

APLICAÇÃO DO INDICADOR DE EFICIÊNCIA GLOBAL (OEE) EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA): UM CASO DE UMA COMPANHIA PÚBLICA DE SANEAMENTO

PIRES JUNIOR, Edilson Jose Sana¹

MANGINI, Lígia Fernanda Kaefer²

RESUMO

A eficiência operacional das Estações de Tratamento de Água (ETA) é um imperativo crucial para garantir o abastecimento sustentável e de qualidade à população. Nesse contexto, este estudo abordou a aplicação do Indicador de Eficiência Global (OEE) em ETAs de uma companhia pública de saneamento, visando otimizar suas operações. O objetivo geral consistiu em realizar um diagnóstico das ETAs através do OEE, identificando fatores restritivos para atingir uma OEE em nível de excelência (acima de 85%) e propor uma implementação preliminar do indicador. A metodologia envolveu a análise de sete ETAs na Região Metropolitana do Recife, com foco em três componentes do OEE: Disponibilidade, Performance e Qualidade. Os resultados evidenciaram que, embora as ETAs apresentassem alta Qualidade e Disponibilidade, o fator de Velocidade emergiu como o principal obstáculo para alcançar níveis de OEE desejados. A infraestrutura depreciada e a vazão excessiva de água bruta foram apontadas como causas centrais dessas limitações. Em conclusão, este estudo destaca o potencial do OEE como uma ferramenta eficaz para avaliar e aprimorar a eficiência das ETAs. A análise das operações sob a perspectiva do OEE permitiu identificar áreas críticas para intervenções direcionadas, possibilitando uma alocação mais eficiente de recursos. A busca pela excelência do OEE no contexto do saneamento requer investimentos substanciais em recuperação de infraestrutura e capacitação dos operadores.

Palavras-chave: ETA. TPM. OEE. Saneamento.

1 INTRODUÇÃO

A globalização da economia está criando uma competição global nos mercados, fazendo com que as empresas busquem formas de fortalecer sua posição para garantir sua sobrevivência em tempos difíceis ou para aproveitar oportunidades. A manutenção da sustentabilidade empresarial é fundamental para a continuidade dos negócios e estar à frente dos concorrentes exige estar preparado para lidar com as constantes mudanças do mercado (BARROS, 2004).

Segundo Slack et al. (2002), a qualidade é um dos fatores mais importantes que afetam o desempenho da organização em relação aos concorrentes. Investir

¹ Graduando em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Internacional (UNINTER).

² Doutora e Mestre em Engenharia e Ciência dos Materiais pela UFPR, Engenheira Química pela UFPR, e Professora Orientadora no Centro Universitário Internacional UNINTER

continuamente em melhorias na qualidade do produto, processo e gestão tornou-se um diferencial competitivo entre as empresas. Por isso, sempre é possível melhorar o processo produtivo, independentemente de já estarem bem projetados e gerenciados.

De acordo com Ohno (1997), não há uma forma garantida de sobreviver no mercado atual, mas sim, a necessidade de um Sistema de Gestão Total que maximize as habilidades humanas para aproveitar ao máximo as instalações e máquinas e reduzir o desperdício. Muitas empresas brasileiras gastam entre 35% e 55% dos custos da manutenção corretiva em vez de planejar prevenção (BARROS, 1999).

Quando comparado o rendimento operacional global entre o Brasil e o Japão, constatou-se que no Brasil é de 45,5%, enquanto no Japão é de 99,95%. Isso significa que a lucratividade das empresas japonesas é duas vezes e meia maior do que a lucratividade das empresas nacionais, o que permite a sustentabilidade empresarial e uma maior competitividade no mercado global (BARROS, 2004).

Com a aprovação do Marco do Saneamento, a Companhia de Saneamento, objeto deste estudo, enfrenta um novo cenário competitivo, onde precisará competir com outras empresas para manter as concessões de saneamento nos municípios de Pernambuco. Para se adaptar a essa mudança, é importante que a companhia busque aumentar sua eficiência e rentabilidade internamente.

Neste estudo, foram analisados dados anuais de 2020 de sete estações de tratamento de água na Região Metropolitana do Recife, com o objetivo de avaliar se a TPM consegue identificar oportunidades de melhoria e impulsionar a rentabilidade da empresa. Assim, a pergunta de pesquisa é: qual o diagnóstico, a partir da identificação dos fatores de restrição de uma OEE em nível de excelência (OEE acima de 85%) para a companhia?

Assim, o objetivo geral deste trabalho é realizar um diagnóstico de 7 (sete) ETA's da companhia estudada através da aplicação do indicador de eficiência global dos equipamentos (OEE), presente no método de gestão TPM – Manutenção Produtiva Total, para identificar os fatores de restrição de uma OEE em nível de excelência (OEE acima de 85%) e implementar este indicador, de forma preliminar, numa empresa de saneamento.

Os objetivos específicos são: (i) descrever o funcionamento de um sistema de abastecimento de água (SAA); (ii) descrever o funcionamento de uma estação de tratamento de água (ETA); (iii) descrever os conceitos de TPM e OEE; (iv) identificar as fontes de informação na companhia de saneamento que permitam a medição dos

3 (três) indicadores de Disponibilidade, Velocidade e Qualidade para a obtenção do OEE de forma efetiva; e (v) identificar quais dos 3 (três) fatores é a restrição para estabelecer diretrizes para eliminação das perdas e conseqüente aumento do OEE.

A justificativa para a realização dessa pesquisa é que a eficiência operacional é um fator crítico para a operação rentável e sustentável de uma ETA. Ao medir e melhorar o OEE, as empresas de saneamento podem maximizar a produção de água tratada com os recursos disponíveis, minimizando o desperdício de energia, água e outros recursos. Além disso, com o aumento da demanda por água tratada em todo o mundo, é fundamental que as empresas de saneamento sejam capazes de fornecer uma quantidade suficiente de água tratada com custos razoáveis. A aplicação do OEE pode ajudar a garantir a eficiência da produção de água tratada, aumentando a produtividade e reduzindo os custos operacionais.

O documento é estruturado em cinco seções, já com a inclusão da seção de Introdução apresentada. A seção 2 contém a fundamentação teórica. A seção 3 contém a metodologia aplicada ao desenvolvimento do projeto. A seção 4 apresenta o cronograma do projeto.

2 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA - SAA

Aproximadamente 70% da Terra é coberta por água, mas apenas 3% deste volume é água doce e a maior parte está presente em geleiras. Isso significa que há apenas uma pequena quantidade de água disponível para uso. A água da natureza não é adequada para consumo e, mesmo após chover, ainda contém impurezas. Quando a água toca o solo, ela absorve ainda mais substâncias impuras, prejudicando sua qualidade (ALVAREZ, 2009).

A água deve atender certos padrões de potabilidade para ser considerada adequada para consumo. Qualquer substância que a altere é classificada como poluída. Alguns indicadores de poluição orgânica incluem compostos nitrogenados, oxigênio consumido e cloretos. Em áreas sem sistema de abastecimento público de água, é possível obtê-la por meio de poços artesianos (DAVIS, 2017).

Os sistemas de abastecimento de água (SAA) visam fornecer conforto às populações, infraestrutura às cidades e priorizar a segurança da saúde através da água. Em geral, eles incluem a fonte, captação, adução, tratamento, reservatório, rede

de distribuição e ligações prediais, e estações elevatórias ou de recalque (FERREIRA FILHO, 2017).

Para construir uma rede de distribuição de água, é importante fazer uma análise aprofundada da área e ter mão de obra especializada. É necessário determinar a demanda da população e de indústrias, bem como a taxa de crescimento da cidade, para projetar um sistema de abastecimento de água de qualidade a longo prazo (METCALF, 2016).

A escolha do manancial é uma parte crucial do planejamento, requerendo avaliação de fatores como localização, topografia, fluxo e presença de fontes de poluição. Após selecionar o manancial, a próxima etapa é estabelecer a forma de captação da água (ALVAREZ, 2009).

Existem duas técnicas de captação de água: superficial e subterrânea. A captação superficial é feita em rios, lagos ou barragens por meio de bombeamento ou gravidade, sendo levada pela adutora até a estação de tratamento.

Por outro lado, a captação subterrânea é realizada com poços artesianos, retirando a água dos lençóis subterrâneos, que são perfurados em média a uma profundidade de 50 a 100 metros e conduzidos para a estação de tratamento com a ajuda de motobombas. A água captada subterraneamente é tratada com cloro para desinfecção (ALVAREZ, 2009). A figura 1 mostra como ocorre o fluxo da água dentro de um sistema de abastecimento de água:

Figura 1 – Sistema de Abastecimento de Água.



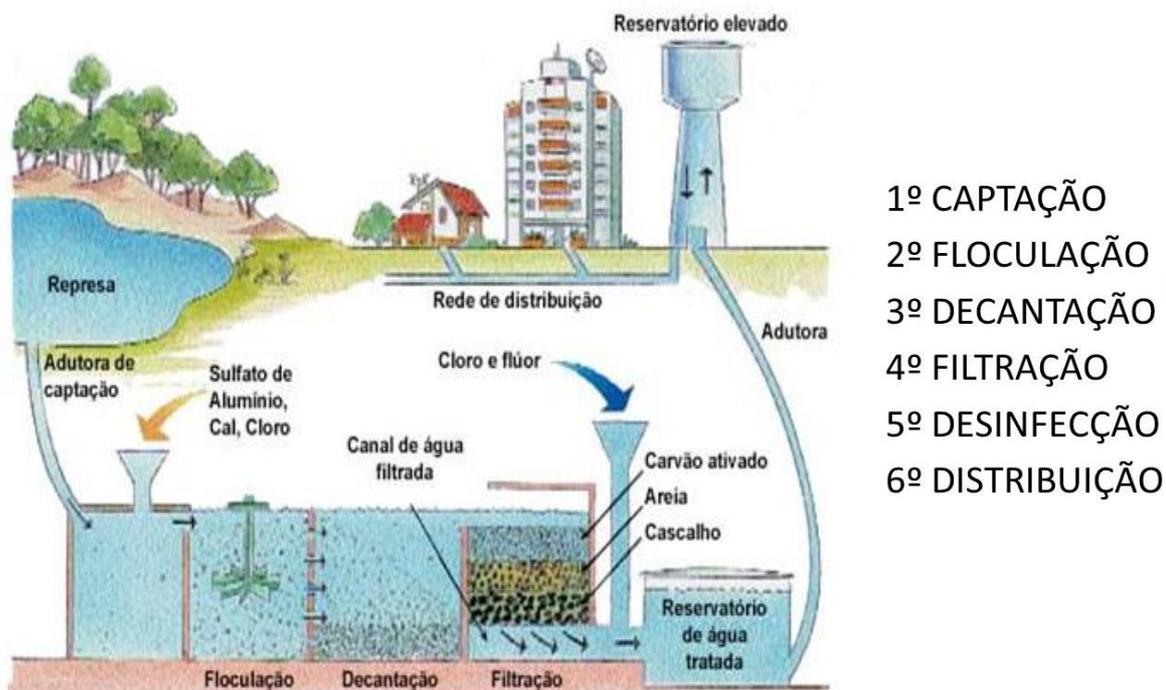
Fonte: Alfacomp (2019)

2.2 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA - ETA

A Estação de Tratamento de Água (ETA) é onde se purifica a água bruta, obtida de fontes como rios ou represas, para torná-la adequada ao consumo humano e para suprir as necessidades da população e das indústrias. Antes de ser distribuída pelo sistema de abastecimento, a água é submetida a várias etapas de tratamento em uma ETA.

No Brasil, a tecnologia mais utilizada é o ciclo completo, que inclui as etapas de coagulação, floculação, sedimentação, filtração, desinfecção, fluoração e estabilização final, conforme pode ser visto na Figura 2 (FERREIRA FILHO, 2017).

Figura 2 – Etapas do sistema de uma Estação de Tratamento de Água.



Fonte: Alfacomp (2019)

Para garantir um tratamento eficaz da água, é crucial que a coagulação seja bem-sucedida. O sucesso desta primeira etapa é crucial para o desempenho posterior do processo. O tratamento usa processos físicos e químicos para tornar a água apta para o consumo humano (ALVAREZ, 2009).

A primeira fase é o gradeamento que remove impurezas maiores, como plantas sobrenadantes, através de grades. Em seguida, a água passa por uma etapa de floculação, onde coagulantes químicos, como cal, sulfato de alumínio, sais de ferro III

ou policloreto de alumínio (PAC), aglomeram as partículas sujas para que sejam depositadas no fundo de um tanque de decantação (DAVIS, 2017).

Em seguida, a água é filtrada através de filtros compostos por carvão, areia e cascalho. Por fim, é adicionado aditivos químicos para corrigir a acidez da água, como a cal hidratada. Por último, é adicionado cloro como desinfetante e flúor para reduzir o problema de cáries na população (FERREIRA FILHO, 2017).

2.3 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL – TPM

A confiabilidade e disponibilidade dos recursos a um custo reduzido é crucial para a competitividade das organizações. Com a exigência crescente por eficiência e eficácia nos processos, e relações efetivas, fatores como perdas operacionais, acidentes de trabalho, poluição, falhas de equipamentos e outros, afetam negativamente o desempenho empresarial, aumentando os custos e diminuindo a produtividade e qualidade (SINGH, 2014).

Para manter-se competitivo diante da demanda do mercado, é essencial que os equipamentos sejam disponíveis e confiáveis, papel da Gestão da Manutenção e Produção (AGUIAR *et al*, 2019).

A manutenção em equipamentos industriais surgiu no final do século XIX e início do século XX com a mecanização das máquinas. Antes de 1914, as empresas não tinham uma área dedicada à manutenção e solucionavam as falhas com os trabalhadores disponíveis. Ao longo do tempo, a manutenção tornou-se cada vez mais importante e é agora vista como fator chave na competitividade das indústrias, que buscam reduzir custos e aumentar a produtividade (AGUSTIADY; CUDNEY, 2016).

O objetivo principal da manutenção é manter os equipamentos e instalações operando o mais próximo possível das condições iniciais de projeto. Isso resultou no surgimento da Manutenção Produtiva Total (TPM), baseada na indústria automobilística japonesa e, depois, difundida amplamente em outras indústrias, tornando-se um modelo eficaz de gestão, conforme Nakajima (1989, p. 43): “o TPM representa uma forma de revolução, pois conclama a integração total do homem x máquina x empresa, onde o trabalho de manutenção dos meios de produção passa a constituir a preocupação e ação de todos”.

A *Total Productive Maintenance* (TPM) é um modelo de excelência na gestão

da manutenção, conforme descrito por Takahashi (1993). É composto por oito pilares: Educação e treinamento; Manutenção autônoma; Manutenção planejada; Melhorias específicas; Segurança e meio ambiente; Manutenção de qualidade; Controle inicial; e Gestão administrativa.

Tais pilares abrangem toda a empresa, não apenas a manutenção, como modelo empresarial que visa maximizar o desempenho de máquinas, que são cruciais para o sucesso empresarial. O *Overall Equipment Efficiency* (OEE) é uma medida derivada do modelo TPM que avalia a disponibilidade, desempenho e qualidade dos processos (TAKAHASHI, 1993).

A TPM é mais do que uma técnica de manutenção de equipamentos, é uma abordagem gerencial que busca a máxima eficiência por meio da participação dos operadores. Ela se desenvolveu da manutenção preventiva, principalmente após a Segunda Guerra Mundial, com o objetivo de ultrapassar a manutenção corretiva. A TPM foi inicialmente implementada pela empresa japonesa Nippon Denso Co. Ltd., pertencente ao grupo Toyota (AGUSTIADY; CUDNEY, 2019).

Segundo Masseroli (2013), a Manutenção Produtiva Total (TPM) é eficaz nas empresas que possuem muitas operações automáticas e sequenciais. Ela combina uma série de técnicas e atividades para aprimorar a utilização da capacidade de produção instalada, sem precisar de grandes investimentos.

2.4 A APLICAÇÃO DO INDICADOR OEE EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

O *Overall Equipment Efficiency* (OEE), que pode ser traduzido como Eficiência Global dos Equipamentos, é um indicador utilizado para avaliar a eficiência e o desempenho de equipamentos ou processos de produção. Originalmente desenvolvido como parte da metodologia de Manutenção Produtiva Total (TPM) na indústria manufatureira, o OEE é uma métrica poderosa que permite identificar e quantificar perdas de produção, ineficiências e oportunidades de melhoria (KENNEDY, 2018).

O cálculo do OEE é baseado em três componentes principais:

- 1) Disponibilidade (*Availability*): Este componente mede o tempo em que o equipamento ou processo está disponível e pronto para operar em relação ao tempo total disponível. Inclui tanto o tempo de produção quanto o tempo de paradas

planejadas e não planejadas. A fórmula da Disponibilidade é dada pela equação 1 (STAMATIS, 2011):

$$\text{Disponibilidade} = (\text{Tempo de Operação} / \text{Tempo Total Disponível}) * 100 \quad (1)$$

2) Performance (*Performance Rate* ou Velocidade): A Performance mede a velocidade real de produção em comparação com a velocidade ideal ou esperada. Isso envolve avaliar a taxa de produção real em relação à taxa teórica máxima. A fórmula da Performance é dada pela equação 2 (KENNEDY, 2018):

$$\text{Performance} = (\text{Taxa de Produção Real} / \text{Taxa de Produção Ideal}) * 100 \quad (2)$$

3) Qualidade (*Quality Rate*): A Qualidade avalia a proporção de produtos produzidos que atendem aos padrões de qualidade estabelecidos. Considera a quantidade de produtos bons em relação à quantidade total de produtos produzidos. A fórmula da Qualidade está representada na equação 3 (STAMATIS, 2011):

$$\text{Qualidade} = \frac{\text{Quantidade de Produtos Bons}}{\text{Quantidade Total de Produtos}} \times 100 \quad (3)$$

O cálculo final do OEE é obtido multiplicando esses três componentes, conforme equação 4:

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidade} * \text{Performance} * \text{Qualidade} \quad (4)$$

A aplicação do indicador OEE em estações de tratamento de água (ETA) é uma ferramenta importante para avaliar a eficiência e a produtividade dessas instalações. A análise do OEE permite identificar e quantificar as perdas de produção, bem como as oportunidades de melhoria nos processos de produção de água tratada (KENNEDY, 2018).

A eficiência operacional é um fator crítico para a operação rentável e sustentável de uma ETA. Ao medir e melhorar o OEE, as empresas de saneamento podem maximizar a produção de água tratada com os recursos disponíveis, minimizando o desperdício de energia, água e outros recursos (STAMATIS, 2011).

Além disso, com o aumento da demanda por água tratada em todo o mundo, é fundamental que as empresas de saneamento sejam capazes de fornecer uma quantidade suficiente de água tratada com custos razoáveis. A aplicação do OEE pode ajudar a garantir a eficiência da produção de água tratada, aumentando a produtividade e reduzindo os custos operacionais (KENNEDY, 2018).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa é do tipo exploratória, onde foram coletados dados primários a partir de documentos coletados na Companhia de Saneamento. Quanto à natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada. Com relação à abordagem do problema, a pesquisa é quantitativa. Quanto aos procedimentos técnicos, a pesquisa é mista, pois envolveu uma pesquisa teórica bibliográfica e documental, mas também a pesquisa empírica do tipo Estudo de Caso.

Foram utilizadas técnicas de coleta de dados, como entrevistas semiestruturadas com gestores e profissionais envolvidos na operação das ETAs, análise documental de relatórios operacionais e registros históricos.

Os dados secundários foram coletados em documentos da Companhia de Saneamento e em material elaborado por outros autores. Foram coletados na Companhia de Saneamento Indicador de Velocidade, Indicador de Qualidade, e Indicador de Disponibilidade referente ao ano de 2020.

O tratamento dos dados foi feito em planilhas eletrônicas no aplicativo *Microsoft Excel*. Após a tabulação dos dados estes foram analisados interpretativamente com a finalidade de obter respostas aos objetivos propostos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 APLICAÇÃO

O estudo de caso foi realizado nas 7 (sete) principais ETA's que se localizam na Região Metropolitana, conforme a seguir:

- ETA Pirapama
- ETA Castelo Branco (Tapacurá)
- ETA Botafogo

- ETA Alto do Céu
- ETA Suape
- ETA Gurjaú
- ETA Várzea do Una

A vazão de projeto de cada ETA pode ser visualizado na Tabela 1.

Tabela 1 – Vazão de projeto das 7 (sete) maiores ETA's da RMR.

Sistema	Vazão de Projeto	
	L/s	m ³ /h
ETA - ALTO DO CEU	1.200	4.320
ETA - BOTAFOGO	1.600	5.760
ETA - CASTELO BRANCO	4.000	14.400
ETA - VARZEA DO UNA	540	1.944
ETA - PIRAPAMA	5.130	18.468
ETA - GURJAU	2.000	7.200
ETA - SUAPE	1.600	5.760
Total	16.070	57.852

Fonte: Dados produzidos pelo autor (2023)

4.2 DADOS OBSERVADOS

Segue as medições de cada fator do OEE e o resultado do mesmo por ETA:

4.2.1 Indicador de Velocidade em 2020

Para efeito de análise, foram coletados os volumes produzidos (em m³) por cada ETA selecionada no ano de 2020.

Na tabela 2 estão os dados encontrados:

Tabela 2 – Indicador de Velocidade das ETA's no ano de 2020

Sistema	Vazão de Projeto		2020		
	L/s	m ³ /h	Produção Anual (m ³)	Produção Horária Média (m ³ /h)	% em Relação à Vazão de Projeto
ETA - ALTO DO CEU	1.200	4.320	24.867.436,03	2.838,75	66%
ETA - BOTAFOGO	1.600	5.760	46.001.623,65	5.251,33	91%
ETA - CASTELO BRANCO	4.000	14.400	83.519.126,00	9.534,15	66%
ETA - VARZEA DO UNA	540	1.944	9.807.139,39	1.119,54	58%
ETA - PIRAPAMA	5.130	18.468	149.626.014,25	17.080,60	92%
ETA - GURJAU	2.000	7.200	28.121.636,21	3.210,23	45%
ETA - SUAPE	1.600	5.760	5.668.929,34	647,14	11%
Total	16.070	57.852	347.611.904,87	39.681,72	69%

Fonte: Dados produzidos pelo autor (2023)

Pode-se observar na tabela 2, em fonte azul, o percentual de volume atingido quando comparado ao possível pela vazão de projeto que varia de 11 a 92% da vazão de projeto.

4.2.2 Indicador de Qualidade em 2020

Também foram coletados os indicadores de qualidade de cada ETA do ano de 2020 que se encontram na tabela 3:

Tabela 3 – Indicador de Qualidade (IQAP) das ETA's no ano de 2020

ETA	2020				IQAP com Pesos
	% dentro dos padrões de cor	% dentro dos padrões de turbidez	% dentro dos padrões de coliforme total	% dentro dos padrões de cloro residual	
Pirapama	100,00	95,66	96,99	100,00	98,58
Castelo Branco (Tapacurá)	100,00	67,34	98,03	100,00	97,58
Botafogo	99,50	24,98	98,96	100,00	95,83
Suape	100,00	99,48	98,61	100,00	99,42
Alto do Céu	100,00	95,72	96,73	100,00	98,48
Gurjaú	99,87	58,56	98,96	100,00	97,51
Várzea do Una	100,00	99,79	95,83	100,00	98,32

Fonte: Dados produzidos pelo autor (2023)

Verifica-se que o Indicador varia de 95,83 a 99,42, conforme apresentado na

Tabela 3.

4.2.3 Indicador de Disponibilidade em 2020

Os dados que representam o indicador de disponibilidade das ETA's estão apresentados na Tabela 4:

Tabela 4 – Indicador de disponibilidade das ETA's no ano de 2020

Disponibilidade ETA's - 2020														
ETA	jan/20	fev/20	mar/20	abr/20	mai/20	jun/20	jul/20	ago/20	set/20	out/20	nov/20	dez/20	Total 2020	
Pirapama	744	696	742	720	744	720	744	744	720	744	718	744	8780	99,95%
Castelo Branco (Tapacurá)	744	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8784	100,00%
Botafogo	692	696	744	720	744	720	728	744	720	744	720	744	8716	99,23%
Alto do Céu	744	696	744	720	744	720	725,5	744	720	742,5	695,5	720	8715,5	99,22%
Suape	744	696	741	720	738	712	726	744	720	720	712	744	8717	99,24%
Gurjaú	744	696	744	720	744	712	720	744	720	738	720	744	8746	99,57%
Várzea do Una	744	687	731	693,5	727	717	727	744	697	744	720	726,5	8658	98,57%
Tempo Disponível Mensal	744	696	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8784	100%

Fonte: Dados produzidos pelo autor (2021)

4.2.4 OEE das ETA's da RMR do Recife em 2020

Com todos os dados coletados, consegue-se calcular o OEE das ETA's selecionadas, conforme Tabela 5:

Tabela 5 – Cálculo do OEE das ETA's no ano de 2020

OEE ETA's COMPESA 2020				
ETA	Disponibilidade	Velocidade	Qualidade	OEE
Pirapama	99,95%	92,49%	98,58%	91,13%
Castelo Branco (Tapacurá)	100,00%	66,21%	97,58%	64,61%
Botafogo	99,23%	91,17%	95,83%	86,69%
Alto do Céu	99,22%	65,71%	98,48%	64,21%
Suape	99,24%	11,24%	99,42%	11,08%
Gurjaú	99,57%	44,59%	97,51%	43,29%
Várzea do Una	98,57%	57,59%	98,32%	55,81%

Fonte: Dados produzidos pelo autor (2023)

Evidenciou-se, com este trabalho e com os dados da Tabela 5, que de 7 (sete) ETA's observadas, 5 (cinco) estão no nível mínimo de excelência de 85%, em que 2 (duas) com 65%, 2 (duas) próximas de 50% e 1 (uma) em nível crítico, somente com

11,08% em virtude do seu fator de Velocidade de 11,24%.

Ao se analisar os fatores individualmente, verifica-se que o fator de Qualidade se encontra acima de 95% em todas as ETA's, o fator de Disponibilidade encontra-se acima de 98% em todas as ETA's, portanto o maior responsável pelo baixo OEE encontrado nas ETA's é o fator de Velocidade.

As causas destes fatores restritivos estão, principalmente, ligadas a:

- Infraestrutura operacional das ETA's, que, em alguns casos, encontra-se muito depreciada, comprometendo significativamente a performance dos seus sistemas e;
- Vazão de chegada a seguir da capacidade original da ETA.

No caso particular da ETA Suape, a maior parte da água bruta é desviada para algumas indústrias instaladas no Porto de Suape, demonstrando uma falta de planejamento para que este abastecimento não afetasse a ETA, identificou-se os seguintes pilares:

- Investir na recuperação da infraestrutura (Pilar: Controle Inicial)
- Revisar os planos de manutenção (Pilar: Planejamento de Manutenção)
- Manutenção autônoma (Pilar: Manutenção Autônoma)
- Educação e treinamento em engenharia da confiabilidade, gestão da manutenção e tecnologias aplicadas (Pilar: Educação e Treinamento)
- Regularização da vazão de alimentação de água bruta (Pilar: Controle Inicial)

Para que o fator de Velocidade do OEE possa ser elevado será necessário investir na recuperação da infraestrutura das ETA's, portanto, utilizando-se o pilar de controle inicial (projetos e reconstrução de novos sistemas) e o pilar manutenção planejada (para revisar os planos de manutenção para que esta degeneração não aconteça mais), juntamente com o pilar manutenção autônoma (para que os operadores possam fazer inspeções, pequenas manutenções e estejam preocupados com o local de trabalho, tipo o seguinte slogan: "Desta ETA cuido eu" e aplicar para eles o senso de propriedade), para tudo isso deverá ser implementado o pilar educação e treinamento voltado para um treinamento em engenharia da confiabilidade, gestão da manutenção, tecnologias aplicadas nas ETA's (sejam de equipamentos e infraestrutura), estes mesmos pilares deverão ser aplicados na regularização da vazão de alimentação (água bruta) das ETA's através da

recuperação das estruturas à montante (barragens, captações, estações elevatórias de água bruta e adutoras de água bruta) e/ou construção de novas estruturas.

Assim, observa-se que há oportunidades de melhoria vinculadas ao fator de Velocidade, principalmente, nas ETA's Suape, Gurjaú, Várzea do Uma, Alto do Céu e Castelo Branco (Tapacurá).

A proposta apresentada a seguir é para se elevar o fator de Velocidade destas 5 (cinco) ETA's para 90% até o mês de dezembro de 2023.

Com esta elevação do fator de Velocidade, o novo valor do OEE é apresentado a seguir na Tabela 6:

Tabela 6 – Novo OEE das ETA's com a proposta de melhoria para o fator de Velocidade

PROPOSTA DE MELHORIA DO OEE ETA's COMPESA - ATÉ DEZEMBRO 2023				
ETA	Disponibilidade	Velocidade	Qualidade	OEE
Pirapama	99,95%	92,49%	98,58%	91,13%
Castelo Branco (Tapacurá)	100,00%	90,00%	97,58%	87,82%
Botafogo	99,23%	91,17%	95,83%	86,69%
Alto do Céu	99,22%	90,00%	98,48%	87,94%
Suape	99,24%	90,00%	99,42%	88,79%
Gurjaú	99,57%	90,00%	97,51%	87,38%
Várzea do Una	98,57%	90,00%	98,32%	87,22%

Fonte: Dados produzidos pelo autor (2023)

O potencial de ganho de produção anual caso a eficiência de Velocidade das ETA's chegue ao menos a 90% é mostrado na Tabela 7:

Tabela 7 – Potencial de Ganho de Produção Anual

ETA	Vazão de Projeto		Potencial de Ganho de Produção Anual para o atingimento da meta de 90% para velocidade	
	L/s	m ³ /h	Ganho de Eficiência	m ³
ALTO DO CÉU	1.200	4.320	24,3%	9.191.443,97
BOTAFOGO	1.600	5.760	NA	NA
CASTELO BRANCO (TAPACURÁ)	4.000	14.400	23,8%	30.010.474,00
VÁRZEA DO UNA	540	1.944	32,4%	5.519.356,61
PIRAPAMA	5.130	18.468	NA	NA
GURJAÚ	2.000	7.200	45,4%	28.643.163,79
SUAPE	1.600	5.760	78,8%	39.742.910,66
Total	16.070	57.852	21,4%	113.107.349,03

Obs: NA - Não Aplicado

Fonte: Dados produzidos pelo autor (2023)

Esta oportunidade de melhoria com um ganho de 113 milhões de m³ de água tratada representa um potencial aumento de 32,5% de produção anual em relação ao volume total produzido pelas 7 ETA's no ano de 2020.

Sendo o índice de OEE um padrão que apresenta o real funcionamento da produção, ele faculta às empresas um melhor detalhamento da situação em que os equipamentos / sistemas se encontram e, assim, para que aquelas possam canalizar esforços, tempo e investimentos na busca da maior lucratividade possível.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo buscou investigar a aplicação do Indicador de Eficiência Global (OEE) em Estações de Tratamento de Água (ETA) de uma companhia pública de saneamento com o objetivo de identificar os fatores restritivos para alcançar uma OEE em nível de excelência e propor a implementação preliminar desse indicador. Ao longo da pesquisa, foram analisadas sete ETA's localizadas na Região Metropolitana do Recife, utilizando o OEE como métrica de avaliação do desempenho operacional.

Os resultados obtidos evidenciaram a importância do OEE como ferramenta de diagnóstico e otimização das operações das ETA's. A análise revelou que, embora as ETAs demonstrem altos índices de Qualidade e Disponibilidade, o fator de Velocidade emergiu como o principal obstáculo para alcançar níveis de OEE acima de 85%. A infraestrutura depreciada e a vazão excessiva de água bruta foram identificadas como as principais causas dessa limitação.

Através dessa pesquisa, foi possível observar que a implementação do OEE pode trazer benefícios significativos para o setor de saneamento, permitindo uma visão abrangente das operações, identificando áreas de melhoria e direcionando esforços de forma mais eficaz. No entanto, também se reconhece que a busca pela excelência do OEE exige investimentos substanciais em recuperação de infraestrutura e em programas de educação e treinamento para os operadores.

As possibilidades de melhoria e continuação deste trabalho são diversas. Sugere-se uma análise mais aprofundada das estratégias para elevar o fator de Velocidade, incluindo a avaliação dos resultados após a implementação das ações propostas. Além disso, estender esse estudo para outras companhias de saneamento e regiões geográficas poderia fornecer uma visão mais abrangente das oportunidades

e desafios da aplicação do OEE no setor. Ademais, explorar a integração de tecnologias emergentes, como a *Internet das Coisas* (IoT) e a análise de dados, poderia abrir caminho para abordagens mais inovadoras na busca pela eficiência operacional das ETAs.

A implantação do indicador de performance, o OEE, direciona a organização em todas as suas áreas, sejam as de projeto, produção e manutenção para a obtenção de um único objetivo, a elevação da performance global e, conseqüentemente, a lucratividade.

Por tudo isto, conclui-se que a implantação da TPM, e o experimento da medição do OEE foi um modelo prático e adequado que deve ser adotado na Companhia em questão, contribuindo para os seus objetivos de garantir altos níveis de eficiência e eficácia e efetividade em seus processos, buscando a qualidade total e uma lucratividade diferenciada, possibilitando a sobrevivência e perpetuidade neste novo ambiente competitivo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. F.; JUGEND, D.; SOUZA, F. B.; MARIANO, E. B. **Interações entre Manutenção Produtiva Total e Gestão da Qualidade Total: Estudo de Caso em Uma Empresa do Setor Alimentício**. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, v. 14, n.3, p. 122 - 134, 2019. Disponível em: <https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/download/2611/pdf>. Acesso em 10 jun. 2023.

AGUSTIADY, Tina Kanti; CUDNEY, Elizabeth A. Total productive maintenance. **Total Quality Management & Business Excellence**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1438843>. Acesso em 25 jun. 2023.

AGUSTIADY, Tina Kanti; CUDNEY, Elizabeth A. **Total Productive Maintenance Strategies and Implementation Guide**. Boca Raton: CRC Press, 2016.

ALFACOMP. **Funcionamento geral do abastecimento de água**. Rio de Janeiro: Alfacom, 2019. Disponível em: <https://alfacom.net/2019/04/18/abastecimento-de-agua/>. Acesso em 21 jan. 2023.

ALVAREZ, G. A. **Manual de Hidráulica**. 7ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2009.

BARROS, L. C. **Diretrizes Gerais para implementação da Gestão da Manutenção em Micro e Pequenas Empresas**, SEBRAE –PE. Pernambuco, 2004.

DAVIS, Mackenzie. **Tratamento de águas para abastecimento e residuárias: princípios e práticas**. Tradução: Sabine Alexandra Holler. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FERREIRA FILHO, Sidney Seckler. **Tratamento de água: concepção, projeto e operação de estações de tratamento.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

GELATTI, Isaías Costa Beber. **OEE – Eficiência Global dos Equipamentos: utilização do método para análise da real produtividade de equipamentos** Panambi, 2012. TCC – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.

KENNEDY, Ross Kenneth. **Understanding, Measuring, and Improving Overall Equipment Effectiveness: How to Use OEE to Drive Significant Process Improvement.** Boca Raton: CRC Press, 2018.

MARTINS, Petrônio G. **Administração da Produção (Ed).** Saraiva, São Paulo, 2012.

MASSEROLI, Nathalia. **Utilização do indicador de eficiência global de equipamentos na gestão e melhoria do processo produtivo.** Caxias do Sul, 2013. Relatório de Estágio – Universidade de Caxias do Sul.

METCALF, Eddy. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos.** tradução: Ivanildo Hespanhol, José Carlos Mierzwa. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

NAKAJIMA, Seiichi. **TPM Development Program: Implementing Total Productive Maintenance:** Productivity Press, 1989.

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção – Além da Produção em larga escala** - Ed. Book-man. 1997.

SINGH, Abhishek Jain Rajbir Bhatti Harwinder. Total productive maintenance (TPM) implementation practice. **International Journal of Lean Six Sigma**, 2014, Vol. 5 Iss 3 pp. 293 – 323. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/IJLSS-06-2013-0032>. Acesso em 25 Jun. 2023.

SLACK, N; CHAMBERS, S; JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** 2.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

STAMATIS, D.H. **The OEE Primer: Understanding Overall Equipment Effectiveness, Reliability, and Maintainability.** Boca Raton: CRC Press, 2011.

TAKAHASHI, Y; Osada, T. **Manutenção Produtiva Total.** 5.ed. Imam, 1993.