

## A IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA: ESTUDO DE CASO DE ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO DE GRANDE PORTE

**Jefferson Ribeiro de Souza Barbosa**<sup>(1)</sup>

Engenheiro Eletricista formado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

**Cláudio Hideki Okada**<sup>(2)</sup>

Engenheiro Eletricista formado pelo Centro Universitário da FEL.

**Claudio José da Silva Azevedo**<sup>(3)</sup>

Tecnólogo em Sistema da Informação formado pela Universidade Cruzeiro do Sul.

**Marcos Felipe Mello Rocha**<sup>(4)</sup>

Engenheiro Eletricista formado pela Universidade Federal de Minas Gerais.

**Michel da Silva Pereira**<sup>(5)</sup>

Engenheiro Eletricista formado pelo Centro Universitário da FEL.

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Av. Educador Paulo Freire, s/n - Parque Novo Mundo - São Paulo - SP - CEP: 02187-110 - Brasil - Tel: (11) 97445-7214 - e-mail: [jrsbarbosa@sabesp.com.br](mailto:jrsbarbosa@sabesp.com.br)

### RESUMO

O desafio imposto pela necessidade de expansão e universalização do saneamento, ao mesmo tempo que é necessário limitar a utilização de recursos energéticos, torna premente o aumento da eficiência dos processos envolvidos no saneamento. Nesse contexto, a má qualidade de energia tem se mostrado como um obstáculo importante a ser superado. Por isso, saber medir e analisar os indicadores de qualidade de energia, bem como quais devem ser as ações mitigadoras contribui para melhorar a eficiência global dos processos.

Este trabalho apresenta conceitos de qualidade de energia com especial foco no regime transitório, mais precisamente nas Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD). Similarmente são tratados os requisitos sobre o tema presentes nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST).

Também é apresentado um estudo de caso no qual a aferição da qualidade da energia fornecida possibilitou identificar a causa de inúmeros desligamentos de conjuntos motobomba da Estação Elevatória de Esgoto Pinheiros. São apresentados os dados coletados, realizada sua análise e descrita as ações avaliadas e em andamento com o objetivo de mitigar o problema identificado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade de energia, VTCD, Fator de Impacto, PRODIST.

### 1. INTRODUÇÃO

A universalização do saneamento é, em si, um grande desafio e faz parte do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 6. Mas é importante que ela seja alcançada de maneira sustentável. Ou seja, o processo, a forma, de universalizar o saneamento deve atender premissas ambientais, sociais e econômicas.

Um caminho para que os processos sejam sustentáveis é atuar de acordo com os ODSs. Assim, durante as ações de expansão dos sistemas de saneamento, que inevitavelmente levam a um aumento no consumo de energia, é preciso estar atento ao ODS 7, sobretudo, a meta 7.3, “Até 2030, dobrar a taxa global de melhoria da eficiência energética” (ONU, 2015).

A qualidade da energia fornecida aos consumidores pode ter influência na eficiência dos processos em instalações de saneamento. Por isso, o seu acompanhamento, bem como a verificação dos seus impactos na operação dos sistemas constituem uma ação que contribui para expansão do saneamento de forma sustentável.

Este trabalho apresenta conceitos de qualidade de energia com especial foco no regime transitório, mais precisamente nas Variações de Tensão de Curta Duração (VTCD). Similarmente são tratados os requisitos sobre o tema presentes nos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST).

Também é apresentado um estudo de caso no qual a aferição da qualidade da energia fornecida possibilitou identificar a causa de inúmeros desligamentos de conjuntos motobomba da Estação Elevatória de Esgoto (EEE) Pinheiros, uma instalação de grande porte localizada na capital paulista. São apresentados os dados coletados, realizada sua análise e descrita as ações avaliadas e em andamento com o objetivo de mitigar o problema identificado.

## **2. OBJETIVO DO TRABALHO**

Tendo em vista a importância da energia elétrica como principal fonte energética para os serviços de saneamento, pretende-se compartilhar as experiências obtidas na aferição e análise da qualidade de energia fornecida e seus impactos na operação da EEE Pinheiros.

Ademais, deseja-se difundir conceitos de qualidade de energia em regime transitório, sobretudo VTCD, além de tratar dos requisitos estabelecidos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) por meio do PRODIST para o mesmo assunto, constantes na Resolução Normativa ANEEL nº 956/2021.

O trabalho também busca disseminar o conceito do Fator de Impacto (FI), que está presente no PRODIST e é diretamente relacionado às VTCD, e avaliar sua utilização correlacionada aos dados operacionais no estudo de caso.

Pretende-se, assim, contribuir com o setor na garantia da continuidade dos serviços de saneamento, visando sua expansão e universalização de forma sustentável.

## **3. METODOLOGIA UTILIZADA**

O presente estudo de caso foi desenvolvido inicialmente através de uma pesquisa teórica, motivada pelos frequentes desligamentos observados nos conjuntos motobomba da EEE Pinheiros. Com a possibilidade da relação desses desligamentos com a energia fornecida, estudou-se inicialmente os principais fenômenos relacionados à qualidade de energia elétrica, bem como as normas, regulamentos e procedimentos pertinentes ao assunto.

A partir da fundamentação teórica adquirida, iniciou-se uma pesquisa de campo através da coleta de informações da qualidade de energia e operacionais do funcionamento dos conjuntos de bombeamento da Elevatória.

Estabeleceu-se uma rotina de coleta desses dados, que são organizados em uma planilha e devidamente confrontados a fim de identificar relações entre os desligamentos de cargas e os eventos de VTCD registrados.

## **4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **4.1. QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA**

A qualidade de energia elétrica é intrinsecamente ligada ao ponto de vista do consumidor. Nesse sentido, DUGAN et al. (2003) definem problema de qualidade de energia como “Qualquer problema manifestado na tensão, corrente ou na frequência que resulte em falha ou má operação de equipamento do consumidor.”.

Portanto, qualidade de energia se refere a diversos tipos de perturbações do sistema elétrico que levam a problemas de funcionamento em equipamentos.

A má qualidade de energia leva a perdas de eficiência global e, conseqüentemente, perdas econômicas. Com o aumento da utilização de cargas não lineares que são mais sensíveis a má qualidade de energia, a sua importância vem aumentando. Esses fatores levaram ao avanço do estudo e da sistematização da abordagem dessa área. Fazendo com que, inclusive, diversos países elaborassem normas sobre o assunto.

Além da forma de onda da tensão fornecida, que é denominada qualidade do produto, a qualidade de energia também se refere à qualidade do serviço, que está associada a continuidade do fornecimento e à qualidade do atendimento, que trata do relacionamento comercial entre concessionária e cliente. A figura 1 ilustra essa divisão.

**Figura 1: Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica.**



Fonte: KAGAN et al. (2009).

#### **4.2. PRODIST – MÓDULO 8**

No Brasil, a qualidade de energia é tratada no módulo 8 do PRODIST. As concessionárias de energia elétrica estão obrigadas a cumprir os requisitos presentes nesses procedimentos.

O módulo 8 do PRODIST trata dos aspectos referentes à qualidade do produto, serviço e comercial na atividade de distribuição de energia elétrica. Ele tem como objetivo:

Definir os fenômenos relacionados à qualidade do produto, aqui entendidos como aqueles relativos à conformidade da onda de tensão em regime permanente e transitório, estabelecendo seus indicadores, valores de referência, metodologia de medição e gestão das reclamações.

(...)

Definir fenômenos relacionados à qualidade do serviço, aqui entendidos como aqueles relativos à continuidade do fornecimento de energia elétrica, estabelecendo a metodologia para apuração dos indicadores de continuidade e de atendimento a ocorrências emergenciais, definindo padrões e responsabilidades.

(...)

Estabelecer os procedimentos relacionados à apuração da qualidade comercial, aqui entendida como sendo a qualidade do atendimento telefônico, do tratamento das reclamações e outras demandas, e do cumprimento dos prazos. (PRODIST, 2021, p. 1)

O PRODIST faz uma distinção dos fenômenos relacionados à qualidade do produto, classificando-os como de regime permanente ou transitório.

Vale revisar os conceitos de regime permanente e transitório. No primeiro, a resposta do sistema é proveniente das fontes existentes e perdura por um longo tempo, já no segundo a resposta é oriunda de súbitas mudanças ocorridas no sistema e tem duração curta.

De acordo com o PRODIST, são considerados fenômenos de regime permanente:

- Variações de tensão em regime permanente;
- Fator de potência;
- Distorções harmônicas;
- Desequilíbrio de tensão;
- Flutuação de tensão;
- Variação de frequência.

No caso do regime transitório, o fenômeno considerado é:

- Variações de tensão de curta duração.

Este trabalho tem como escopo as VTCD. Assim, não haverá detalhamento de itens concernentes à qualidade do serviço e comercial, bem como dos fenômenos de regime permanente que estão associados à qualidade do produto.

#### 4.3. VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO (VTCD)

As VTCD são definidas pelo PRODIST como “desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante um intervalo de tempo inferior a três minutos”. São consideradas momentâneas quando sua duração é de zero a três segundos ou de um ciclo a três segundos, dependendo do tipo de VTCD. E são temporárias quando a duração está entre três segundos e três minutos.

Existem três tipos de VTCD: elevações, afundamentos e interrupções. Esses eventos são classificados pelo nível de tensão alcançado em determinado instante de medição, se comparado à tensão de referência; e pela sua duração, conforme ilustrado na tabela 1.

**Tabela 1: Classificação das Variações de Tensão de Curta Duração.**

Classificação	Denominação	Duração da Variação	Amplitude da tensão (valor eficaz) em relação à tensão de referência
Variação Momentânea de Tensão	Interrupção Momentânea de Tensão – IMT	Inferior ou igual a 3 segundos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Momentâneo de Tensão – AMT	Superior ou igual a 1 ciclo e inferior ou igual a 3 segundos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Momentânea de Tensão – EMT	Superior ou igual a 1 ciclo e inferior ou igual a 3 segundos	Superior a 1,1 p.u
Variação Temporária de Tensão	Interrupção Temporária de Tensão – ITT	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Inferior a 0,1 p.u
	Afundamento Temporário de Tensão – ATT	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Superior ou igual a 0,1 e inferior a 0,9 p.u
	Elevação Temporária de Tensão – ETT	Superior a 3 segundos e inferior a 3 minutos	Superior a 1,1 p.u

Fonte: ANEEL (2021).

As VTCD ocorrem em virtudes de duas causas principais (KAGAN et al., 2009):

- Conexão de cargas de grande potência (provocam queda de tensão);
- Curtos-circuitos (podem provocar elevações ou afundamentos de tensão).

No primeiro caso, as VTCD são provocadas na instalação do próprio consumidor e, de acordo com KAGAN et al. (2009), está associada a problemas de “projeto e compatibilidade entre a rede de suprimento e a carga em

consideração”. O tratamento desse problema passa por um projeto adequado da rede que atende a instalação e da escolha de métodos de partida de motores apropriados.

Para o segundo caso, as VTCD têm como causa faltas ocorridas na rede elétrica, ou seja, problemas externos à instalação do consumidor. Os afundamentos e interrupções ocorrem porque quando há um curto-circuito, aparece uma queda de tensão proporcional a essa corrente e à impedância do circuito envolvido. Já as elevações normalmente são causadas por faltas monofásicas porque a fase em curto tem a sua tensão reduzida enquanto as outras duas têm as suas tensões elevadas. As faltas são a causa mais comum de VTCD, representado, de acordo com MACEDO JR. (2017), mais de 90% dos casos.

A sensibilidade dos equipamentos a VTCD depende de diferentes fatores como tipo de carga, configuração de controle e aplicação. Em relação a sensibilidade a afundamentos, DUGAN et al. (2003) faz a seguinte classificação:

- Equipamentos sensíveis a magnitude do afundamento. São sensíveis a tensão mínima (para afundamento) e máxima (para elevação), independentemente do tempo. Dispositivos como relés de subtensão, controladores de processo e conversores de frequência estão nesse grupo;
- Equipamentos sensíveis a magnitude e duração do afundamento. É um grupo formado por praticamente todos os equipamentos que possuem fonte de alimentação eletrônica. Isso ocorre porque na maioria das vezes esses equipamentos não funcionam adequadamente ou falham quando a tensão de saída da fonte está abaixo do valor especificado;
- Equipamentos sensíveis a outras características. Nesse grupo, os dispositivos são sensíveis a outras características como desequilíbrio entre fases, ponto na forma de onda em que a VTCD se inicia e outras oscilações transitórias durante o distúrbio. São parâmetros mais difíceis de generalizar. Por isso, os indicadores utilizados para avaliação são focados na magnitude e duração do evento.

#### **4.4. MEDIÇÃO DE VTCD**

A medição das VTCD é realizada por um equipamento de medição próprio, normalmente conhecido no mercado como Analisador de Qualidade de Energia (AQE). De modo geral, esse equipamento é capaz de medir grandezas elétricas em regime permanente e transitório, sendo esse último o caso das VTCD. Os AQEs podem ser portáteis, permitindo a realização de campanhas de medição em diferentes instalações; ou fixos, a serem instalados na porta de um painel específico. Para a obtenção das grandezas elétricas necessárias para a medição, o AQE normalmente demanda a utilização de transformadores de potencial e de corrente, responsáveis por fornecer ao equipamento uma amostra segura e confiável das grandezas desejadas (tensão e corrente, respectivamente), viabilizando assim a medição.

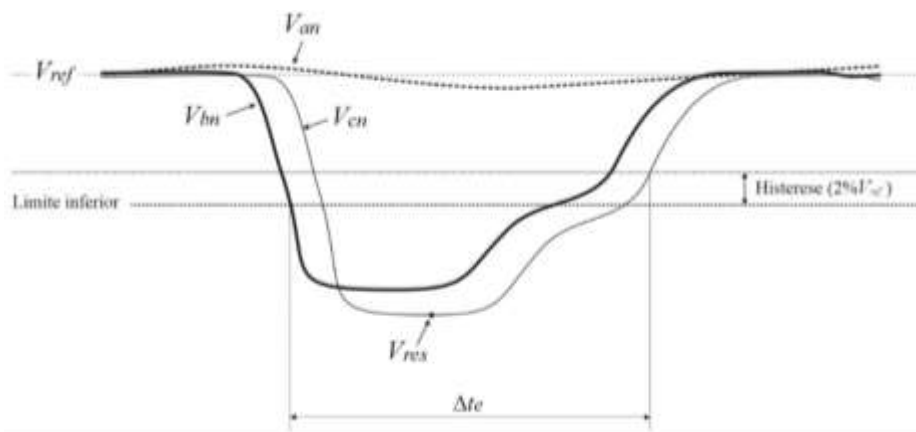
O PRODIST especifica alguns requisitos mínimos para a instrumentação utilizada para medir a qualidade do produto. O módulo 8 especifica que o instrumento de medição utilizado deve atender minimamente aos requisitos da seção 5.2 do módulo 5. Esse módulo é específico para tratar dos sistemas de medição e dos procedimentos de leitura.

Dentre os requisitos apresentados na seção 5.2 do módulo 5, pode-se destacar a necessidade de o AQE atender aos protocolos estabelecidos pelas normas vigentes da *International Electrotechnical Commission* – IEC 61000 série 4 ou normas técnicas brasileiras correlatas, além da necessidade de utilizar o método de medição Classe A ou S, conforme a norma vigente da IEC 61000-4-30. Nessa norma são descritos métodos de medição para os parâmetros relevantes a fim de se obter resultados confiáveis e repetíveis. A classe de desempenho A satisfaz os mais rigorosos requisitos da norma e é obrigatória apenas em aplicações para a solução de disputas específicas, segundo o módulo 5 do PRODIST. Já a classe S, embora seja menos precisa, também pode ser utilizada e é útil especialmente em levantamentos estatísticos e aplicações contratuais.

Uma vez que o AQE registra os eventos, o módulo 8 do PRODIST determina que as VTCD simultâneas em um determinado ponto de monitoração devem ser agregadas a partir dos eventos individuais observados em cada fase, o que se denomina agregação de fases. Nesse módulo, o PRODIST indica a utilização preferencial do critério de união de fases, embora permita o uso alternativo dos critérios de agregação por parâmetro críticos e agregação pela fase crítica.

O critério de união de fases considera a amplitude do evento agregado ( $V_{res}$ ) como a tensão residual da fase com maior desvio em relação a tensão de referência. Já a duração do evento agregado ( $\Delta t_e$ ) considera o tempo decorrido entre a primeira fase transpor o limite estabelecido até a última fase retornar a esse mesmo limite, considerando-se a histerese, tolerância típica de 2%, aplicada a fim de evitar que um único evento com muitas oscilações seja considerado como múltiplos eventos. A figura 2 ilustra esse tipo de agregação.

**Figura 2: Exemplo de aplicação do critério da união de fases.**



Fonte: MACEDO JR. (2020).

O PRODIST também determina que eventos consecutivos no mesmo ponto e em um intervalo de três minutos devem ser agregados compondo um único evento, o que é denominado de agregação temporal. Dessa forma, o afundamento ou elevação com menor ou maior amplitude, respectivamente, deverá representar o período agregado. Conforme ressalta MACEDO JR. (2020), as agregações temporais devem ser feitas somente após a execução das devidas agregações de fase. Além disso, o PRODIST determina que “afundamentos e elevações de tensão devem ser tratados separadamente”.

#### 4.5. FATOR DE IMPACTO

O Fator de Impacto é um indicador estabelecido no PRODIST que busca caracterizar a severidade de incidência das VTCD de forma simples. Ele leva em consideração as duas principais características das VTCD, que são a amplitude e a duração de cada evento. Além disso, sempre deve ser calculado em períodos de 30 dias consecutivos.

MACEDO JR. (2017) argumenta sobre o FI que “A adoção de um número único para representar a incidência de VTCDs teve como objetivo a simplificação da gestão por parte das distribuidoras, assim como da fiscalização por parte da ANEEL.”.

Para o cálculo do fator de impacto, inicialmente é necessário estratificar as VTCD em regiões de acordo com a tabela 2.

**Tabela 2: Estratificação das VTCD com base nos níveis de sensibilidade das diversas cargas.**

Amplitude (pu)	Duração						
	[16,67 ms - 100 ms]	(100 ms - 300 ms]	(300 ms - 600 ms]	(600 ms - 1 seg]	(1 seg - 3 seg]	(3 seg - 1 min]	(1 min - 3 min]
> 1,15	REGIÃO H			REGIÃO I			
(1,10 - 1,15]	REGIÃO H			REGIÃO I			
(0,85 - 0,90]	REGIÃO A						
(0,80 - 0,85]	REGIÃO A						
(0,70 - 0,80]	REGIÃO B		REGIÃO D		REGIÃO G		
(0,60 - 0,70]	REGIÃO B		REGIÃO D		REGIÃO F		
(0,50 - 0,60]	REGIÃO C		REGIÃO D		REGIÃO F		
(0,40 - 0,50]	REGIÃO C		REGIÃO D		REGIÃO F		
(0,30 - 0,40]	REGIÃO E			REGIÃO F			
(0,20 - 0,30]	REGIÃO E			REGIÃO F			
(0,10 - 0,20]	REGIÃO E			REGIÃO F			
≤ 0,10	REGIÃO E			REGIÃO F			

Fonte: ANEEL (2021).

Com os dados estratificados, aplica-se a equação 1.

$$FI = \frac{\sum_{i=A}^I (f_{ei} \times f_{pond_i})}{FI_{BASE}} \quad \text{equação (1)}$$

Em que:

- $f_{ei}$  é a frequência (quantidade) de eventos ocorridos em um período de 30 dias consecutivos para cada região de sensibilidade  $i = A, B, C, D, E, F, G, H$  e  $I$ ;
- $f_{pond_i}$  é o fator de ponderação para cada região de sensibilidade  $i$ , conforme a tabela 3;
- $FI_{BASE}$  é o Fator de Impacto Base, calculado a partir do somatório dos produtos dos fatores de ponderação pelas frequências máximas de ocorrência em um período de 30 dias para cada região de sensibilidade. Seu valor é fixo e depende da tensão do ponto em avaliação, conforme a tabela 3.

**Tabela 3: Fatores de Ponderação e Fator de Impacto Base de acordo com a tensão nominal ( $V_n$ ).**

Região de Sensibilidade	Fator de Ponderação ( $f_{pond}$ )	Fator de Impacto Base ( $FI_{BASE}$ )	
		$2,3 \text{ kV} \leq V_n < 69 \text{ kV}$	$69 \text{ kV} \leq V_n < 230 \text{ kV}$
A	0,00	2,13	1,42
B	0,04		
C	0,07		
D	0,15		
E	0,25		
F	0,36		
G	0,07		
H	0,02		
I	0,04		

Fonte: ANEEL (2021).

O valor de referência do Fator de Impacto é 1 pu. Isso significa que se o valor apurado for maior que 1 pu, há uma transgressão de um item do PRODIST.

Assim, é possível ter um indicador que pode ser facilmente interpretado e que demonstra, sucintamente, a condição de um determinado ponto do sistema em relação à qualidade do produto em regime transitório. Sobre esse valor de referência para o Fator de Impacto, MACEDO JR. (2017) destaca que “a busca por um valor de referência de 1,0 pu a cada 30 dias consecutivos, para um determinado barramento, garantirá um mínimo de

gestão da rede por parte das distribuidoras de forma a se promover a melhoria contínua da qualidade do produto”.

Apesar de a metodologia de cálculo do FI poder ser utilizada em instalações atendidas em baixa tensão, o PRODIST apenas estabelece valor de referência para os sistemas de distribuição em média e alta tensão.

#### **4.6. PENALIDADES ÀS CONCESSIONÁRIAS**

O PRODIST define como único indicador relacionado às VTCD o Fator de Impacto. Além de estabelecer valor de referência para esse indicador apenas para sistemas de distribuição de média e alta tensão. Assim, não há transgressão de FI nos sistemas de distribuição de baixa tensão.

Na Resolução Normativa ANEEL nº 846/2019 estão estabelecidos os critérios, parâmetros e procedimentos para penalização dos agentes do setor elétrico. Nela estão listadas as penalidades que as concessionárias de energia elétrica ficam sujeitas ao transgredir diversos indicadores. Há inúmeras penalidades previstas que vão desde a advertência, até a perda da concessão.

No PRODIST e na Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 está estabelecido que, quando um usuário faz uma reclamação associada a VTCD, a distribuidora deve realizar uma investigação para descobrir a causa. Há uma descrição dos diversos procedimentos a serem adotados na investigação. Inclusive, há a possibilidade de o consumidor solicitar à distribuidora a instalação de um equipamento de medição adequado. No fim, cabe a distribuidora elaborar um relatório com o resultado dessa investigação. Mesmo que seja constatado que o valor de referência do FI foi infringido, não é citada qualquer penalidade.

A Resolução Normativa ANEEL nº 1.000/2021 determina que as distribuidoras devem realizar uma compensação financeira para o consumidor quando não entregar tensão em regime permanente considerada adequada. Porém, não há a mesma determinação para o regime transitório.

A Resolução Normativa ANEEL nº 846/2019 diz no seu Art. 8º que “As infrações sujeitas a penalidade de multa serão divididas em cinco grupos (...)”. Incidindo sobre cada um desses grupos um percentual sobre receita operacional líquida dos últimos 12 meses. Mais adiante na mesma Resolução, o descumprimento do que está disposto no PRODIST é classificado como infração do grupo II, cujo percentual a ser aplicado é de 0,25%.

Portanto, apesar de não haver previsão direta para aplicação de penalidade nos casos que envolvem VTCD, existe uma possibilidade de aplicação de multa para os casos em que o valor de referência do Fator de Impacto for ultrapassado. Apesar disso, essa não é uma prática comum.

### **5. PESQUISA DE CAMPO**

#### **5.1. ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ESGOTO PINHEIROS**

A EEE Pinheiros tem grande relevância para o sistema de coleta e tratamento de esgotos da região metropolitana de São Paulo. Trata-se de uma elevatória de grande porte, com capacidade de bombeamento máxima de 16,0 m<sup>3</sup>/s por projeto, considerando cinco conjuntos de bombeamento mais um reserva (5+1R). A vazão média da elevatória é de 7,2 m<sup>3</sup>/s (2019, referência com base em modelo topológico).

A instalação possui um poço úmido onde há a reserva do esgoto afluente, com medição do nível. Os conjuntos de bombeamento são constituídos por motor e bomba centrífuga vertical. A sucção de cada bomba está conectada ao poço úmido de chegada do esgoto. O recalque é direcionado por tubulações para uma estrutura circular central, interligada ao interceptor, que encaminha o esgoto até a Estação de Tratamento de Esgoto de Barueri.



Dada as características de uso da água e geração de esgoto dos consumidores, o volume afluente varia durante o dia. A fim de manter o nível conforme os limites aceitáveis por projeto, há momentos com alta vazão, até 12,8 m<sup>3</sup>/s, com quatro conjuntos motobomba em operação, e até mesmo momentos com vazão nula, com todos os conjuntos desligados.

## 5.2. SISTEMA ELÉTRICO DA EEE PINHEIROS

A EEE Pinheiros possui seis conjuntos motobombas. Sendo três conjuntos fabricados pela Sulzer equipados com motores de 895 kW e três conjuntos fabricados pela Alstom equipados com motores de 810 kW. Todos os motores possuem tensão nominal de 3,3 kV. Quatro motores são acionados por *soft-starter* WEG modelo SSW 7000C e dois são acionados por conversor de frequência. Um conjunto Alstom é acionado pelo conversor WEG MVW01, enquanto um conjunto Sulzer é acionando pelo SIEMENS GH 180.

A elevatória é alimentada em 34,5 kV. Em seguida a tensão é transformada em 13,2 kV e distribuída pela instalação. Os conversores que acionam dois conjuntos de bombeamento recebem diretamente 13,2 kV. Já os *soft-starters* que acionam os demais conjuntos recebem 3,3 kV oriundos de dois transformadores ligados ao circuito de 13,2 kV.

As proteções presentes nos circuitos citados são listadas a seguir:

- 50/51 – Sobrecorrente instantânea e temporizada;
- 50/51N – Sobrecorrente instantânea e temporizada de neutro;
- 27 – Subtensão;
- 59 – Sobretensão;
- 47 – Sequência de fase de tensão;
- 67N – Sobrecorrente direcional de neutro;
- 46 – Reversão ou desbalanceamento de corrente;
- 50/62BF – Falha de disjuntor;
- 86 – Bloqueio;
- 87 – Proteção diferencial.

A parametrização dos relés existentes nesses circuitos foi revisada e aferida de forma a garantir que a proteção está atuando de maneira adequada.

Os motores, conversores e *soft-starters* possuem proteções próprias. Quando há um desligamento de um conjunto motobomba motivado por uma VTCD, normalmente são essas proteções que atuam.

## 5.3. COLETA DE DADOS

Inicialmente foi instalado um analisador de qualidade de energia fixo da KRON, modelo MULT-K NG, Classe S, na cabine de entrada de energia elétrica. Essa cabine é alimentada em 34,5 kV, tendo o analisador sido conectado a esse circuito por meio de transformadores de potencial e corrente. Posteriormente, em 02/06/2022 o analisador foi substituído pelo IMS MQ-700, Classe S. A troca se deu pelas funcionalidades presentes no novo modelo, como a elaboração de oscilografia, além de possuir um software mais completo.

São coletados semanalmente os dados de VTCD e os dados operacionais de estado dos conjuntos de bombeamentos, ou seja, a informação de quais conjuntos estão ligados e desligados. Com esses dados é possível verificar quando ocorre uma mudança de estado, isto é, quando um conjunto foi ligado ou desligado.

Essas informações são compiladas em uma planilha na qual é comparado o horário de cada conjunto de VTCD com os desligamentos das motobombas. Assim, chega-se aos eventos que levaram ao desligamento de ao menos 1 (um) conjunto motobomba. É feita uma verificação com o registro operacional, já que a equipe responsável pela operação está orientada a registrar as oscilações de energia perceptíveis que provocam

desligamento. Ressalta-se que independentemente da quantidade de conjuntos desligados por um conjunto de eventos, conta-se apenas como 1 (um) desligamento provocado por esse conjunto de VTCD.

A quantidade de eventos é somada em intervalos de 30 dias, assim como os desligamentos provocados por esses eventos.

Com os dados de VTCD registrados pelo analisador de qualidade de energia é calculado o fator de impacto para intervalos de 30 dias, conforme preconiza o PRODIST.

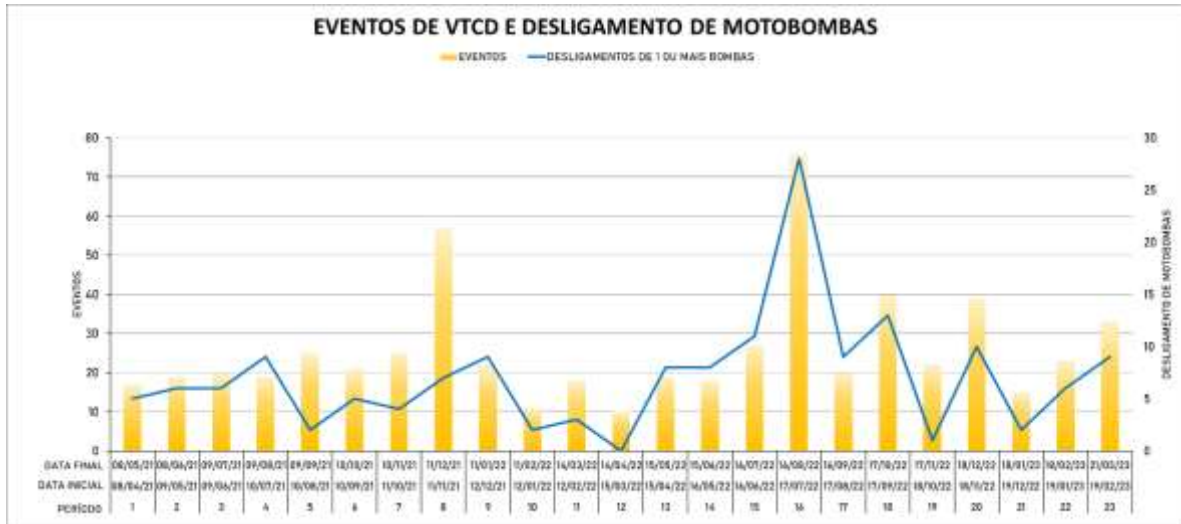
#### 5.4. RESULTADOS

Na tabela 4 é apresentado um resumo dos dados coletados entre 08/04/2021 e 21/03/2023. Os eventos já passaram pela agregação de fases e temporal e estão divididos em períodos de 30 dias consecutivos. O gráfico da figura 3 mostra para o mesmo período, a quantidade de eventos de VTCD e de desligamentos de motobombas. Já no gráfico da figura 4 é possível visualizar os valores do Fator de Impacto apurados e comparados com o valor de referência, além dos desligamentos.

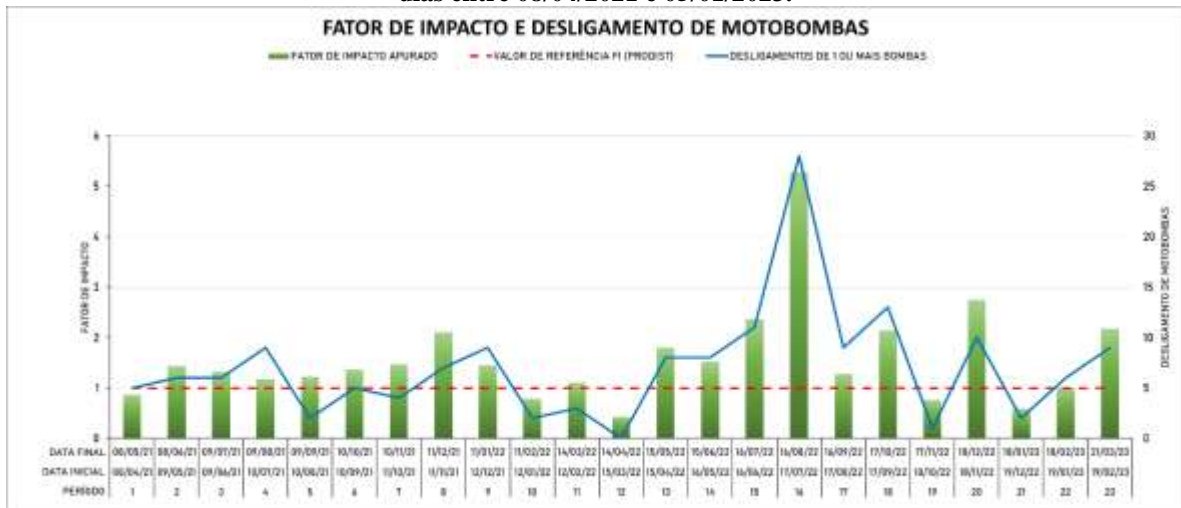
**Tabela 4: Resumo dos dados coletados entre 08/04/2021 e 21/03/2023.**

PERÍODO	DATA INICIAL	DATA FINAL	Nº DE DIAS	EVENTOS				FATOR DE IMPACTO APURADO (REFERÊNCIA PRODIST: ≤ 1)	DESLIGAMENTO DE 1 OU MAIS BOMBAS
				AFUNDAMENTOS	ELEVAÇÕES	INTERRUPÇÕES	TOTAL		
1	08/04/21	08/05/21	30	9	6	2	17	0,86	5
2	09/05/21	08/06/21	30	10	5	4	19	1,43	6
3	09/06/21	09/07/21	30	7	10	3	20	1,32	6
4	10/07/21	09/08/21	30	10	6	3	19	1,18	9
5	10/08/21	09/09/21	30	16	8	1	25	1,23	2
6	10/09/21	10/10/21	30	11	6	4	21	1,36	5
7	11/10/21	10/11/21	30	14	9	2	25	1,46	4
8	11/11/21	11/12/21	30	27	20	10	57	2,11	7
9	12/12/21	11/01/22	30	10	6	6	22	1,45	9
10	12/01/22	11/02/22	30	7	1	3	11	0,79	2
11	12/02/22	14/03/22	30	9	4	5	18	1,11	3
12	15/03/22	14/04/22	30	6	2	2	10	0,43	0
13	15/04/22	15/05/22	30	10	4	5	19	1,80	8
14	16/05/22	15/06/22	30	13	3	2	18	1,53	8
15	16/06/22	16/07/22	30	13	5	9	27	2,36	11
16	17/07/22	16/08/22	30	35	27	14	76	5,28	28
17	17/08/22	16/09/22	30	11	5	4	20	1,28	9
18	17/09/22	17/10/22	30	26	8	6	40	2,14	13
19	18/10/22	17/11/22	30	16	5	1	22	0,76	1
20	18/11/22	18/12/22	30	22	9	8	39	2,74	10
21	19/12/22	18/01/23	30	8	6	1	15	0,59	2
22	19/01/23	18/02/23	30	19	3	1	23	1,01	6
23	19/02/23	21/03/23	30	17	11	5	33	2,17	9

**Figura 3: Gráfico da quantidade de eventos e ocorrências de desligamentos a cada período de 30 dias entre 08/04/2021 e 21/03/2023.**



**Figura 4: Gráfico do Fator de Impacto apurado e de referência e de desligamentos a cada período de 30 dias entre 08/04/2021 e 05/01/2023.**



## 6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Apenas em 22% do período avaliado o Fator de Impacto fica na faixa de referência preconizada pelo PRODIST. A quantidade de desligamentos foi de, em média, 2 a cada 30 dias nessa situação. Já nos 78% em que o FI ficou acima do valor de referência, a quantidade de desligamentos foi de, em média, 8,5 a cada 30 dias. Ou seja, mais de quatro vezes o número de desligamentos. Também é possível visualizar essa correlação na figura 4, onde a quantidade de desligamentos acompanha os valores do FI. Isso mostra que o FI é uma boa métrica para qualidade de energia quando se refere a tensão de regime transitório em instalações de grande porte de saneamento.

Fica claro que a qualidade da energia fornecida não está adequada ao único indicador de qualidade do produto em regime transitório que é o Fator de Impacto.

O impacto operacional da qualidade de energia fornecida pode ser verificado pela quantidade de desligamentos mensais, que chegou a 28. Para uma instalação cujos conjuntos de bombeamentos são de grande porte e devem trabalhar de forma contínua e com a menor quantidade de partidas e paradas possíveis, esse número de desligamentos causa transtornos na operação.

A figura 3 mostra que a quantidade de VTCD em conjunto com os desligamentos também pode ser usada para verificar a qualidade de energia. Porém, essa correlação é menos precisa que a do Fator de Impacto.

### 6.1 AÇÕES MITIGADORAS

A partir do acompanhamento das VTCD, do cálculo do FI e das reuniões com a distribuidora local, foram traçadas e implementadas ações de curto, médio e longo prazo que permitirão uma melhor qualidade no fornecimento de energia e maior continuidade na prestação do serviço de afastamento e tratamento de esgoto.

As informações obtidas foram utilizadas como subsídio nas tratativas com a distribuidora a fim de se obter melhorias na qualidade do fornecimento. Para isso, foram realizadas algumas reuniões com a distribuidora para a apresentação das necessidades de melhorias e a busca de soluções conjuntas.

Dentre as soluções de curto prazo adotadas pela distribuidora, uma das primeiras ações implementadas foi a vistoria das redes aéreas de fornecimento em 34,5 kV da elevatória, identificando os pontos com necessidade de poda das árvores que estavam próximas a rede, podendo gerar as VTCD, especialmente durante tempestades.

Com relação a proteção do sistema elétrico, a instalação de novos religadores automáticos nos circuitos de alimentação da elevatória foi finalizada em julho de 2022, permitindo que defeitos na rede elétrica possam ser isolados e mitigando os impactos no fornecimento da elevatória.

Como ação de médio prazo, foi estudada e orçada uma proposta de migração do circuito de alimentação do sistema aéreo para o subterrâneo, o que diminuiria a sensibilidade do sistema as intempéries e oscilações provocadas pelo contato com vegetações. Com essa migração, a distribuidora estima uma redução de 80% no número de VTCD provocadas pela transferência não programada de circuitos.

Já no longo prazo, foi estudada a migração do fornecimento da instalação do subgrupo A3A (34,5 kV) para o A2 (88-138 kV). Essa mudança também proporcionaria uma melhor qualidade no produto, com uma redução de 90% da quantidade de VTCD, de acordo com a distribuidora. No entanto, envolve a construção de uma nova subestação de 88 kV na entrada de energia da Elevatória, além de intervenções no sistema elétrico existente da distribuidora e de um alto custo.

Por fim, vale destacar a implementação de um canal direto de comunicação com a distribuidora para o relato exclusivo das VTCD registradas na elevatória, bem como das cargas desligadas em sua decorrência. Através

dessa aproximação, a equipe de qualidade de energia da concessionária passou a indicar as causas de grande parte dos eventos observados, confirmando sua relação com as VTCD registradas.

## 7. CONCLUSÕES

A necessária expansão e universalização do saneamento e o inevitável aumento do consumo energético para alcançá-los são fatores que incentivam a busca por maior eficiência dos processos. A má qualidade de energia é um obstáculo nessa busca. Por isso, conhecer os diferentes aspectos da qualidade de energia, como medi-los e como mitigar os problemas existentes contribui para o aumento da eficiência e, em última análise, para expansão sustentável dos serviços de saneamento.

Por meio do estudo de caso apresentado foi possível confirmar a correlação entre ocorrências de desligamentos de conjuntos motobomba com eventos de VTCD na EEE Pinheiros. Foi possível comprovar que o Fator de Impacto é uma boa métrica para qualidade de energia quando se refere a tensão de regime transitório em instalações de grande porte de saneamento, uma vez que, a quantidade de desligamento acompanhou os valores apurados de FI.

Portanto, o maior entendimento sobre a qualidade de energia, em especial à qualidade do produto em regime transitório, aliado à medição, acompanhamento e análise das VTCD e do FI em instalações de grande porte de saneamento podem fornecer informações úteis sobre possíveis causas de desligamentos, além de propiciar dados que podem ser apresentados à distribuidora de energia com o objetivo de melhorar a qualidade da energia fornecida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Procedimentos de Distribuição – Módulo 8, 2021
2. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 846, de 11 de junho de 2019.
3. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 1000, de 7 de dezembro de 2021.
4. DUGAN, R. C. et al. Electrical power systems quality, 2nd edition. New York: McGraw-Hill, 2003.
5. KAGAN, N.; ROBBA, E. J.; SCHMIDT, H. P. Estimação de indicadores de qualidade da energia elétrica. São Paulo: Blucher, 2009.
6. MACEDO JR., J. R. Agregação de Eventos de Variação de Tensão de Curta Duração. Tutorial, Abril de 2020. Disponível em: <http://www.jrubens.eng.br/download/tutorialvtcd.pdf>. Acesso em: 2 abr. 2023.
7. MACEDO JR., J. R. Comentário. In: STAROSTA, J. “A revisão do Módulo 8 – critérios de avaliação das variações de tensão de curta duração (VTCDs) – Parte 3”, In: O Setor Elétrico, Fevereiro de 2017.
8. ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Procedimentos de Rede – Módulo 2, 2020
9. ONU. Agenda 2030, 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/>. Acesso em: 31 jan. 2023.