carinho.

A família Anjos Pestana, por todos os bons momentos em Caraguatatuba.

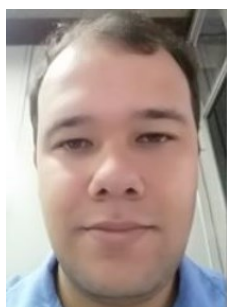
Sobre os autores:

ⁱ ALLAN DOS ANJOS PESTANA



Tecnólogo em Automação Industrial pela FATEC Itaquera e Gestor Ambiental pelo Senac/SP. Técnico em Automação Industrial pelo Instituto Federal (IFSP). Encarregado de Automação/Instrumentação na SABESP. Especialista em Automação para processos de Saneamento pela USP. Pós-graduando em Indústria 4.0 na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica e aluno no curso de MBA Excelência em Gestão de Projetos e Processos Organizacionais no Centro Paula Souza. E-mail: allan.pestana@senaisp.edu.br
ID Lattes: 8305057953391578

ⁱⁱ JOSÉ ROBERTO DOS SANTOS



Atualmente ministra aulas na pós-graduação de Indústria 4.0, na graduação em Tecnologia em Mecatrônica e Análise e Desenvolvimento de Sistema (ADS) na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, que fica no SENAI Armando de Arruda Pereira. Assessora também o Instituto SENAI de Tecnologia Metalmeccânica em projetos industriais com foco na Indústria 4.0. Durante 9 anos ministrou aulas pelo SENAI-SP, nos cursos de técnico em eletroeletrônica, cursos de aprendizagem industrial eletricitista de manutenção e mecânico de usinagem, além de Formação Inicial e Continuada (FIC) com cursos voltados a área de redes de computadores e programação, possui treinamento de Linux, Cisco e Microsoft. Possui Pós-graduação na área de segurança da informação pela Uninove (2016), graduação em tecnologia da informação e bacharel em sistema da informação (2009), além de superior em Automação industrial. Tem experiência na área de Segurança da informação, administração de ambientes de redes Windows e Linux, automação industrial.

iii DANIEL CAMUSSO



Mestrando em Engenharia Mecânica pela Universidade de Taubaté - UNITAU (jul/2022). Pós-Graduando em Industrial 4.0 pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (jul/2022). Pós-Graduado em Engenharia Automobilística pela Faculdade de Engenharia Industrial - FEI (2000). Graduado em Engenharia Mecânica Plena pela FEI (1996). Aperfeiçoamento em CAD/CAM/CAE pela Dassault Systemes em Paris - França. Atualmente é docente nos cursos de "Tecnologia Mecatrônica Industrial" e "Pós-Graduação em Projetos, Manufatura e Análise de Engenharia". Participação no projeto BLERIOT, um trabalho colaborativo entre Brasil, França e Índia e apresentado em 2009 na Feira Internacional de Aviação em Le Borget (França). Possui experiência como engenheiro na área de desenvolvimento de projetos para a indústria automobilística, utilizando os softwares CATIA e NX.

iv RICARDO MATINEZ VICENTINI



Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do ABC - UFABC (2018), pós-graduado lato sensu em Automação Industrial pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2016), Tecnólogo em Automação Industrial pela Faculdade de Tecnologia São Vicente (2013) e Técnico em Eletrônica pela Etec Aristóteles Ferreira (2009). Trabalhou no segmento de projetos, manutenção e calibração de equipamentos automatizados para as áreas médico-hospitalar e odontológica. Atualmente é Professor de Educação Profissional Tecnológica da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, lecionando nos cursos de Mecatrônica Industrial, Engenharia de Controle de Automação e na pós-graduação Lato Sensu em Automação Industrial, e Professor Assistente II na Faculdade de Tecnologia São Vicente, lecionando nos cursos de Engenharia Elétrica, Automação Industrial e Sistemas de Informação. É membro da Sociedade Brasileira de Automática (SBA) e membro do conselho científico da Revista Brasileira de Mecatrônica. Possui experiência nas áreas de Automação, Mecatrônica e Eletrônica, atuando nas seguintes linhas de pesquisa: Sistemas de Comunicação sem Fio para IoT, Sistemas Microcontrolados e Inteligência Artificial (com ênfase na Lógica Paraconsistente LPA2v e Algoritmos Genéticos). E-mail: prof.ricardo.martinez@gmail.com Página: <https://sites.google.com/site/profricardomartinez/>

v CLAUDIO LUIS MAGALHÃES FERNANDES

Possui graduação em Engenharia Elétrica Modalidade Eletrônica com Ênfase em Computação pela Universidade Santa Cecília (2006), Pós-Graduação Lato Sensu em Automação Industrial pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2010), Pós-graduação Lato Sensu em Docência na Educação Profissional, pelo SENAI CETIQT (2015) e Mestrado Profissionalizante em Engenharia Mecânica pela Universidade Santa Cecília (2012). Atualmente é Diretor Acadêmico do Ensino Superior do SENAI-SP. Professor da Faculdade de Tecnologia São Vicente dos cursos Tecnólogo em Automação Industrial, Bacharelado em Sistemas de Informação, Engenharia Elétrica. Atua na Universidade Santa Cecília - UNISANTA como docente e pesquisador de técnicas de Inteligência Artificial que fazem uso dos conceitos das Lógicas Não-Clássicas, com ênfase na LPA2V (Lógica Paraconsistente Anotada de dois Valores) e Lógica Fuzzy, aplicadas a sistemas Robóticos e no Controle de Processos Industriais.