

Sistema de Telemetria para Combate a Perdas Comerciais

Rômulo da Rosa Corrêa¹, Guilherme Serafina², Javier Aprea³

IMS Power Quality, Av Bernardino Silveira Pastoriza, 720, Sarandi - Porto Alegre, RS

{romulo.correa¹, guilherme.serafina², javier.aprea³}@ims.ind.br

Resumo—As perdas comerciais causam grande impacto no faturamento das distribuidoras de energia elétrica e impõem desafios quanto à identificação das suas origens e ao respectivo combate de consumidores irregulares. Com o objetivo de reduzir estas perdas e os custos operacionais associados (OPEX), este trabalho apresenta o *PowerMANAGER web* - um sistema de telemetria para balanço energético. Esse sistema é do tipo *Software as a Service (SaaS)* e é constituído de um aplicativo *web*, banco de dados, serviço de coleta de informações, e analisadores *PowerNET P-600 G4 Balance* com modem 3G. A aplicação do sistema foi testada em laboratório com analisadores emulando uma topologia de rede elétrica e o *software* coletando os dados e calculando o balanço energético.

Palavras-chave—Perdas, sistema, telemetria, *web*, analisadores.

I. INTRODUÇÃO

A evolução do sistema elétrico brasileiro ocorrida nos últimos vinte anos, tem ampliado o acesso à eletricidade. As concessionárias, nesse período, têm realizado grandes investimentos para melhorar a qualidade, eficiência e rentabilidade de suas redes. Contudo, um problema recorrente não apenas no cenário nacional é o das perdas, com ênfase nas perdas não-técnicas, [1] e [2].

Em [3], perdas não-técnicas (PNT) são definidas como a diferença entre perdas globais e perdas técnicas. Sendo perdas globais, a diferença entre a energia injetada e a fornecida pela rede. E perdas técnicas, as perdas causadas pelas propriedades físicas dos componentes de um sistema elétrico. As definições dos tipos de energia e seus indicadores seguem as normas dispostas em [4].

As causas mais comuns desse tipo de PNT são 1) sistema de medição incompleto, obsoleto ou sem calibração, 2) cadastro de consumidores incompleto, 3) erro no faturamento, 4) furto de energia e 5) fraude no medidor. Segundo [5], o prejuízo no Brasil com PNT atingiu o patamar de R\$ 8,1 bilhões ao ano que, em termos de energia, corresponde a mais de 27 TWh.

Os principais esforços para reduzir a incidência das perdas comerciais estão relacionados a políticas efetivas de identificação, combate e prevenção. O trabalho de identificação de clientes com consumo irregular ou segmentos da rede que possuam irregularidades ainda é uma atividade muito custosa e sem uma metodologia padrão que proporcione alto nível de acerto. O combate às irregularidades depende do trabalho de identificação anterior e geralmente prevêem [6]: adequação de equipamentos, regularização de possíveis focos de ligações clandestinas, ações de eficiência energética visando

redução das contas de energia e logística de inspeção. Finalmente, as atividades de prevenção compreendem políticas de conscientização da população, melhorias tecnológicas para dificultar a conexão direta de ramais de ligação irregulares à rede, medição remota e outras técnicas que priorizem a regularização de ligações clandestinas.

Convergindo os esforços mencionados em uma plataforma única, este trabalho apresenta o *PowerMANAGER web* - um sistema de combate a perdas comerciais que ajuda a identificar segmentos de uma rede com irregularidades. Esse sistema utiliza telemetria para obtenção de dados dos analisadores e armazena as medições em um banco de dados. Além disso, o sistema contempla um aplicativo *web* com o qual é possível visualizar a energia medida em todos pontos de medição cadastrados, bem como os resultados de balanço energético da rede na qual os pontos estão conectados. Dessa maneira, é possível identificar os segmentos da rede que possuem irregularidades de forma remota e automatizada. O *PowerMANAGER web* será implantado na área de concessão de uma concessionária de energia [7].

Os objetivos desse sistema são: 1) diminuição da área de inspeção, 2) identificação de irregularidades com maior índice de acerto, 3) redução dos custos operacionais de inspeção e da logística para instalação dos equipamentos, e 4) redução das perdas não-técnicas.

As principais contribuições dos autores são 1) implementação de um sistema de gerenciamento remoto, 2) automação da leitura das medições de energia em diversos pontos de uma rede de distribuição com analisadores *PowerNET P-600*, 3) automação do cálculo de perdas não-técnicas para aqueles pontos, identificando ramos com perdas acima do estimado e 4) integração do sistema com outros *softwares* da família *PowerMANAGER* e equipamentos da família *PowerNET*.

Neste artigo são apresentadas as principais características do sistema desenvolvido, bem como suas aplicações. Inicialmente, a seção II ilustra a motivação para o desenvolvimento deste trabalho. Então, a seção III apresenta os trabalhos relacionados presentes na literatura. A seguir, os detalhes da arquitetura do sistema desenvolvido são demonstrados na seção IV. Já a seção V expõe uma discussão sobre a aplicação de balanço energético e os desafios relacionados. Na seção VI são apresentados os resultados dos testes realizados. Finalmente, a seção VII conclui este trabalho e apresenta perspectivas de pesquisas futuras.

II. MOTIVAÇÃO

Como citado em [8], os métodos convencionais têm se mostrado ineficazes na luta contra o furto de energia, o que demonstra a necessidade de desenvolvimento de novos métodos de ação contra essa prática crescente no território nacional. Além disso, um sistema que ajude o combate de perdas comerciais resulta, diretamente, na redução de gastos das concessionárias. Com a redução de perdas comerciais, a energia entregue aos consumidores pode ter mais qualidade e custar menos, visto que a rede tende a sofrer menos sobrecargas e desligamentos.

Outro ponto importante é que a implantação de um sistema de combate a perdas é muito mais rápida e menos custosa que novas ofertas de energia, dadas a partir da construção de novas usinas geradoras, ou ainda do que a implantação de linhas de transmissão e distribuição. Portanto, mais energia pode ser ofertada ao mercado e por um custo menor, visto que essa energia já é distribuída, porém parcialmente consumida de forma irregular.

III. TRABALHOS RELACIONADOS

Em [9] são apresentados projetos desenvolvidos entre companhias de energia elétrica e centros de pesquisa. A Companhia de Eletricidade do Estado do Rio de Janeiro (CERJ) conjuntamente com o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), desenvolveu um sistema para auxiliar especialistas na seleção de unidades consumidoras para serem inspecionadas. Esse sistema utiliza análise de padrões de fraudes com técnicas de redes neurais e fornece ferramentas para análise de consumo, gerenciamento de inspeções e acompanhamento de fraude.

Em [10], a Empresa Energética de Mato Grosso do Sul S/A (ENERSUL) e a Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS) implementaram o Sistema de Identificação de Fraudes e Erros de Medição (SIFEM). O SIFEM utiliza conjuntos incertos, redes neurais e árvores de decisão para identificar padrões de consumo irregular em uma base de dados. O uso experimental resultou em taxas de acerto de 34%.

Já em [11], são apresentados outros trabalhos mais recentes e também desenvolvidos entre companhias de energia elétrica e centros de pesquisa. A Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) em parceria com a Universidade Federal Fluminense (UFF) e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) desenvolveram um sistema que utiliza redes neurais para identificar perdas comerciais. Nesse sistema são utilizadas as curvas de cargas estimadas para cada grupo de consumidores de um transformador para estimar a energia consumida e então se compara com a energia efetivamente medida no local.

Outros trabalhos apresentados em [9], [10] e [11] também estão relacionados ao combate de perdas comerciais. Contudo, esses trabalhos propõem soluções apenas com equipamentos eletrônicos e, por isso, não estão no escopo deste estudo.

IV. SISTEMA

Nesta seção é apresentada uma visão geral do sistema, a sua arquitetura e a descrição de seus elementos (IV-A), módulos presentes no *software PowerMANAGER web* (IV-B) e a metodologia de comunicação do sistema (IV-C).

A. Arquitetura

A Fig. 1 representa os elementos de mais alto nível da arquitetura desenvolvida: aplicativo web, serviço de integração, banco de dados, coletor de dados e equipamentos de medição. Essa arquitetura foi implementada a partir do conhecimento e experiência em telemetria, supervisão e parametrização de analisadores da IMS Power Quality, vislumbrando atender requisitos de escalabilidade e disponibilidade necessários para os mais diversos perfis de usuários. Os elementos dispostos na Fig. 1 e suas funções específicas são descritas em detalhes a seguir.

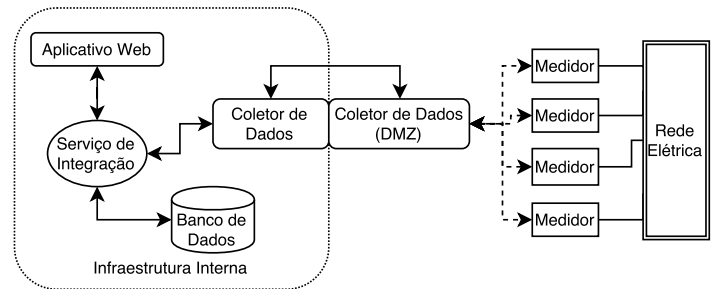


Fig. 1. Arquitetura do sistema de telemetria desenvolvido.

O aplicativo web é um *software* acessado a partir de um navegador. Nele é possível gerenciar remotamente equipamentos de medição, enviar comandos, ler registros de dados, avaliar o consumo de energia e analisar outras grandezas elétricas dos locais em que os medidores estão instalados. Além disso, o módulo de balanço energético permite gerenciar pontos de medição e calcular as diferenças de energia dentro de uma hierarquia na rede elétrica em que os pontos de medição estão conectados. Esse *software* possui uma interface com o serviço de integração para se comunicar de forma segura com o banco de dados e com os equipamentos.

O serviço de integração é a inteligência central do sistema. Ele gerencia a comunicação entre o banco dados, o aplicativo *web* e o coletor de dados. Além disso, é nele que são executados os algoritmos mais custosos, os quais utilizam uma grande quantidade de informação lida do banco de dados.

O banco de dados é responsável por armazenar todas as informações de medições, parametrizações e *status* de equipamentos e pontos de medição.

O coletor de dados é um serviço que realiza a comunicação com os medidores cadastrados no sistema. Através dele, é possível parametrizar equipamentos, gerenciar estado e ler medições. Os analisadores *PowerNET P-600* respondem requisições do coletor a partir de mensagens *Modbus*. Como a infraestrutura de rede de muitas companhias é restrita, esse serviço é dividido em duas partes: a primeira é instalada na parte interna da infraestrutura de rede, e a segunda fica instalada na zona desmilitarizada, ou *demilitarized zone* (DMZ), possuindo portas TCP abertas para comunicação via Internet.

Os equipamentos de medição são analisadores *PowerNET P-600 G4 Balance* e possuem modem 3G. Eles realizam medições das mais variadas grandezas elétricas no local em

que estão instalados e respondem mensagens através da rede celular GPRS/3G.

B. Módulos do PowerMANAGER web

O *PowerMANAGER web* possui módulos com diferentes funcionalidades, tais como gerenciamento remoto, combate a perdas, eficiência energética, georreferenciamento, entre outros. Os módulos de 1) Resumo de Medidores e 2) Balanço Energético são relevantes ao escopo deste trabalho e são descritos nesta subseção.

1) *Resumo de medidores*: neste módulo é possível adicionar novos medidores, verificar o estado daqueles em campo, visualizar quantos registros associados existem e suas respectivas medições, configurar os equipamentos e realizar medições em tempo real. É importante salientar que todas essas ações são feitas remotamente, isto é, sem a necessidade de estar fisicamente próximo ao equipamento, visto que cada medidor possui um modem 3G para telemetria.

2) *Balanço energético*: este módulo realiza as atividades pertinentes ao balanço de energia. Dentre suas funcionalidades estão: 1) o resumo do último cálculo de balanço energético para cada balanço cadastrado, 2) o histórico dos balanços calculados, sendo possível agregar as perdas de energia para diferentes períodos de tempo, 3) o histórico das medições por ponto de medição, ilustrando a hierarquia da rede elétrica e realçando aqueles ramos com diferenças de energia acima do estimado (Fig. 2), 4) interoperabilidade com *softwares* de *Meter Data Management* e (MDM) *Meter Data Collector* (MDC) através da importação e exportação de dados, 5) cálculo do balanço energético para um conjunto de pontos em um período de tempo e 6) adicionar novos pontos de medição e os associar em um ou mais balanços energéticos.

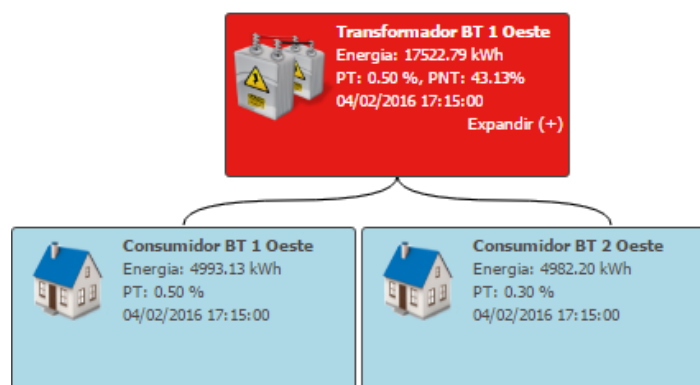


Fig. 2. *PowerMANAGER web* - Agregação de energia dos pontos de medição no balanço energético.

C. Comunicação

Há dois componentes de comunicação no sistema: a comunicação que é realizada pelo serviço de integração, entre o aplicativo web, o coletor de dados e o banco de dados, e a comunicação entre os equipamentos e o coletor de dados. Esses dois componentes possuem dinâmicas diferentes e usam tecnologias distintas.

1) *Serviço de integração*: para a implementação desse componente é utilizado o ambiente WCF (*Windows Communication Foundation*) para a criação de um serviço de comunicação. Esse serviço possui duas interfaces: uma para utilização pelo aplicativo web e outra pelo coletor de dados. Esta segunda interface utiliza um canal de comunicação duplex, o que significa, no contexto de WCF, que o cliente, no caso o coletor de dados, pode ser acionado assincronamente pelo serviço através de uma *callback*. Isso é importante porque permite que, a partir do aplicativo web, seja possível executar tarefas nos equipamentos, tais como mudanças nas suas configurações, apagar a memória, alteração da frequência da coleta de dados, etc.

2) *Comunicação com os equipamentos*: os equipamentos trabalham com o protocolo *Modbus RTU*, que é um protocolo serial com modelo mestre/escravo. Para possibilitar a comunicação com equipamentos em campo, eles possuem um modem 3G. Dessa forma, os pacotes *Modbus* são encapsulados em uma conexão TCP entre o equipamento e o coletor de dados. Quando o equipamento é ligado, o modem estabelece a conexão e passa a aguardar os pacotes. Isso significa que é necessário, no lado do coletor, que haja portas TCP abertas para aceitar essas conexões. Porém, isso representaria um problema de segurança, já que seria necessário abrir essas portas no *firewall* da infraestrutura de rede do sistema. Portanto, para contornar essa situação, o módulo de comunicação TCP do coletor de dados foi separado do coletor propriamente dito. Esse módulo fica em uma DMZ e trabalha com tantas portas TCP quantas forem necessárias para dar conta das conexões com os equipamentos, mais uma que serve para o coletor solicitar o envio e recebimento dos pacotes *Modbus*.

V. BALANÇO ENERGÉTICO

O balanço energético é um módulo do aplicativo *web* que permite realizar o cálculo do balanço de energia entre diversos pontos de medição cadastrados. O objetivo dessa aplicação é identificar segmentos da rede que apresentem níveis de perdas não-técnicas relevantes. Com isso, pode-se diminuir a abrangência de áreas de inspeção, reduzir custos operacionais e aumentar o nível de acerto da identificação de consumidores irregulares. O balanço de energia entre elementos da própria rede também tem potencial para identificar componentes defeituosos que possam estar causando perdas técnicas acima do esperado.

O grande diferencial da aplicação desenvolvida quando comparada a outros trabalhos presentes na literatura é a proposta prática. Através do uso dos analisadores *PowerNET P-600* em pontos estratégicos, é possível medir a energia injetada em segmentos da rede e a energia consumida pelos componentes do segmento. Com esses valores permite-se identificar, de forma automatizada, ramos da rede (alimentadores, ramais, circuitos, consumidores etc) que contenham diferenças de energia acima do estimado, também considerando um percentual de perdas técnicas.

A estimação das perdas técnicas pode ser obtida durante campanhas de medição. As concessionárias podem analisar as curvas de carga dos elementos de suas redes através de

ferramentas específicas e padronizar as perdas técnicas de cada tipo de elemento.

A. Metodologia de Implementação

Alguns passos devem ser seguidos para o cálculo de balanço ser representativo. Assim, apresentando com maior nível de confiabilidade os dados registrados. Esses passos são 1) planejamento de ações, 2) cadastro e comissionamento de equipamentos, 3) instalação de equipamentos, 4) início das medições e 5) execução do balanço. Nesta subseção a metodologia empregada para a aplicação de balanço energético é discutida.

1) *Planejamento de ações*: previamente a qualquer atividade de campo, é necessário que se realize um estudo de viabilidade e um planejamento sobre a área de inspeção, detectando pontos estratégicos da rede e suas características elétricas. A Fig. 3 ilustra uma topologia de rede elétrica em que alguns pontos estratégicos são escolhidos. Esses pontos devem ter suas perdas técnicas conhecidas. Além disso, é observado que a utilização de mais pontos para medição resulta em um cálculo mais acurado, visto que são utilizados mais dados de entrada.

Na rede da Fig. 3, o Transformador MT (média tensão) alimenta o segmento da rede em média tensão até o Transformador BT (baixa tensão). Entre esses dois pontos é possível medir a energia injetada na rede (ponto A) e fornecida aos consumidores primários (pontos B, C e D). O Transformador BT alimenta o segmento da rede em baixa tensão até os consumidores secundários. Assim, é possível medir a energia injetada em baixa tensão (ponto E) e a energia fornecida nos ramais de ligação dos consumidores secundários (pontos G, H, I, J, K e L). Além disso, é possível medir a energia passante em um segmento, como por exemplo medir a energia entre os pontos E e F. Dessa forma, pode-se identificar a existência de consumidores não cadastrados que estão consumindo energia irregularmente naquele segmento.

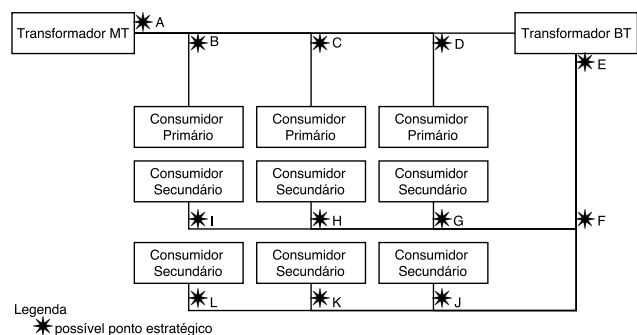


Fig. 3. Pontos estratégicos para medição em uma rede de distribuição.

2) *Cadastro e comissionamento de equipamentos*: após a análise dos pontos estratégicos, os equipamentos e os pontos de medição são cadastrados na base de dados do *PowerMANAGER web*. Os equipamentos devem ser parametrizados uniformemente, utilizando um perfil de balanço energético que contém os parâmetros pré-configurados e devem ter seus relógios sincronizados. A comunicação e o funcionamento geral dos equipamentos devem ser testados ainda nesta etapa.

3) *Instalação de equipamentos*: as equipes técnicas devem ir a campo instalar os analisadores *PowerNET P-600* na rede elétrica, respeitando o esquema dos pontos de medição planejado e cadastrado no sistema. A instalação dos equipamentos envolve toda segurança operacional padrão utilizada pelas concessionárias.

4) *Início das medições*: depois de instalar os analisadores nos pontos escolhidos é possível visualizar o estado de cada equipamento conectado. Através do *PowerMANAGER web* é realizado o gerenciamento remoto dos equipamentos. Dentro do módulo de Balanço Energético o usuário dispara uma mensagem de *broadcast* para iniciar o registro das medições para todos os analisadores.

Posteriormente, na página de Resumo de Medidores, deve ser verificado se todos equipamentos estão registrando. Essa verificação é necessária devido a possíveis problemas de comunicação (rede celular instável ou com má qualidade no local em que o equipamento está instalado).

O tempo de medição varia de acordo com a política da concessionária. Os analisadores podem realizar medições permanentemente e seu correto funcionamento pode ser verificado através da telemetria. Além de medições de energia, o operador também pode analisar outras condições da rede (níveis de tensão, fator de potência, entre outros).

5) *Realização do cálculo*: o cálculo de balanço pode ser feito a qualquer momento em que o operador desejar. Contudo, é necessário que se tenha medições suficientes para obter um resultado de maior representatividade. O cálculo é realizado para um intervalo de tempo selecionado pelo operador para um conjunto de pontos de medição que representa um segmento da rede (por exemplo, utilizar o segmento representado pelos pontos A, B, C, D e E da Fig. 3).

B. Metodologia do Cálculo de Balanço Energético

A metodologia empregada no cálculo de balanço energético prevê três etapas: 1) validação dos dados de entrada, 2) execução do cálculo e 3) armazenamento no banco de dados.

1) *Validação de dados*: as medições utilizadas na balanço são válidas quando todos os pontos de medição do conjunto possuem uma medição em cada instante de tempo T dentro do intervalo pesquisado. O balanço utilizará como primeiro registro, o primeiro instante T em que todos equipamentos possuam uma medição. Analogamente para o último registro, o último instante T' em que exista medições para todos equipamentos.

A Fig. 4 ilustra a utilização de medições que se iniciaram em diferentes instantes de tempo para cada equipamento. O medidor Equip 1 inicia seus registros no instante T_0 e finaliza no instante T_M , já os medidores Equip 2 e Equip 3 iniciam seus registros no instante T_1 e finalizam em T_{M+1} , e os medidores Equip 4 a Equip N iniciam em T_2 e terminam em T_{M+2} . Portanto, os registros utilizados no balanço energético serão aqueles entre T_2 e T_M .

2) *Cálculo*: a partir da validação dos dados de entrada, é iniciado o algoritmo do cálculo de balanço energético. Esse cálculo contabiliza a diferença entre a energia alimentada em um segmento e a soma das energias fornecidas a todos pontos intermediários desse segmento.

	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	T ₇	...	T _M	T _{M+1}	T _{M+2}
Equip 1	•	•	•	•	•	•	•	•		•		
Equip 2			•	•	•	•	•	•		•	•	
Equip 3			•	•	•	•	•	•		•	•	
Equip 4			•	•	•	•	•	•		•	•	•
...												
Equip N			•	•	•	•	•	•		•	•	•
Balanco			•	•	•	•	•	•		•		

Fig. 4. Validação dos dados de medição para o balanço energético.

O balanço de energia dos pontos do segmento de média tensão representado na Fig. 3 resulta nas PNT dadas por (1).

$$E_{pnt_{MT}} = E_A - \sum_{i=B}^E (E_i + E_i \cdot PPT_i) \quad (1)$$

Onde $E_{pnt_{MT}}$: perdas não-técnicas no segmento de média tensão, E_i : energia medida no ponto i e PPT_i : percentual de perdas técnicas no ponto i .

O cálculo para o segmento da rede em baixa tensão na Fig. 3 é análogo aquele dado em (1). Assim, as perdas não-técnicas para aquele segmento em baixa tensão são dadas por (2).

$$E_{pnt_{BT}} = E_E - \sum_{i=G}^L (E_i + E_i \cdot PPT_i) \quad (2)$$

Onde $E_{pnt_{BT}}$: perdas não-técnicas no segmento de baixa tensão, E_i : energia medida no ponto i e PPT_i : percentual de perdas técnicas no ponto i .

3) *Armazenamento dos dados*: um conjunto de entradas de balanço é calculado para cada instante de tempo T , como na Fig. 4. Esse conjunto de entradas é armazenado no banco de dados do sistema e cada registro contém: 1) instante de tempo da medição, 2) energia injetada medida - considerando as perdas técnicas e 3) soma das energias fornecidas ao longo do segmento - também considerando as perdas técnicas. Esses dados podem ser acessados através do aplicativo web. E com eles é possível analisar o histórico das perdas de energia em cada segmento. Assim, avaliando a efetividade das políticas de regularização da rede ao longo do tempo a partir da identificação das irregularidades.

VI. TESTES

Esta seção ilustra o ensaio realizado em laboratório para verificar a aplicação. Para este ensaio uma fonte controlada foi utilizada para gerar os sinais de tensão e corrente com um pequeno ruído gaussiano. O ensaio consiste em: 1) instalação dos medidores em uma topologia emulada, 2) registro das medições de cada ponto, 3) coleta das medições pelo *Power-MANAGER web*, 4) cálculo do balanço energético pelo *Power-MANAGER web* e 5) visualização dos resultados.

O ensaio é dividido em dois períodos t e t' . No período t é considerado que existe um pequeno percentual de perdas de origem desconhecida que são computadas como perdas não-técnicas. Já no período t' , é emulada a entrada de um consumidor irregular na rede, o qual causa um grande percentual

de perdas não-técnicas. Dentro dessas perdas do período t' também estão computadas as perdas técnicas causadas pela irregularidade.

A. Topologia

Uma topologia de rede foi criada para emular uma hierarquia de rede elétrica (Fig. 5). Essa topologia contém um "transformador" que alimenta três "consumidores" de baixa tensão. Os medidores *PowerNET P-600* foram posicionados na saída do transformador (ponto a) e na entrada dos consumidores (pontos b, c e d). Neste ensaio a carga de cada consumidor foi mantida constante com fator de potência unitário.

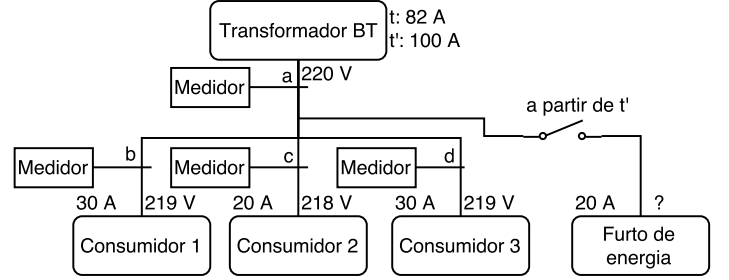


Fig. 5. Topologia de rede elétrica criada para teste.

O transformador alimenta a rede com 220 V. Para cada consumidor, foi modelado um percentual de perdas técnicas do ramal de ligação que reflete em quedas de tensão. Nos consumidores 1 e 3 foram consideradas perdas técnicas de 30 W (0,454 %), assim estes consumidores recebem tensão de 219 V. Já no consumidor 2 foram consideradas perdas técnicas de 40 W (0,909 %), recebendo então 218 V. As perdas técnicas totalizam 100 W.

Os consumos de corrente foram configurados para 30 A no consumidor 1, 20 A no consumidor 2, e 30 A no consumidor 3. Assim, as potências instantâneas são 6570 W, 4360 W e 6570 W para os consumidores 1, 2 e 3, respectivamente. No período t , a corrente consumida, porém não faturada nessa rede é de 2 A e no período t' essa corrente é de 20 A. Dessa forma, a potência instantânea não faturada no período t é de 440 W e no período t' é de 4500 W.

Finalmente, a corrente total fornecida para a rede é de 82 A no período t e de 100 A no período t' . Assim, a potência instantânea no ponto de medição a, no período t é de 18040 W e no período t' é de 22000 W.

As perdas não-técnicas são calculadas pelo balanço entre energia faturada e perdas técnicas (V-B). Dessa forma, todas as potências demonstradas no ensaio são integradas no tempo através de (3) e o seu balanço é dado de forma análoga ao método de (2).

$$E = P \cdot \Delta t \quad (3)$$

Onde E : energia, P : potência instantânea e Δt : intervalo de tempo.

B. Cálculos e Medições

Com a topologia da Fig. 5 implementada, foram feitos 353 registros com intervalo de 5 minutos, totalizando 1765 minutos (1 dia, 5 horas e 25 minutos) de medição. Dessas medições, 87 registros estão no período t e 266 registros no período t' .

A Tab. I compara as energias calculadas (E_t e $E_{t'}$), a partir dos valores descritos em VI-A, e medidas (E_{t_m} e $E_{t'_m}$) pelos analisadores *PowerNET P-600* nos pontos a, b, c e d da topologia, para os períodos t e t' .

TABELA I. COMPARATIVO DE ENERGIA CALCULADA E MEDIDA

Ponto	E_t [kWh]	$E_{t'}$ [kWh]	E_{t_m} [kWh]	$E_{t'_m}$ [kWh]
a	392,28	1463,00	393,32	1466,59
b	142,90	436,91	143,24	437,98
c	94,83	289,94	95,06	290,65
d	142,90	436,91	143,24	437,98

Na Tab. II são comparados os balanços energéticos dos valores de energia calculados (Cálculo manual) e dos medidos (Cálculo SW). É possível observar que os resultados encontrados pelo *software*, a partir das medições feitas pelo equipamentos, estão dentro do esperado. Entre os resultados com valores de energia calculados e medidos, foram encontradas diferenças de 0,02 % do total de PNT no período t e 0,001 % no período t' .

TABELA II. COMPARATIVO DE BALANÇO ENERGÉTICO

Período	Cálculo Manual		Cálculo SW	
	[kWh]	[%]	[kWh]	[%]
t	9,50	2,42	9,61	2,44
t'	292,65	20,00	293,36	20,00

O *PowerMANAGER web* permite ao operador a identificação das irregularidades através da visualização dos resultados de PNT calculadas no ponto que alimenta o segmento. Na Fig. 6 se observa as perdas não-técnicas que o *software* calculou para o período t e na Fig. 7 para o período t' , com o respectivo aumento das PNT. A partir dessa informação, o operador pode disparar a logística de inspeção necessária para investigar o local daquele segmento da rede e assim identificar os respectivos consumidores irregulares.



Fig. 6. *PowerMANAGER web* - Agregação da energia medida no ponto a durante o período t .



Fig. 7. *PowerMANAGER web* - Agregação da energia medida no ponto a durante o período t' .

VII. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou o desenvolvimento do *PowerMANAGER web*, um sistema de gerenciamento remoto e combate a perdas não-técnicas. O sistema facilita a identificação de segmentos de uma rede elétrica com irregularidades através do cálculo de balanço energético dos pontos de medição.

Os próximos desafios a serem resolvidos envolvem a inserção de novas variáveis no cálculo de balanço. Tais variáveis representam outras condições importantes para aumentar a confiabilidade do cálculo, como análise de perdas técnicas e uso das medições de faturamento mensalmente realizadas pelas concessionárias.

Finalmente, o uso de uma ferramenta como o *PowerMANAGER web* pode ajudar a identificar e reduzir as perdas não-técnicas de redes elétricas. Dessa forma, a qualidade da energia entregue ao cliente aumenta, o custo da distribuição diminui e, consequentemente, as concessionárias aumentam sua receita.

REFERÊNCIAS

- [1] R. K. S. R. Katalay, "India fights to keep the lights on," *Bloomberg Businessweek*, 2011. [Online]. Available: <http://www.businessweek.com/printer/articles/205322-india-fights-to-keep-the-lights-on>
- [2] J. F. G. C. W. L. K. P. Kadurek, J. Blom, "Theft detection and smart metering practices and expectations in the netherlands," in *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conf. Europe*, 2010.
- [3] C. A. de Sousa Penin, "Combate, prevenção e otimização de perdas comerciais de energia elétrica," Ph.D. dissertation, Universidade de São Paulo, 2008.
- [4] *PRODIST - Módulo 7: Cálculo de Perdas na Distribuição*, Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, 2015.
- [5] ANEEL, "Consumo irregular de energia gera prejuízo de R\$ 8,1 bilhões ao ano," 2011.
- [6] C. C. O. Ramos, "Caracterização de perdas comerciais em sistemas de energia através de técnicas inteligentes," Ph.D. dissertation, Universidade de São Paulo, 2014.
- [7] M. Medeiros, "Ceee investe em tecnologia para reduzir perdas no sistema," *CEEE*, 2017. [Online]. Available: <http://www.cee.com.br/pportal/cee/Component/Controller.aspx?CC=89505>
- [8] G. A. L. N. Ricardo Vidinich, "Pesquisa e desenvolvimento contra o furto de energia," in *Revista Pesquisa e Desenvolvimento*. ANEEL, 2009, p. 15.
- [9] ANEEL, *Revista Pesquisa e Desenvolvimento*. ANEEL, 2006.
- [10] —, *Revista Pesquisa e Desenvolvimento*. ANEEL, 2009.
- [11] —, *Revista Pesquisa e Desenvolvimento*. ANEEL, 2011.