

GERENCIAMENTO DE QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

ELISA L. N. CARVALHO*, IZABELA C. F. MARIANO*, MARCOS V. COSTA*, FREDERICO O. PASSOS*,
THIAGO CLÉ*, JOSÉ M. C. FILHO*, PAULO M. SILVEIRA*, JULES R. CARNEIRO†, NATANAEL
PEREIRA†, JACQUES MIRANDA FILHO‡

* *Grupo de Estudos da Qualidade de Energia Elétrica (GQEE)*
Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI)
Itajubá, Minas Gerais, Brasil

† *EDP Brasil*
São Paulo/Espírito Santo, Brasil

‡ *Instituto Federal do Espírito Santo (IFES)*
Vitória, Espírito Santo, Brasil

Emails: elisanani@gmail.com, izabelacmariano@gmail.com, marcosvcost@gmail.com,
fopassos@gmail.com, thiagocle@gmail.com, jmariacarvalho@gmail.com,
pmsilveira@gmail.com, jules.carneiro@edpbr.com.br, natanael.pereira@edpbr.com.br,
jacques.filho@ifes.edu.br

Resumo— The increased sensitivity of equipment to electrical disturbances, the spread of nonlinear loads and the power industry deregulation are some of the factors that reinforce the importance of Power quality (PQ) to consumers and to all transmission and distribution companies. Poor power quality can lead to equipment damage, interruptions and other consequences causing monetary losses most of the time. A good monitoring system is essential to guarantee power quality. Thus, more comprehensive and more efficient monitoring systems are desired by the electric utilities. In this context, this paper presents an overview on the projects that have been developed by different utilities around the world, regarding power quality data monitoring and management. This paper also presents a brief description of a case study being developed in Brazil.

Palavras-chave— Power Quality; Power Quality Monitoring; Data Management.

Resumo— O aumento da sensibilidade dos equipamentos aos distúrbios elétricos, a disseminação de cargas não-lineares e a desregulação da indústria de energia são alguns dos fatores que reforçam a importância da qualidade de energia elétrica (QEE) tanto para os consumidores quanto para as empresas de transmissão e distribuição. A má qualidade de energia pode provocar problemas como interrupções e danos em equipamentos podendo acarretar em disputas judiciais e perdas monetárias. Um bom sistema de monitoramento é essencial para garantir a gestão da qualidade da energia. Dentro desse contexto, este artigo apresenta uma visão geral sobre os sistemas desenvolvidos por diferentes concessionárias em todo o mundo, no que se refere ao monitoramento e gerenciamento dos indicadores de qualidade de energia. O artigo também apresenta uma breve descrição de um projeto de P&D em desenvolvimento no Brasil.

Palavras-chave— Qualidade da Energia; Sistema de Gerenciamento de Qualidade da Energia; Indicadores de Qualidade.

1 Introdução

A evolução tecnológica dos equipamentos eletroeletrônicos somada à entrada de geração distribuída (principalmente fotovoltaica e eólica) são parte fundamental no processo de modernização e crescimento econômico. No entanto, essa evolução é acompanhada tanto pelo aumento da quantidade de distúrbios de qualidade na rede quanto pelo aumento da sensibilidade dos equipamentos frente a tais distúrbios (Watson, 2016). Nas indústrias, os distúrbios de qualidade de energia podem acarretar em diminuição de vida útil dos equipamentos, maior necessidade de manutenção, paradas de produção, inconformidade de processos industriais e perdas de matérias prima.

Já para as concessionárias, os distúrbios podem causar danos em equipamentos, perdas elétricas adicionais, perdas por energia não

suprida e multas por não cumprimento dos limites dos indicadores estabelecidos pelos regulamentos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Além disso, o desligamento de grandes consumidores com cargas sensíveis pode acarretar em processos judiciais e possíveis ressarcimentos, podendo prejudicar a imagem da empresa diante dos consumidores.

Considerando a necessidade de manter os indicadores de qualidade dentro dos limites estabelecidos pelo PRODIST (Procedimentos de Distribuição) o monitoramento destes torna-se um fator estratégico, uma vez que possibilita a identificação de áreas críticas para melhor direcionamento dos investimentos.

A quantidade massiva de registros de medições faz com que a gestão da qualidade de energia seja uma tarefa difícil de ser efetuada eficientemente sem o auxílio de um sistema integrado/centralizado para a gestão

dos indicadores. Esse fato tem motivado discussões envolvendo pesquisadores, engenheiros e distribuidoras no mundo inteiro quanto a necessidade do desenvolvimento de um instrumento balizador para tomada de decisão das concessionárias.

Nesse contexto, esse artigo apresenta uma revisão acerca das práticas adotadas por diferentes concessionárias no Brasil e no mundo, no que diz respeito ao monitoramento e gerenciamentos dos indicadores de QEE. O artigo também apresenta uma breve descrição de um sistema de gerenciamento de QEE em desenvolvimento no âmbito de um projeto de P&D.

2 Estado da Arte

2.1 Sistemas de gerenciamento desenvolvidos

As primeiras iniciativas de monitoramento da qualidade da energia elétrica nos Estados Unidos se deram no começo dos anos 90, com a instalação de monitores permanentes por parte da Consolidated Edison, em Nova York. Hoje, a concessionária possui um sistema de monitoramento mais avançado, que integra os dados coletados a partir de diferentes instrumentos, como monitores de QEE, relés e registradores de faltas digitais o que possibilita a realização de diferentes tipos de análises (Olechiw et al., 2014).

Lauwers et al. (2005) apresenta um sistema de monitoramento de QEE implementado na Bélgica com mais de 1500 pontos de medição. Em 2005, o banco de dados crescia aproximadamente 500 MB por semana, recebendo informações de mais de 500 medidores.

Elphick et al. (2017) apresenta um projeto de monitoramento desenvolvido e implantado na Austrália, denominado PQCA (Power Quality Compliance Audit). Trata-se um projeto de importância global por apresentar muitos pontos de monitoramento (12.000 pontos fornecidos por 12 das 16 concessionárias do país) e por monitorar diversos eventos de qualidade ao mesmo tempo. Os autores relatam que em 2014 o banco de dados possuía aproximadamente 500 GB de dados que consistiam em mais de 900 milhões de registros. A expectativa era que em 2015 o número de registros de dados excedesse a um bilhão. Os dados armazenados incluíam características do sistema monitorado, características dos medidores, fatores de escala dos transdutores, classificações físicas (urbano ou rural) e os dados de QEE registrados.

Na América do Sul, pode-se citar os projetos conduzidos no Brasil e na Colômbia. O sistema de monitoramento implementado pela Condensa, maior concessionária de Bogotá, compreende dispositivos de medição instalados em todos os barramentos com tensão superior a 1 kV, estando

em operação desde 2007. Dentre as ferramentas de análise desenvolvidas, destaca-se a apresentação dos indicadores de qualidade do produto por meio de mapas, com o auxílio do Google Maps, o que facilita a identificação de áreas críticas (Romero et al., 2011).

Em (Ahn et al., 2007) é apresentado o sistema de monitoramento utilizado pela CPFL. Além do desenvolvimento de um dispositivo capaz de apurar os indicadores de forma automática (RIQEE), também foi desenvolvido e implementado um sistema de gestão das informações de QEE, o qual foi denominado Central Inteligente de Qualidade (CIQ), promovendo melhorias significativas no acompanhamento da qualidade da energia elétrica da concessionária.

A Light já conta com um sistema de análise e gestão dos indicadores de qualidade (Gomes et al., 2018) e a Eletrobrás juntamente com a UNESP também já desenvolveu um aplicativo denominado PQGenAnalyzer no âmbito de um projeto de P&D 117/2013 da ANEEL (Melo et al., 2015).

2.2 Arquitetura

Tradicionalmente, o papel dos sistemas de monitoramento compreende coletar as informações dos instrumentos de medição e apresentá-las em um formato que permita a análise de eventos, a avaliação do desempenho do sistema e a verificação de conformidade com os padrões regulatórios. (Olechiw et al., 2014).

Com a melhoria da capacidade de armazenamento e de processamento dos dados, tem sido possível a implementação de funções cada vez mais sofisticadas. Além disso, a redução de custos dos medidores e a evolução dos meios de comunicação possibilitaram o monitoramento de áreas maiores, tornando economicamente viável a construção de sistemas mais flexíveis e confiáveis.

Com relação à arquitetura dos sistemas de monitoramento da qualidade da energia elétrica, foram identificadas três concepções distintas, sendo elas: centralizada, semi-centralizada e distribuída.

Na concepção de arquitetura centralizada todos os dados coletados são enviados para uma única central, que processa e analisa os dados. Na arquitetura semi-centralizada os dados coletados pelos monitores são enviados para uma estação de qualidade intermediária local, que possui a função de organizar os dados recebidos antes de transmiti-los a uma estação central. Já a arquitetura distribuída é baseada no conceito de multi-agentes e permite o desenvolvimento de um sistema inteligente e adaptativo para o monitoramento da qualidade da energia elétrica.

Como exemplo de arquitetura centralizada pode-se destacar o trabalho desenvolvido por

Young et al. (2000) que descreve um sistema desenvolvido para o monitoramento de diversos pontos a partir de um painel central, com base na arquitetura cliente/servidor. Uma das questões discutidas nesse trabalho é que tal arquitetura apresenta um desempenho insuficiente no caso de múltiplos acessos. Devido a isso, foi aplicada a técnica IP *multicast*, permitindo a transmissão de dados de maneira otimizada, onde os pacotes eram gerados uma única vez e entregues a um grupo de usuários finais, requerendo uma menor largura de banda.

Gomes et al. (2018) apresenta um sistema de gerenciamento com arquitetura semi-centralizada implementado na Light. O processamento dos dados de QEE é dividido entre as Estações Avançadas de Qualidade (EAQs) e a Central de Análise e Gestão da Qualidade (CAG-Q), diminuindo a suscetibilidade a falhas. Os dados coletados pelos monitores de QEE são enviados à EAQ mais próxima, que possui a função de apurar os indicadores e transmitir os resultados à CAG-Q.

Já Srivastava et al. (2005) apresenta uma arquitetura distribuída. O trabalho propõe um sistema inteligente, adaptativo e reconfigurável para o monitoramento da qualidade da energia elétrica com base no conceito de multi-agentes. Nesse tipo de arquitetura, cada elemento é capaz de tomar ações autônomas a fim de atingir os objetivos para o qual ele foi projetado. Essa concepção é proveniente do campo de inteligência artificial, onde cada agente deve ter seguintes características: reação, proatividade e capacidade de interação com outros agentes.

Segundo os autores, existem inúmeras vantagens de um sistema multi-agentes em relação a um sistema centralizado tais como menor largura de banda, menor tempo de computação, maior robustez e maior flexibilidade. No entanto, a arquitetura distribuída é a menos comum dentre as três, uma vez que muitos dos recursos propostos em tal arquitetura ainda estão em fase de desenvolvimento, e outros só seriam aplicáveis no contexto das redes inteligentes.

2.3 Soluções integradas

Com base nos trabalhos consultados, pode-se dizer que, até o momento, o estágio mais avançado dos sistemas de monitoramento da qualidade da energia elétrica construídos ao redor do mundo consiste na integração de todos os sistemas com informações pertinentes à QEE em uma única plataforma. Essa integração possibilita análises mais aprofundadas e maior flexibilidade. Dentre esses sistemas, pode-se citar: o sistema de gerenciamento de interrupções, o sistema de localização de faltas, o sistema SCADA, o sistema de proteção e o sistema de dados geográficos (GIS

- Geographic Information System).

A instalação de monitores de QEE em todos os nós da rede não é economicamente viável, devido ao alto custo envolvido. Desse modo, toda informação disponível em outros instrumentos se torna valiosa, principalmente nos pontos em que não há um monitor de QEE instalado.

Algumas distribuidoras já alcançaram um nível de integração pelo menos parcial do sistema de gerenciamento de qualidade com outros sistemas, como pode ser observado em (Music et al., 2012) e (Olechiw et al., 2014), enquanto outras indicam tal tarefa como um objetivo futuro para o desenvolvimento de seus projetos (Zhang e Li, 2009).

Music et al. (2012) analisa a possibilidade da concepção de um sistema integrado para o monitoramento da qualidade da energia elétrica, sendo conduzidos três projetos pilotos na Bósnia e Herzegovina. Tal sistema iria utilizar não só os dados registrados nos monitores de QEE, mas também os dados provenientes do sistema SCADA e dos medidores de faturamento (AMR/AMI - Automatic Meter Reading/ Advanced Metering Infrastructure). Considerando o contexto das redes inteligentes, os planos da concessionária para o futuro ainda envolvem a integração das informações advindas de *smart meters* instalados nos pontos de conexão de alguns consumidores.

2.4 Comunicação

Para a transmissão dos dados de QEE coletados em um sistema de monitoramento, podem ser utilizados diferentes canais de comunicação, o que depende, dentre outros fatores, da extensão do sistema, da localização dos pontos de monitoramento e do tipo de informação transmitida (dados brutos ou processados). Através dos canais de comunicação, pode-se realizar a leitura dos dados armazenados na memória dos medidores, assim como enviar comandos e parâmetros de configuração.

Dentre as soluções que podem ser adotadas para a transmissão dos dados de QEE, destaca-se as redes GSM (Global System for Mobile Communications) e as redes de fibra ótica. A primeira apresenta maior flexibilidade, ao permitir que os medidores sejam instalados em qualquer ponto do sistema, sendo a intensidade do sinal a única limitação. Já a segunda oferece taxas de transferência superiores, porém, são necessários maiores investimentos para implantá-la (Andrei e Popescu, 2014).

A introdução da tecnologia GPRS representou um grande avanço nas redes GSM, melhorando sua eficiência e confiabilidade. Além disso, houve também a redução de custo dos sistemas de TI, o que possibilita o monitoramento de QEE em larga escala.

Com relação aos protocolos de comunicação, também é possível a adoção de diferentes soluções. De acordo com o documento divulgado pelo CIGRE, no que se refere aos protocolos utilizados em subestações, existem três padrões principais: IEC 61850, DNP3 (Distributed Network Protocol) e IEC 60870-5-101/104.

Embora a IEC 60870-5-101/104 seja amplamente utilizada em sistemas SCADA, ela não é aplicada no download dos dados de QEE dos medidores. O protocolo DNP3, por sua vez, é relativamente fácil de ser implementado em IEDs. O fato dele oferecer estampa de tempo para os eventos registrados nos medidores é uma de suas vantagens. Além disso, a utilização eficiente dos modos de operação pode levar a requisitos de largura de banda 3 a 5 vezes menor do que o protocolo MODBUS, com o qual o DNP3 é frequentemente comparado. No entanto, o protocolo DNP3 não possui alguns dos recursos desejáveis e por essa razão, muitos dos usuários que o utilizam têm planos de migrar seus sistemas para a IEC 61850.

2.5 Banco de dados

Um banco de dados pode ser definido como uma coleção de dados armazenados de forma organizada. O modelo objeto-relacional é o tipo de banco de dados mais utilizado nas últimas décadas. Trata-se de uma representação abstrata de dados como um conjunto de entidades, com seus respectivos atributos e relacionamentos predefinidos entre si (Küçük et al., 2010).

Um sistema de gerenciamento de banco de dados relacionais (RDBMS) é o nome dado ao *software* que manipula os dados criando um conjunto de tabelas com linhas e colunas inter-relacionadas que são utilizadas para reter informações sobre as entidades representadas no banco de dados. São exemplos de RDBMS os *softwares* Oracle, MySQL, PostgreSQL e Microsoft SQL Server.

A linguagem SQL (*Structured Query Language*) é a interface primária usada para comunicação com os bancos de dados relacionais. A SQL é um padrão do American National Standards Institute (ANSI) e é aceita por todos os mecanismos conhecidos de banco de dados relacional. A SQL é utilizada para adicionar, atualizar ou excluir linhas de dados, recuperar subconjuntos de dados para processamento de transações e aplicações de análise, além de gerenciar todos os aspectos do banco de dados. A maioria dos projetos de gerenciamento de qualidade da energia elétrica levantados durante a revisão bibliográfica utilizam o *software* Microsoft SQL Server para implementação do banco de dados de seus sistemas.

2.6 Processamento de dados

A definição do tipo e quantidade de monitores, a estrutura física do sistema e os meios de comunicação e armazenamento de dados não são suficientes para o completo funcionamento de um sistema de monitoramento. Para transformar dados em informações são necessários muitos processamentos e sistemas dedicados para tal. Em geral, existem duas formas de se processar os dados para se obter informações: processamento em dispositivo central único ou solução *web*.

Como exemplo de processamento central (Stanescu et al., 2009) apresenta um sistema de gerenciamento de qualidade no qual os dados coletados são armazenados numa única base de dados e exportados no formato HTML. No nível central, o *software* de gerenciamento ION Enterprise Management analisa todos os parâmetros de QEE da rede de transmissão e apresenta as estatísticas de acordo com a norma EN 50160.

Gomez et al. (2013) aborda o desenvolvimento de serviços *web* para o processamento dos dados de qualidade da energia elétrica registrados pelos medidores. A ideia é integrar métodos e serviços comumente aplicados para analisar os distúrbios de QEE em uma arquitetura orientada a serviços, proporcionando uma plataforma flexível, capaz de lidar com uma grande quantidade de dados provenientes de diferentes subsistemas, com base na tecnologia "*Cloud Computing*".

2.7 Tratamento estatístico

O tratamento estatístico é utilizado para reduzir grandes volumes de dados coletados pelos sistemas de monitoramento à números limitados de indicadores que podem ser utilizados para retratar a qualidade da energia do sistema elétrico monitorado, tanto localmente quanto globalmente. Normalmente, os eventos de regime permanente são representados por valores registrados a cada 10 minutos. Esses valores são então integralizados e representados por índices diários, semanais e até anuais. Para fazer essa redução dos dados são utilizados métodos estatísticos, como por exemplo, valores médios, máximos, mínimos e percentis

Muitos sistemas de gerenciamento optam por utilizar o percentil 95%, que é uma solução intermediária, para determinar os indicadores de qualidade diários ou semanais. O percentil 95% pode ser entendido como o valor que não é superado durante 95% do tempo de observação.

As técnicas estatísticas variam de sistema para sistema e dependem dos distúrbios monitorados, dos objetivos do monitoramento, dos valores de referência de cada norma, da duração do monitoramento e das ferramentas de processamento disponíveis.

Gomes et al. (2018) apresentam uma metodologia de análise de indicadores de qualidade que utiliza a técnica de histograma de observações para comparar os indicadores apurados com os limites estabelecidos pelo PRODIST.

Ahn et al. (2007) apresenta algumas ferramentas inteligentes de análise de distúrbios de qualidade utilizadas pelo CIQ desenvolvida pela CPFL a fim de obter dados mais confiáveis. Uma das ferramentas utilizadas são as máscaras. Em um espaço amostral, definido pelo tamanho da janela em análise, extrai-se a média e o desvio-padrão. A composição da média mais duas vezes o desvio-padrão caracteriza a máscara. Assim essa análise é realizada amostra por amostra, com uma janela deslizante. Os pontos de medição cujo valor amostrado extrapola a máscara, automaticamente entram em “quarentena”, em estado de observação, no qual a CIQ realiza acompanhamento detalhado da evolução dos indicadores.

Um dos tópicos abordados por Elphick et al. (2017) é o interesse que muitas concessionárias australianas possuem em obter índices de qualidade globais, que abranjam todos os pontos de um sistema. A norma IEC recomenda uma aproximação que garanta 95% de conformidade em tempo e espaço. Isso significa que 95% dos locais devem estar dentro dos limites de conformidade durante 95% do tempo.

2.8 Apresentação dos resultados

A apresentação dos resultados processados pelos sistemas de gerenciamento da QEE é um grande desafio. A quantidade de informações, o período de tempo para análise, os diferentes perfis de usuários e seus respectivos interesses (cliente, gestor do sistema ou regulador do sistema) proporcionam um elevado grau de possibilidades de apresentação de resultados e soluções.

(Elphick et al., 2017) aborda os desafios encontrados na forma de apresentar os resultados, destacando que tais relatórios atingirão diferentes públicos com diferentes demandas. Alguns estão interessados em obter uma visão mais geral do assunto enquanto outros precisarão entrar em mais detalhes. Para resolver essa questão, os índices de qualidade foram classificados em primários (importantes em nível de gerenciamento, por exemplo, THD) e secundários (mais aprofundados, por exemplo, ordens harmônicas individuais).

O sistema apresentado por Lauwers et al. (2005) é capaz de criar relatórios semanais e anuais, registrar quando acontece algum evento (*incident report*) e criar os chamados NQF (fator de não qualidade) que calcula, para cada ponto, quantas VTCDs ocorreram em um ano, levando

em consideração a magnitude e a duração do evento.

Lee et al. (2002) projetou um sistema que detecta distúrbios em tempo real, apresentando funções de aviso automático. Isto é, na ocorrência de um problema, o usuário recebe um relatório contendo as informações pertinentes, via uma página na internet ou via e-mail.

Já em (Melo et al., 2015) a interface gráfica do PQGenAnalyzer permite a visualização instantânea e georeferenciada dos trechos e das barras monitoradas na rede elétrica e que se encontram em limites críticos e/ou precários, em relação aos limites estabelecidos pelo PRODIST.

Romero et al. (2011) trata o AMT (afundamento momentâneo de tensão) através do SAI (Sag Activity Indice) que facilita os relatórios e mapas. Além disso, descreve como fazer os gradientes de índices georeferenciados em mapas. Isso permite uma avaliação sistêmica das regiões no sistema elétricos em condições de vulnerabilidade ou de excelência de funcionamento.

3 Projeto Piloto em desenvolvimento no Brasil

Este artigo foi concebido no âmbito de um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) iniciado em 2017, que tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema automático para o monitoramento e gerenciamento dos indicadores de QEE a ser implantado na rede elétrica das distribuidoras EDP São Paulo e EDP Espírito Santo. A pesquisa de anterioridade demonstrou que ainda não existe no Brasil um sistema integrado de monitoramento de grande escala e com as funcionalidades de manipulação e gerenciamento de dados como o proposto neste projeto de P&D. Serão aproximadamente 120 pontos de monitoramento em subestações de distribuição e 20 pontos em consumidores e completamente flexível para ampliações. A partir de tal coleta, seguirá uma sistemática de computação dos indicadores sob a nova revisão do Módulo 8 do PRODIST, com metodologias modernas para avaliação da QEE global do sistema, bem como a detecção de áreas críticas.

Os principais objetivos desse sistema de gerenciamento são: apurar de forma automatizada os indicadores de QEE nos pontos monitorados em qualquer tempo ou intervalo desejado; classificar as barras de acordo com o seu desempenho; avaliar a tendência dos indicadores de QEE; apresentar a situação dos indicadores de QEE de forma gráfica e por meio georreferenciado e auxiliar na análise de correlação entre os diversos distúrbios e pontos monitorados do sistema.

O projeto prevê também a instalação de uma plataforma de testes no laboratório do Grupo de

Estudos de Qualidade da Energia (GQEE) na UNIFEI com o objetivo de simular distúrbios de QEE em ambiente controlado a fim de testar e validar o software de gerenciamento desenvolvido.

A Figura 1 apresenta um diagrama descritivo do projeto proposto.

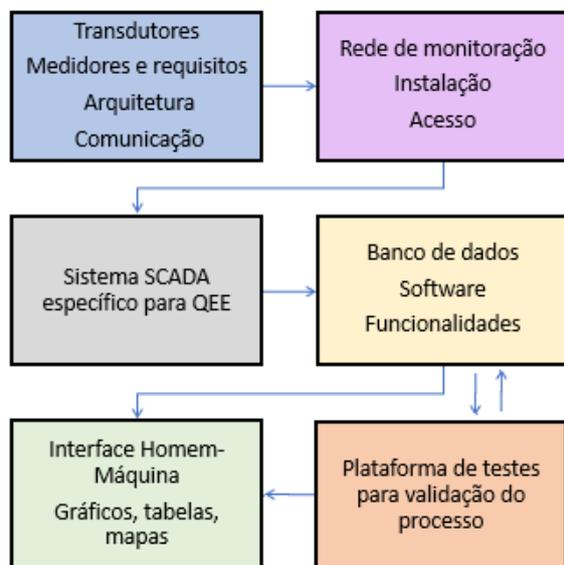


Figura 1: Diagrama descritivo do projeto.

3.1 Descrição do sistema de gerenciamento

O projeto irá aproveitar um conjunto de medidores de QEE já instalados nas empresas EDP ES e EDP SP otimizando a estrutura de coleta de informações. Além da rede de medidores de qualidade, serão também monitorados os dados de tensões em regime permanente em alguns clientes de Média (MT) a partir dos medidores de faturamento disponíveis.

O projeto contará com a instalação de um sistema SCADA específico para parâmetros de QEE em cada uma das distribuidoras. Tal sistema será responsável por captar as informações dos medidores e repassá-las à base de dados do SGQ sem impactar os outros sistemas das distribuidoras.

A coleta de dados deverá seguir uma rotina diária de consulta aos medidores, de forma a não esgotar a memória dos equipamentos e resultar na perda de registros. Os dados a serem coletados são (conforme Módulo 8 do PRODIST): tensão em regime permanente (dados registrados a cada 10 minutos); distorções harmônicas de tensão e de corrente (distorções totais e individuais até 40ª ordem registradas a cada 10 minutos); flutuações de tensão (Pst e Plt registrados a cada 10 minutos); desequilíbrios de tensão (fator de desequilíbrio registrado a cada 10 minutos); VTCDs (características dos eventos, tais como

intensidade e duração, após a realização das agregações de fase e temporal, sem a necessidade de coletar oscilografias).

Deverá ser elaborado e implantado um Banco de Dados (Oracle) para armazenar os dados das medições e os metadados (ID dos medidores, locais, datas, horários, calendário). O banco de dados seguirá a topologia cliente-servidor, permitindo diferentes níveis de acesso de usuários, como também deverá seguir o sistema de gerenciamento Oracle. Além disso, o banco de dados deverá estar preparado para receber expansões futuras da rede de monitoração, assim como ter uma política de *backup* bem definida.

O sistema de gerenciamento deverá contar com um algoritmo especializado para mineração da massa de dados, utilizando ferramentas atuais de inteligência computacional para filtragem, classificação, modos estatísticos e recursos avançados de apresentação de informações.

Para o processamento dos dados será utilizada a ferramenta Power BI da Microsoft. Trata-se de uma solução *web* para análise de dados com base na tecnologia “*Cloud Computing*”. O principal objetivo dessa ferramenta é transformar os dados em informações e apresentá-las aos usuários em formato amigável que permita realizar a avaliação do desempenho do sistema e a verificação de sua conformidade com o PRODIST.

O *software* será composto por três blocos básicos, cada um responsável por um tipo de análise:

- Gerenciador do banco de dados: Ferramenta responsável por verificar a consistência das informações e os status das medições;
- Módulo de análise pontual: Ferramenta para a análise do desempenho de um ponto de medição específico, com maior nível de detalhamento dos indicadores de qualidade do produto;
- Módulo de análise gerencial: Ferramenta que permite uma agregação espacial, ou seja, permite a análise de mais de um local simultaneamente, permitindo realizar análises de correlação e comparação dos resultados como, por exemplo, identificar os melhores e piores pontos monitorados.

Cada um dos módulos vai apresentar uma tela resumo com as principais informações referentes ao local ou conjunto de locais monitorados. As Figuras 2 e 3 apresentam um esquema das telas resumos que serão desenvolvidas.

O usuário poderá fazer análises mais detalhadas de cada distúrbio podendo gerar diversos gráficos. Os tipos de gráficos inicialmente previstos são: série temporal; série espacial; histogramas; espectro harmônico e frequência acumulada.

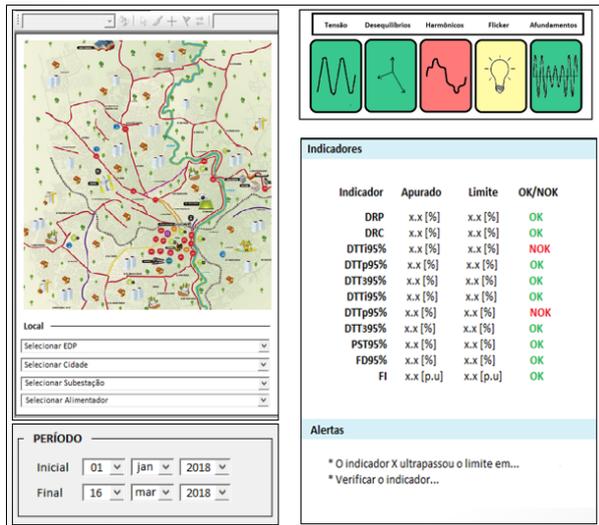


Figura 2: Módulo de análise pontual.

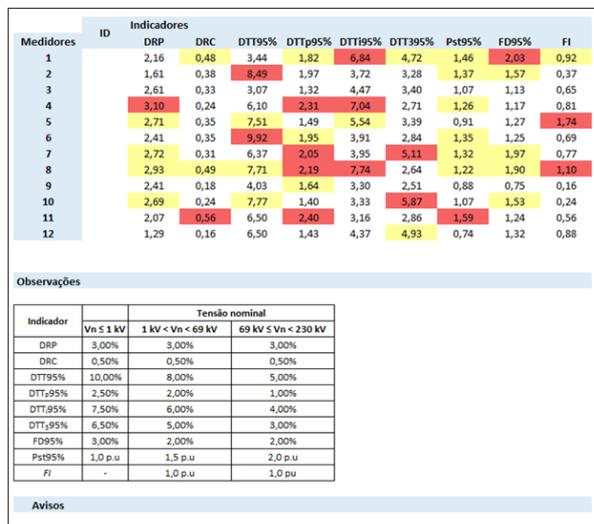


Figura 3: Módulo de análise gerencial.

A Figura 4 apresenta alguns exemplos dos gráficos que serão apresentados.

Para as VTCs, além dos relatórios supracitados serão apresentadas listas e tabelas de eventos e algumas curvas de sensibilidade como por exemplo as curvas CBEMA e ITIC, assim como gráficos 3D, como pode ser observado na Figura 5.

4 Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

O objetivo desse artigo foi apresentar o estado da arte sobre sistemas de monitoramento e gerenciamento de QEE já desenvolvidos abordando diferentes filosofias, arquiteturas, integração e comunicação. O desenvolvimento de sistemas de gerenciamento de QEE é de interesse tanto das distribuidoras de energia elétrica quanto dos consumidores. Para as

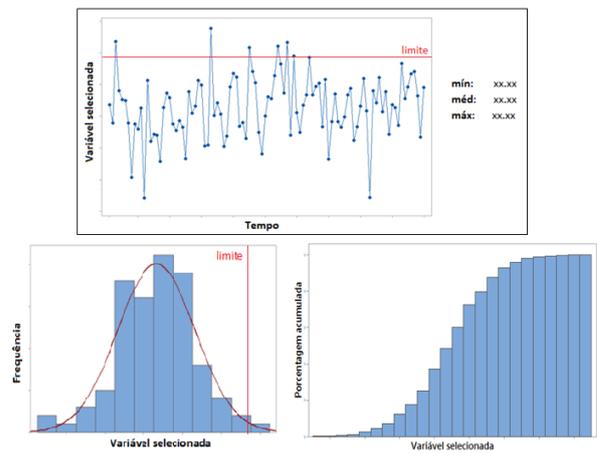


Figura 4: Série temporal, histograma e gráfico de frequência acumulada.

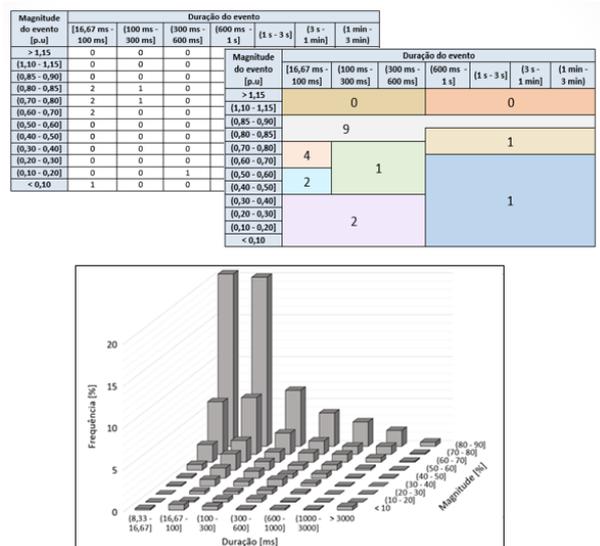


Figura 5: Tabelas de eventos e gráfico 3D.

distribuidoras, a implantação desses sistemas auxilia no planejamento de modo que os índices de QEE não ultrapassem os limites estabelecidos pelas normas e procedimentos regulatórios. Sendo assim, as distribuidoras podem melhorar sua imagem, reduzir as penalidades e aumentar a produtividade. Por outro lado, os clientes, especialmente aqueles com cargas especiais e sensíveis, também ganharão, considerando o menor número de paradas de produção, bem como outros problemas de qualidade de energia. Nesse sentido, esse artigo apresenta uma proposta de um Sistema Inteligente de Gerenciamento de Qualidade de Energia que possa trazer ganhos consideráveis para todos os agentes envolvidos. O estudo bibliográfico e a definição da arquitetura do sistema de monitoramento foram concluídos e no momento a especificação funcional dos algoritmos inteligentes para gerenciamento da QEE do sistema estão em desenvolvimento. Espera-se que, em um curto espaço de tempo esta equipe

de autores possa apresentar os resultados deste trabalho promissor.

Agradecimentos

Agradecemos as distribuidoras EDP SP e EDP ES pela oportunidade de desenvolver esse trabalho de P&D e a SINAPSIS Energia que será responsável pelo desenvolvimento do software.

Referências

- Ahn, S., Brittes, J., Dias, D., Deckmann, S., Camargo, J., Nunes, E., Pereira, V., Zimath, S., Oliveira, J. e Seidel, C. (2007). Central inteligente de qualidade de energia da cpfl, *VII CBQEE-Santos, SP*.
- Andrei, C. e Popescu, M. O. (2014). System used for power quality monitoring in a distribution grid, *Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2014 IEEE 16th International Conference on*, IEEE, pp. 357–359.
- Elphick, S., Ciufu, P., Drury, G., Smith, V., Perera, S. e Gosbell, V. (2017). Large scale proactive power-quality monitoring: An example from australia, *IEEE Transactions on Power Delivery* **32**(2): 881–889.
- Gomes, R, P, N., E e F, Camargo e J, F. e. M. P. e. V. e. H. (2018). Central de análise e gestão da qualidade da energia elétrica da light, *XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (SENDI)*.
- Gomez, F. J., Melendez, J., Herraiz, S., Gonzalez, E., Lopez-Perea, M. e Oconnor, C. M. (2013). Web services framework for power quality monitoring, *Smart Objects, Systems and Technologies (SmartSysTech), Proceedings of 2013 European Conference on*, VDE, pp. 1–7.
- Küçük, D., Inan, T., Salor, Ö., Demirci, T., Akkaya, Y., Buhan, S., Boyrazoğlu, B., Ünsar, Ö., Altıntaş, E., Haliloğlu, B. et al. (2010). An extensible database architecture for nationwide power quality monitoring, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems* **32**(6): 559–570.
- Lauwers, P., Pirenne, C., Sommereyns, P., Vancoetsem, W., De Jaeger, E. e De Witte, M. (2005). Power quality monitoring in belgian distribution networks, *Electricity Distribution, 2005. CIRED 2005. 18th International Conference and Exhibition on*, IET, pp. 1–6.
- Lee, R. P., Lai, L. e Tse, N. (2002). A web-based multi-channel power quality monitoring system for a large network.
- Melo, G. d. A., de Oliveira, R. A., De Oliveira, L. C., de Souza, J. B., Canesin, C. A., da Silva, R. J. e Gouveia, B. d. S. (2015). System of analysis and management of power quality indices in distribution networks, *Innovative Smart Grid Technologies Latin America (ISGT LATAM), 2015 IEEE PES, IEEE*, pp. 219–224.
- Music, M., Bosovic, A., Hasanspahic, N., Avdakovic, S. e Becirovic, E. (2012). Integrated power quality monitoring systems in smart distribution grids, *Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON), 2012 IEEE International*, IEEE, pp. 501–506.
- Olechiw, W. J., Sabin, D. D., Dimitriu, C., Doherty, F. e McLeod, G. (2014). Power quality monitoring systems more information than just waveforms and events, *Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 2014 IEEE 16th International Conference on*, IEEE, pp. 512–516.
- Romero, M., Pardo, R., Gallego, L. e Pavas, A. (2011). Web based management system for power quality assessment and detection of critical zones, *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe), 2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on*, IEEE, pp. 1–8.
- Srivastava, S., Suryanarayanan, S., Ribeiro, P., Cartes, D. e Stcurer, M. (2005). A conceptual power quality monitoring technique based on multi-agent systems, *Power Symposium, 2005. Proceedings of the 37th Annual North American*, IEEE, pp. 358–363.
- Stanescu, C., Gal, S., Pispiris, S. e Postolache, P. (2009). The power quality monitoring systems in romanian power grid, *PowerTech, 2009 IEEE Bucharest*, IEEE, pp. 1–5.
- Watson, N. R. (2016). Power-quality management in new zealand, *IEEE Transactions on Power Delivery* **31**(5): 1963–1970.
- Young, C.-P., Juang, W.-L. e Devaney, M. J. (2000). Real-time intranet-controlled virtual instrument multiple-circuit power monitoring, *IEEE Transactions on Instrumentation and measurement* **49**(3): 579–584.
- Zhang, M. e Li, K. (2009). A power quality monitoring system over the internet, *Information Science and Engineering (ICISE), 2009 1st International Conference on*, IEEE, pp. 1577–1580.