



Utilização de Machine Learning em uma Estação de Tratamento de Efluentes

Mario Augusto Esteves
mario.esteves@maxionsc.com
Maxion SC/ AEDB

Nilo Sampaio
nilosamp@terra.com.br
AEDB

Jose Edson da Silva
jedson@maxionsc.com
Maxion SC

Marco Tulio Ribeiro Ricci
mtrricci@maxionsc.com
Maxion SC

Resumo: A Indústria 4.0 propõe novos desafios na modelagem de sistemas de controle que permitam a competitividade e otimização dos processos, tais como a integração de novas tecnologias de interação de homem e máquinas, colaboração entre todas as entidades dos sistemas e maior flexibilidade no fornecimento de serviços e produtos. Desenvolver um sistema de controle como este para uma aplicação específica é uma tarefa complexa. A maioria das soluções envolve a combinação de várias técnicas para atender os requisitos propostos pela Indústria 4.0. Portanto, este trabalho propõe um método usando a parceria entre a MSC Cruzeiro e a Birmin, utilizando machine learning para otimização e controle do processo de Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).

Palavras Chave: Indústria 4.0 - Controle - Machine Learning - ETE -



1. INTRODUÇÃO

O aprendizado automático, aprendizado de máquina ou "*machine learning*" é um subcampo da ciência da computação que evoluiu do estudo de reconhecimento e da teoria do aprendizado em inteligência artificial. Em 1959, Arthur Samuel definiu aprendizado de máquina como o "campo de estudo que dá aos computadores a habilidade de aprender sem serem explicitamente programados". O aprendizado automático explora o estudo e construção de algoritmos que podem aprender de seus erros e fazer previsões sobre dados.

Algumas partes do aprendizado automático estão intimamente ligadas (e muitas vezes sobrepostas) à estatística computacional; uma disciplina que foca em como fazer previsões através do uso de computadores, com pesquisas focando nas propriedades dos métodos estatísticos e sua complexidade computacional. Ela tem fortes laços com a otimização matemática, que produz métodos, teoria e domínios de aplicação para este campo.

O aprendizado automático é utilizado em uma variedade de tarefas computacionais onde criar e programar algoritmos explícitos é impraticável. Exemplos de aplicações incluem filtragem de spam, reconhecimento ótico de caracteres (OCR), processamento de linguagem natural, motores de busca, diagnósticos médicos, bioinformática, reconhecimento de fala, reconhecimento de escrita, visão computacional e locomoção de robôs. O aprendizado de máquinas é às vezes confundido com mineração de dados, que é um subcampo que foca mais em análise exploratória de dados e é conhecido como aprendizado não supervisionado. No campo da análise de dados, o aprendizado de máquinas é um método usado para planejar modelos complexos e algoritmos que se prestam para fazer previsões- no uso comercial, isso é conhecido como análise preditiva. Esses modelos analíticos permitem que pesquisadores, cientistas de dados, engenheiros, e analistas possam "produzir decisões e resultados confiáveis e repetíveis" e descobrir os "*insights* escondidos" através do aprendizado das relações e tendências históricas nos dados.

Segundo Peter, N et al (2003), o aprendizado de máquina cresceu a partir da busca pela inteligência artificial. Ainda nos princípios da IA como disciplina acadêmica, alguns pesquisadores já se interessavam em fazer máquinas aprenderem a partir de dados. Eles tentaram abordar o problema desde vários métodos simbólicos, assim como com o que foi então nomeado de "rede neural artificial"; estes eram majoritariamente perceptrons e outros modelos que mais tardes foram entendidos como reinvenções de modelos lineares



generalizados de estatística. A lógica probabilística também foi usada, especialmente em diagnósticos médicos automatizados.

A indução é a forma de inferência lógica que permite obter conclusões genéricas sobre um conjunto particular de exemplos. Ela é caracterizada como o raciocínio que se origina em um conceito específico e o generaliza, ou seja, da parte para o todo. Na indução, um conceito é aprendido efetuando-se inferência indutiva sobre os exemplos apresentados. Portanto, as hipóteses geradas através da inferência indutiva podem ou não preservar a verdade. Mesmo assim, a inferência indutiva é um dos principais métodos utilizados para derivar conhecimento novo e prever eventos futuros. Foi através da indução que Arquimedes descobriu a primeira lei da hidrostática e o princípio da alavanca, que Kepler descobriu as leis do movimento planetário, que Darwin descobriu as leis da seleção natural das espécies.

Apesar da indução ser o recurso mais utilizado pelo cérebro humano para derivar conhecimento novo, ela deve ser utilizada com cautela, pois se o número de exemplos for insuficiente, ou se os exemplos não forem bem escolhidos, as hipóteses obtidas podem ser de pouco valor, neste contexto a "machine learning" possibilita selecionar exemplos quantitativamente e qualitativamente para obter o sucesso da predição.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Kang et al. (2016), o termo indústria 4.0 foi inicialmente introduzido na Alemanha, na feira de Hanover em 2011. O termo, que também foi conhecido através do nome de um programa criado pelo governo com o objetivo de promover a automatização da manufatura e assim, aumentar a produtividade das linhas de produção, gerando maior competitividade com a indústria internacional através de fábricas inteligentes (*smart manufacturing*), também é conhecido como a Quarta Revolução Industrial, marcada pela era da informação digital. A tecnologia da informação se torna parte integral dos processos industriais, e decisões são tomadas de forma automática a partir do uso de um grande conjunto de dados armazenados, chamado de *Big Data* (FIRJAN, 2016).

Segundo Veza et al., (2015) o termo Indústria 4.0 engloba as expectativas de política e prática corporativa que a manufatura industrial segue rumo à quarta Revolução Industrial. As três Revoluções Industriais anteriores alcançaram altos aumentos de produtividade, impulsionados por algumas tecnologias de uso geral de rápida disseminação, como mecanização, eletricidade e TI.



A Indústria 4.0 (I4.0) é apontada como uma nova era industrial, caracterizada pela utilização de sistemas inteligentes, com elevado grau de automação e pela capacidade de tomar decisões autônomas. A I4.0 surge com a crescente automação dos processos produtivos, juntamente com o avanço da tecnologia de internet e a tecnologia desenvolvida no campo dos objetos inteligentes (produtos e máquinas). Esta nova revolução industrial teria como três elementos principais: rede de produção e produto, o ciclo de vida do produto e sistemas cyber-físicos. A rede de produção da empresa, integrando os sistemas MES (*Manufacturing Execution Systems*) e ERP (*Enterprise Resource Planning*), aumenta o nível de automação na fábrica, possibilitando a troca total de informações em tempo real para a administração. O segundo elemento seria a fusão dos ciclos de vida do produto e da produção, baseados em um modelo de dados uniforme. Somente assim, os requisitos resultantes de ciclos cada vez menores podem ser gerenciados técnica e economicamente (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2014; LASI et al., 2014; RUSSWURM, 2014; SCHRÖDER et al., 2015; SUGAYAMA; NEGRELLI, 2015).

Os sistemas cyber-físicos (SCF) são a integração entre os mundos virtual e físico. Com a ajuda de sensores e atuadores, os softwares são integrados à todas as partes do processo, permitindo uma rápida troca de informações, alta flexibilidade de processos e controle preciso do processo produtivo. Os SCF aumentam a funcionalidade dos processos da fábrica, permitindo operações muito mais seguras e eficientes. Os SCF promovem esta dinâmica de conexão entre o mundo virtual e o físico e, se usados corretamente, podem ser a chave para resolver problemas de ordem global, como interpretação de mudanças climáticas, problemas relativos às áreas de segurança, saúde, gestão de megacidades, entre outros. Este desenvolvimento é reforçado pelo rápido avanço da tecnologia de redes globais, como a internet, e o fácil acesso a informações via nuvem de dados (HELLINGER; SEEGER, 2011; VDE-DKE, 2014).

A Internet das Coisas (IoT), por meio da tecnologia de rede sem fio, conecta todas as partes do processo em tempo real. Máquinas, dispositivos, produtos e pessoas contribuem para uma transparência de informação única. Isto possibilita que as máquinas se comuniquem de forma autônoma, definindo tarefas e funções a serem desempenhadas para o correto funcionamento da fábrica (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Os produtos inteligentes, por meio da tecnologia RFID, detêm as informações necessárias para o seu processo produtivo. A conexão entre a fábrica inteligente e o produto inteligente são o destaque na I4.0. Os meios de produção recebem as informações por meio de diversos sensores e atuadores espalhados pela fábrica, todos conectados pela IoT, possibilitam



a autonomia de decisão, com a própria fábrica identificando e corrigindo problemas encontrados durante o processo produtivo. Diversos sensores, atuadores, máquinas e produtos comunicam-se por meio de wifi, estabelecendo uma troca de dados em tempo real entre todos os equipamentos envolvidos no processo (HELLINGER; SEEGER, 2011; HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016; LOHR, 2015; SUGAYAMA; NEGRELLI, 2015).

O objetivo da I4.0 é utilizar os avanços adquiridos nas áreas de comunicação e tecnologia da informação aplicados ao ambiente das empresas industriais. (VDE-DKE, 2014). Para Russwurm (2014) a I4.0 tem um potencial enorme, com os produtos, ferramentas e meios de produção trocando informações com a ajuda de sensores e chips de RFID, levando a informação até mesmo para fora dos limites da fábrica, com o gerenciamento integrado de desenvolvimento, produção, vendas, logística e operações (SCHRÖDER et al., 2015)

Para aumentar a produtividade, existem facilitadores essenciais da Indústria 4.0, como os mecanismos de colaboração. Na literatura, na maioria dos casos, diz que a mudança industrial é motivada pelo alto potencial de crescimento da produtividade, entretanto a própria indústria produtora é responsável por iniciar medidas para lucrar com a mudança social e tecnológica. Precisa haver a criação de pré-condições necessárias no sistema de produção, classificadas em dois níveis, alocação para o mundo cyber ou físico e a distinção entre componentes de hard ou soft. Esta categorização leva a quatro pré-condições principais: globalização da tecnologia de informação, fonte única de verdade, automação e cooperação (G. SCHUM, 2015).

A indústria 4.0 deve movimentar US\$ 15 trilhões em 15 anos, nos Estados Unidos, tal mercado já parece estar mais cristalizado e todas as tendências relacionadas são otimistas. De acordo com um relatório divulgado pela BP, a previsão é que, até 2050, exista um potencial para aumentar os volumes de produção e reduzir custos em até 13% em alguns segmentos industriais. O que vem sendo chamado de “quarta revolução industrial” está diretamente ligado à coleta e análise de um grande volume de dados, ou seja, a Big Data e também não é à toa que um dos princípios da indústria 4.0 é a interoperabilidade, em que os fatores humanos e tecnológicos interagem com os dados, possibilitando à indústria ditar tendências ao mesmo tempo em que é alimentada por ‘modos de usar’, ‘necessidades’ e ‘preferências’ dos consumidores. Não é só tecnologia de ponta; é alta interação e sinergia. Entre os desafios tecnológicos, pode-se ressaltar a necessidade do desenvolvimento de dispositivos inteligentes, pois, uma fábrica que opera com tecnologias da indústria 4.0 requer uma quantidade superior de dispositivos artificiais, que reduzirá o envolvimento de mão de obra na produção de um



produto, entretanto os diferentes tipos de fábricas precisam de diferentes configurações para cada dispositivo. Para resolver este desafio é necessário grande investimento, de tempo e de dinheiro antes dos dispositivos serem implementados na produção em uma fábrica da indústria 4.0. Todos os elementos na Indústria 4.0, por exemplo, equipamentos, máquinas, produção, aplicações, produtos e serviços gerarão dados. A Integração em tempo real e a análise dos dados no processo da produção industrial devem ser asseguradas de modo que, os recursos da cadeia de produção sejam otimizados. Por enquanto, pesquisas e aplicações no campo de big data industrial não estão suficientemente maduras e todas as áreas do hardware e software precisam de melhorias para essa nova era industrial (K. ZHOU et al., 2015).

Outro aspecto da quarta revolução industrial é que esta pode ser separada em duas visões, que são representadas da seguinte maneira: Uma perspectiva macro, que inclui a integração horizontal e a engenharia de ponta a ponta, a qual é caracterizada por uma *network* de módulos de criação de valor 25, esses módulos estão ligados em todo o processo de vida do produto, criando uma *network* inteligente de módulos que cobre toda a cadeia de produção de diferentes produtos. Essa *network* inteligente fornece um ambiente para novos modelos de negócio diferentes dos atuais (T. STOCK, 2016).

A perspectiva micro, que inclui as três integrações (horizontal, vertical e de ponta a ponta), é caracterizada pelas conexões de módulos de criação de valor ao longo do fluxo de produtos da fábrica inteligente, integrando também uma logística inteligente. Ela descreve o cruzamento inteligente dos fatores de criação de valor: produto, equipamento e pessoas. Este módulo corresponde a um sistema Ciber-físicos incorporando equipamentos de fabricação, como ferramentas mecânicas ou de montagem que usam sistemas de sensores para identificar e localizar os fatores de criação de valor, bem como para monitorar os processos de fabricação (processos de corte, montagem ou transporte). Com base nos dados monitorados os atuadores aplicados no equipamento de fabricação podem reagir em tempo real a mudanças específicas do produto. A comunicação e troca de dados inteligentes entre os fatores de criação de valor, o módulo de criação de valor e o equipamento de transporte, estão sendo executados através de sistemas em nuvem (T. STOCK, 2016).

Em resumo, o núcleo da estratégia da I4.0 é baseada em manufaturas inteligentes usando sistemas Ciberfísicos para mudar de uma produção centralizada para uma produção descentralizada. Ela é flexível e complexa, e envolve tecnologias nas áreas de manufatura digital, comunicação em rede, automação e outras. O básico de sua implementação é fundamentado em design digital, simulações, processos altamente automatizados,



gerenciamento dos dados da produção em rede e no processo da produção (K. ZHOU et al., 2015).

3. IMPLEMENTAÇÃO DO *MACHINE LEARNING* EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO NA MAXION STRUCTURAL COMPONENTS

3.1 A REALIDADE ATUAL DA ORGANIZAÇÃO

Inicialmente, um fator positivo identificado no presente levantamento é de que a maioria dos equipamentos em atividade traz uma eletrônica embarcada, seja ela original ou adaptada, por meio de Controladores Lógicos Programáveis (CLP's) que permitem o acesso e o armazenamento de dados em larga escala. Muitas das grandes fabricantes de componentes eletrônicos, *hardware* e *software*, tais como Rockwell, Siemens, Wago, Ladder, Embratel, Microsoft, IBM, entre outras, estão em marcha acelerada de desenvolvimento de aplicativos e soluções que possam otimizar o processamento dos dados que estão disponíveis via CLP das máquinas, logo, a *Maxion Structural Components* de Cruzeiro já detém condições favoráveis à interconectividade para a aplicação de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 tais como *Big Data and Analytics*.

Também são relevantes os métodos de manutenção preditiva na Gestão de Ativos como forma de potencializar resultados econômico-financeiros por meio da extensão da vida útil de elementos de máquinas levando-as ao seu limite, preservando a condição ótima de funcionamento e a garantia da troca em condição planejada e não corretiva. As principais tecnologias relacionadas à Manutenção Preditiva são: termografia, correntes parasitas, emissão acústica e análise de vibração, essa última já aplicada na unidade de Cruzeiro em 112 equipamentos na MSC. É fundamental ressaltar que todos estes métodos já são utilizados a algum tempo, todavia, ao interconectar a coleta dos dados à elaboração automática de gráficos de espectro e a análise dos comportamentos deste espectro para aprimorar a tomada de decisão, *online*, caracteriza-se uma tecnologia habilitadora para Indústria 4.0 ou ainda, com outras palavras, a aplicação do *IOT (internet of things)* na indústria, resultando no que os especialistas tem destacado como *IIOT (industrial internet of things)*, ou seja, o que de fato da internet das coisas se aplica à indústria.

Um sistema supervisório implementado recentemente, no decorrer de 2017, em parceria com a empresa Ingersoll Rand, possibilitou a redução significativa em torno de 20% no consumo de energia elétrica numa Central de Compressores com cinco equipamentos de 200 HP através do uso de uma tecnologia que capta *online* os dados de pressão de saída do



sistema que é responsável pelo abastecimento de ar comprimido em grande parte da área fabril num sistema de linha. Cada compressor é sensorizado e controlado de forma independente, deste modo, é possível acompanhar *on time* a pressão gerada pelo conjunto, entretanto, com controle independente de modulação. O *software*, com base nos parâmetros de limite inferior e superior de controle pré-determinados, tem a capacidade de atuar ativamente e sem nenhum auxílio humano, mantendo cada equipamento em três diferentes condições de funcionamento, li-gado, em alívio ou desligado. Também houve outros ganhos substanciais como tempo de deslocamento e intervenção de manutentores, bem como os usuários sentiram sensível melhora na oferta e estabilidade do ar comprimido. É possível consultar na tela dos computadores re-motamente o status de cada equipamento *online*. Dessa forma, entendemos que esta iniciativa é a que mais se aproxima de uma atividade com conceito da Indústria 4.0, apesar da ciência de que há oportunidades para aprofundamento, pois tal sistema ainda não é capaz de desenvolver o aprendizado por meio da inteligência artificial e refinar os ganhos de forma indefinidamente crescente. Ainda assim, se trata de um *app* que não só acusa alarmes passivamente, mas que interfere na operação de forma ativa e por meio de sensores, *software* e exposição remota, logo, caracteriza-se a interconectividade, sobretudo os ganhos relevantes apontados.

Além desse sistema, a MSC de Cruzeiro desenvolveu em 2012 um projeto em conjunto com a Volvo para a fabricação de longarinas de chassis de ônibus “*on demand*”. Esse projeto, já em aplicação, consiste em produzir longarinas de chassis customizados de acordo com a necessidade do cliente, ou seja, cada produto entregue é um produto diferente. A Volvo, a partir de suas instalações na Suécia, gera um arquivo com o padrão de furação específico para aquele cliente e envia esse arquivo através da Internet para um servidor. A MSC faz o *download* desse arquivo e o consolida com as informações de volume que aquele cliente demanda. A partir daí, um software, desenvolvido pela própria MSC, transforma a informação digital em linguagem de máquina (programa CNC), eximindo a necessidade de intervenção humana na geração de programas CNC. O processo de desenvolvimento de um novo produto, a partir desse sistema, reduziu-se de um mês para sete dias corridos. Desta maneira, a MSC e a Volvo conseguem realizar uma produção totalmente flexível e customizada com prazos reduzidos, qualidade assegurada, conectividade e integração vertical/horizontal, proporcionando a aderência aos conceitos de Indústria 4.0 aqui expostos.

Em síntese, os estudos e levantamentos realizados até o momento evidenciam que a unidade da *Maxion Structural Components* de Cruzeiro tem grande potencial para se adaptar aos conceitos da Indústria 4.0 no médio e longo prazo no que se refere à interconectividade



entre equipamentos e meios de otimização de resultados, bem como já apresenta minimamente casos reais em andamento, em destaque o sistema supervisor dos compressores, a manutenção preditiva através da análise de vibração e o piloto nas estações de tratamento.

3.2 A REALIDADE EXTERNA À ORGANIZAÇÃO

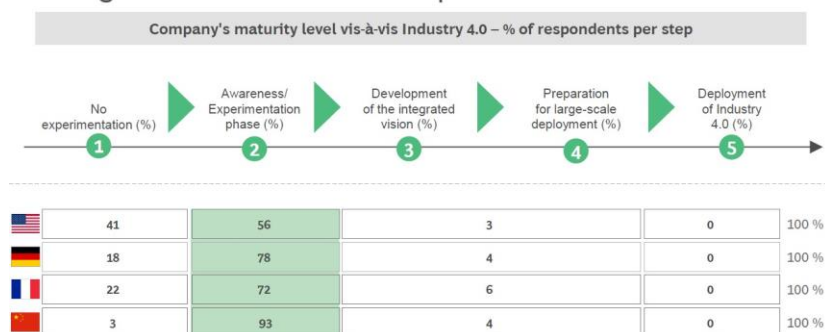
A Indústria 4.0 teve início em 2011 na Alemanha e paralelamente a esse evento, em outros países como nos Estados Unidos com a chamada *Smart Manufacturing*, também conhecida no Brasil como Manufatura Avançada.

Os diferentes estágios de evolução dos países atualmente, em estágios mais avançados com relação ao conceito, são expostos na Figura 1 conforme pesquisa executada pela empresa de consultoria BCG (*Boston Consulting Group*).

De acordo com essa informação, dentre as 5 fases identificadas (sem nenhuma experimentação, conhecimento e fase de experimentação, desenvolvimento de visão integrada, preparação para lançamento em larga escala e finalmente, lançamento da Indústria 4.0) nos quatro países que tiveram as indústrias pesquisadas, em média apenas 4,25% está em fase de desenvolvimento de uma visão integrada e nenhuma em estágio avançado de lançamento da Indústria 4.0. Vale dizer aqui, que o termo lançamento não se refere a manifestações dentro de uma fábrica relativas ao tema, mas sim uma fábrica ou um conjunto de fábricas, com a cadeia de valor totalmente integrada à Indústria 4.0.

É interessante observar que as empresas Chinesas estão em fase de experimentação com uma grande concentração (93% das empresas pesquisadas), o que induz ao raciocínio que no médio prazo, dos quatro países, é o que possuiu maior potencial de assumir um protagonismo dentro do conceito pré-estabelecido aqui.

Many companies experimenting with new technologies, starting to move to full-scale implementation



1. Reply to the question: "Are you ready for the introduction of Industry 4.0 technologies in your company?"
 Source: BCG anonymous survey (July 2016)
 BCG Strategy Academy-Industry 4.0 topic overview-31aug17-5A0-JL-yGenL_nuVidern.pptx

Figura 1: Nível de Maturidade das Empresas na Indústria 4.0

Fonte: BCG (2016)



Assim, dentro da realidade brasileira, observa-se que o tema Indústria 4.0 vem sendo tratado com maior frequência, e segundo o BCG (conforme Figura 2), isso se deve principalmente pela queda de produtividade enfrentada pela indústria brasileira, nos últimos anos, frente ao outros países, emergentes ou não.

De acordo com essa pesquisa, o índice BCG para competitividade de manufatura caiu, entre 2004 e 2014, 15 pontos, aumentando em o *gap* para países como Índia em 9 pontos.

Ainda de acordo com a mesma pesquisa, todos os países, dentre os maiores 25 exportadores do mundo, tiveram um declínio no índice. Apenas os Estados Unidos que permaneceram com os mesmos índices ou um pouco melhor durante a década estudada.

Why does it matter for Brazil: the productivity gap

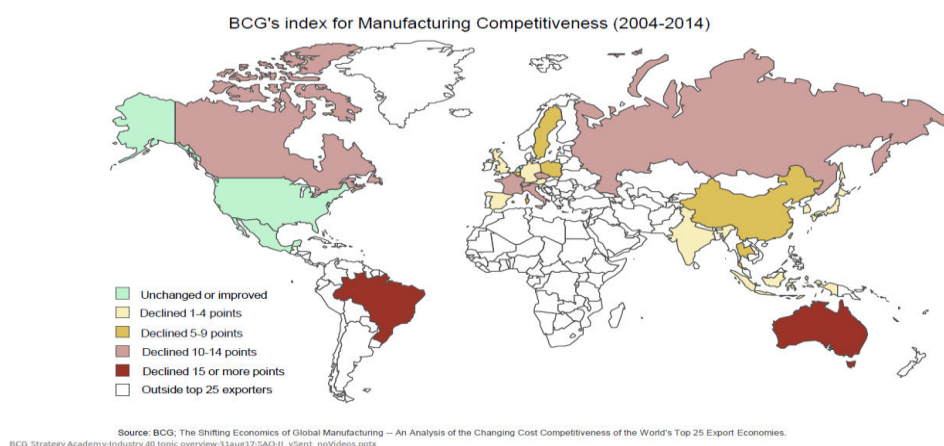


Figura 2 - Índice de Queda de Produtividade

Fonte: BCG (2016)

3.3 PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO

As atividades de tratamento de efluentes líquidos desenvolvidas na unidade da Maxion Cruzeiro abrangem quatro funções, a saber:

- 1) ETA (Estação de Tratamento de Água) - Captação de água do Rio Paraíba do Sul para tratamento mediante processos de adequação e geração de água industrial;
- 2) ETRAc (Estação de Tratamento de Resíduos Ácidos) – Tratamento de efluentes de decapagem química com a destinação da água resultante para processo de tratamento subsequente;
- 3) ETDI (Estação de Tratamento de Despejos Industriais) – Tratamento de efluentes industriais diversos com características físico-químicas, exceto



aqueles que são tratados na ETRAc, com a destinação para processo subsequente;

- 4) ETB (Estação de Tratamento Biológico) – Tratamento de efluentes com características orgânicas geradas nos banheiros e restaurante com a destinação final para o Rio Paraíba do Sul.

Além dos quatro tipos de tratamento de efluentes líquidos mencionados, há o quinto tratamento que se refere à água extraída de poços artesianos e também ofertados pela rede pública para disponibilização de água potável, doravante denominada ETAP (Estação de Tratamento de Água Potável). Esta estação encontra-se fora do circuito explicado anteriormente no qual há um ciclo com início e término no rio, mediante captação (conforme outorga legal) e lançamento (conforme exigências legais).

As estações operantes no formato existente hoje foram iniciadas no ano de 2012 após completa reforma do que outrora fora exclusivamente a ETE (Estação de Tratamento de Esgoto), agora denominada ETB conforme já exposto. A nova estação de tratamento possibilitou o processo interativo dos efluentes físico-químicos e biológicos com geração única de água para lançamento ao rio, o que trouxe maior capacidade de residência do efluente em processo de homogeneização e aproveitamento das características de alcalinidade e acidez para balanceamento adequado do pH necessário como resultante da água tratada final. Por fim, a denominação ETE continua sendo utilizada, todavia como local físico no qual ocorrem os processos antes separados de ETDI e ETB, assumindo, portanto o significado abrangente de Estação de Tratamento de Efluentes.

As novas instalações de tratamento (ETE) são equipadas com painéis elétricos que seguem padrões atuais de tecnologia com CLP's que possibilitam o controle do processo de forma programável e com a capacidade de armazenamento de dados obtidos a partir dos pontos sensorizados. Esta configuração de *hardware* motivou a Maxion como detentora do processo, bem como a Birmind como detentora do *software* destinado ao desenvolvimento de *Machine Learning*, a pensarem neste processo como compatível para a criação da parceria entre as empresas em busca do primeiro piloto nessa planta com as características do *cluster Data Analytics* preconizado como uma das tecnologias habilitadoras para a Indústria 4.0.

Com o objetivo de conferir à mistura em tratamento as características adequadas é realizada a adição de um produto químico cuja função final é neutralizar, através de um pH ótimo, as cargas químicas dos diversos contaminantes presentes nos efluentes industriais e ainda manter uma alcalinidade residual necessária ao processo biológico subsequente. No



processo convencional a adição do produto químico se dá por meio de um sensor que envia sinais para uma bomba dosadora com *set point* estabelecido dentro dos limites de controle (máximo e mínimo) conforme especificações de processo. Naturalmente, nesse modelo de automatização de processo com abertura e fechamento de dosagem vinculados aos limites inferior e superior, ocorrem fases de acomodação do banho abaixo e acima destes limites provocando ora desperdício de material, ora riscos para o processo no que tange ao atendimento às especificações.

A implementação do software B-Wise (criado pela *StartUp Birmin*) neste processo visa possibilitar a criação do algoritmo que dará a este controle condições de auto ajustar-se ao longo do tempo mediante a coleta dos dados *on-line* co-relacionando as quantidades de produto dosado com o comportamento do pH da água, afim de buscar continuamente o modelo ótimo de adição de produto por meio do *machine learning* que toma as decisões de forma autônoma em função das variações permanentes que ocorrem no processo, visando por fim a combinação ideal de qualidade da água tratada com o menor custo de tratamento possível, conforme ilustração abaixo.

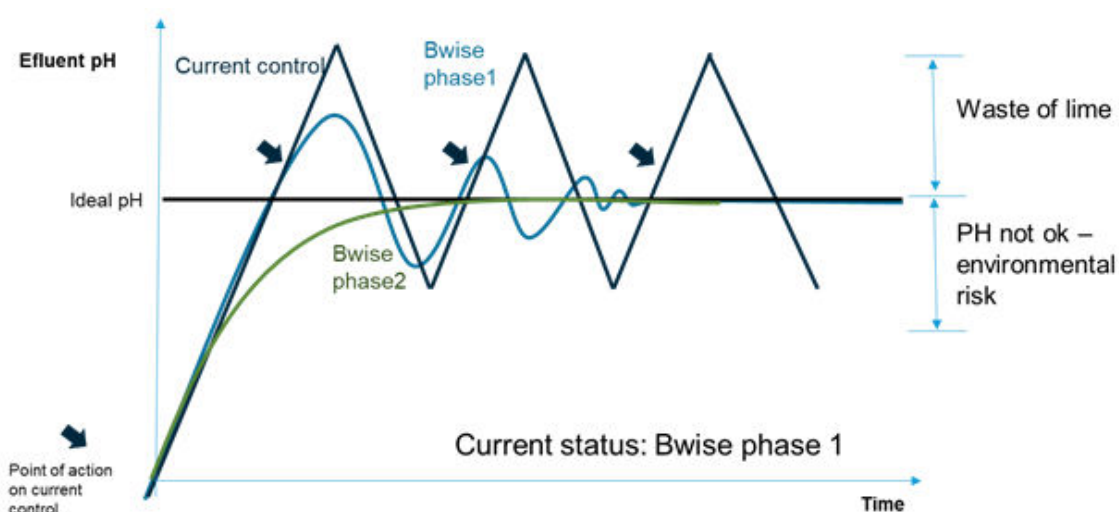


Figura 3 – Curva de aprendizado do processo

Fonte: Maxion MSC Cruzeiro (2018)

Neste momento, está sendo terminada a implementação da fase 2, que se trata justamente do uso da técnica de “machine learning” no processo e será medido e acompanhado os resultados das curvas de PH e adição dos produtos.

O sucesso desta projeto piloto de “machine learning” na ETE servirá de validação para próximas implementações em processos produtivos que poderão trazer maiores ganhos produtividade e de insumos.



4. CONCLUSÃO

Diante do exposto nessa pesquisa mostra-se que a expertise em se implementar processos de “machine learning” nas organizações torna-se fundamental para o aumento de competitividade e sobrevivência das mesmas. O processo descrito está em fase final de implementação e será um marco relevante da consolidação de iniciativas de indústria 4.0. Os resultados a serem medidos após a implementação vão possibilitar o aprendizado e experiência para novos projetos e pesquisas científicas.

5. REFERÊNCIAS

BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A. The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. WW Norton & Company., p. 420–421, 2014.

G. SCHUM, T. POTENTE, C. WESCH-POTENTE, A. WEBER, J. PROTE, Collaboration Mechanisms to Increase Productivity in the Context of Industrie 4.0, In *Procedia CIRP*, Volume 19, pages 51-56, ISSN 2212-8271, 2015.

HELLINGER, A.; SEEGER, H. Cyber-Physical Systems - Driving force for innovation in mobility, health, energy and production. Acatech Position Paper, National Academy of Science and Engineering, n. December, p. 48, 2011

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, v. 2016–March, p. 3928–3937, 2016.

KANG, H. S., J. Y. LEE, S. CHOI, H. KIM, J. H. PARK, J.Y. SON, B. H. KIM. S. D. NOH “Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions”. In: *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology* 3, pp. 111–128, 2016.

K.ZHOU, TAIGANG LIU, LIFENG ZHOU “Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges”, 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), Zhangjiajie, 2015, pp. 2147-2152, 2015.

LASI, H. et al. Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014.

LOHR, S. The Internet of Things and the Future of Farming. *New York Times (Online)*, n. 2, 2015

RUSSEL, Stuart; NORVING, Peter Artificial Intelligence: A Modern Approach 2 ed. [S.l.]: Prentice Hall, (2003 [1995]).

RUSSWURM, S. Industry 4.0 - from vision to reality. Background Information, p. 1, 2014.

SCHRÖDER, R. et al. Análise da Implantação de um Processo Automatizado em uma Empresa Calçadista: Um Estudo de Caso a Luz do Sistema Hyundai de Produção e a Indústria 4.0. *Revista Espacios*, Caracas, v. 36, n. 18, p. 19, 2015.

SUGAYAMA, R.; NEGRELLI, E. Connected vehicle on the way of Industry 4.0. *Anais do XXIV Simpósio*

Internacional de Engenharia Automotiva - SIMEA 2016, p. 48–63, 2015.

T. STOCK, G. SELIGER, Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0, In procedia CIRP, Volume 40, pages 536-541, ISSN 2212-8271, 2016.

VDE-DKE. The German Standardization Roadmap Industrie 4.0. Vde Association for Electrical, Electronic & Information Technologies, v. 0, p. 1–60, 2014.

VEZA, I., M. MLADINEO, N. GJELDUM “Managing Innovative Production Network of Smart Factories”. In: IFAC-PapersOnLine48, pp. 555–560, 2015.