

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



CATEGORIA 3

IMPLEMENTAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAMENTO DE ENERGIA

NO METRÔ-SP

AUTORES

Alécio Hirano

Pós-graduado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) em Tecnologia Metroferroviária – PECE (2010). Graduação em Engenharia Elétrica (2007), com ênfase em Eletrônica, pela Universidade São Judas Tadeu (USJT). Formação como Técnico Eletrotécnico (1986) pela Escola Técnica Federal de São Paulo (ETFSP). Atualmente é Analista Especializado no Departamento de Engenharia de Manutenção na Companhia do Metropolitano de São Paulo - Metrô SP. Possui experiência na área de Engenharia Elétrica com os seguintes temas: Qualidade de Energia Elétrica (QEE) e Eletrônica de Potência - SEP até 138kV. Na área de Humanas, elaborou trabalho, premiado no 25º Congresso da ABRAMAN, sobre Gestão do Conhecimento na Manutenção do Metrô-SP. Na POLI-USP desenvolveu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) com o título: Manutenção Centrada em Confiabilidade: Aplicação para Melhoria de Disponibilidade do Sistema de Ventilação Principal das estações do Metrô de São Paulo. <https://www.linkedin.com/in/alécio-h-8a59a535>.

Ruan Streitenberger Guedes

É graduado como Engenheiro Eletricista pela Faculdade Cidade de São Paulo em 2013. Em 2020, conclui Pós-Graduação em Eficiência Energética pelo SENAI-SP, com módulo de extensão na RWTH, em Aachen na Alemanha. Trabalhou nas áreas de manutenção de material rodante e projetos na Companhia do Metropolitano de São Paulo, onde, atualmente, é Engenheiro Especializado na Engenharia de Manutenção. Cursa, no momento presente, mestrado em Engenharia Elétrica na área de concentração de Sistemas de Potência na Escola Politécnica da USP- EPUSP.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

INTRODUÇÃO

O objetivo do trabalho é o desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto, em tempo real, do consumo e **Qualidade de Energia Elétrica (QEE)** dos principais pontos consumidores do sistema metroviário.

Com esse intuito de eficiência energética, atrelada a inovação tecnológica e modernização do seu controle, o METRÔ-SP optou pela implantação e substituição de seus dispositivos de medição eletromecânicos (*figura 1*), existentes em todas as estações/subestações nas Linhas 1-Azul, 2-Verde e 3-Vermelha, por **multimedidores de qualidade de energia** (exemplos na *figura 2*) a serem instalados em pontos consumidores relevantes compreendendo todas as subestações de energia do sistema. É também escopo do projeto a aquisição de um software dedicado (detalhe na *figura 3*) para supervisão, controle e gerenciamento de energia.



Figura 1 – Exemplo, para efeito didático, de um medidor de consumo de energia elétrica analógico antigo (eletromecânico)

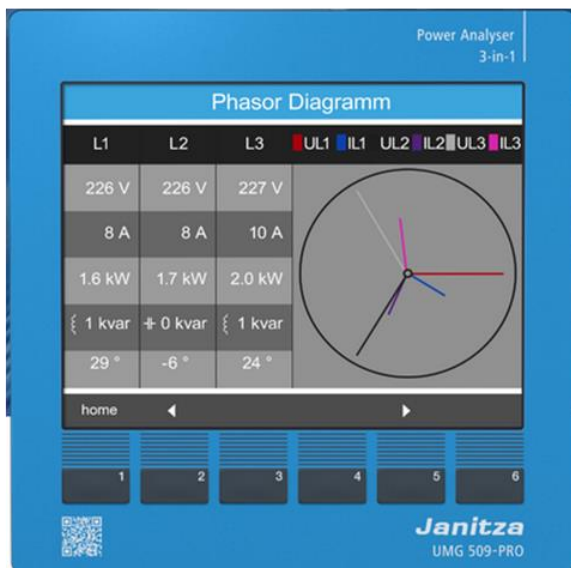
29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



Fonte:
<https://cckautomacao.com.br/produto/multimedidor-de-grandezas-eletricas-e-harmonicadas-com-ethernet-cck7550s>



Fonte:
<https://new.siemens.com/br/pt/produtos/energia/produtos-baixa-tensao/multimedidores.html>



Fonte:
<https://www.janitza.com/umg-509-pro.html>

Figura 2 – Exemplos de Multimedidores de Energia Elétrica de mercado (tecnologia atual, análise de qualidade de energia - QEE - comunicação remota ethernet etc.)

Após essa pequena introdução ao projeto, a pergunta que se segue agora é:

- Qual é a importância de se monitorar a energia elétrica de um sistema complexo como o METRÔ-SP?

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

De uma forma resumida, pode-se relacionar:

- *Entender o perfil de consumo dos sistemas e equipamentos;*
- *Realizar o Gerenciamento de demanda;*
- *Estabelecer métricas em ações de eficiência energética;*
- *Estabelecer o SGE - Sistema de Gestão de Energia (ISO 50001);*
- *Subsidiar o Comitê de Energia do METRÔ-SP na gestão da energia da Cia.*

Em outras palavras, descobrir como a energia elétrica é consumida nos diversos sistemas e subsistemas do METRÔ-SP!



Figura 3 – Exemplos de software de supervisão, controle e gerenciamento de energia elétrica

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



DIAGNÓSTICO

SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO ELÉTRICA DO METRÔ-SP

Contextualizar a configuração e funcionamento do sistema de alimentação elétrica no METRÔ-SP é muito importante para a compreensão do escopo de abrangência do sistema de monitoramento de energia em implantação.

O METRÔ-SP é um consumidor do grupo A2 (88kV) e compra energia no mercado livre de energia, captando energia da Concessionária no nível de tensão de 88kV em corrente alternada através das subestações Primárias (*Figura*).

Na subestação **Primária**, o nível de tensão é rebaixado para o patamar de 22kV para distribuição em uma rede interna de Média Tensão que conecta e interliga diversas estações/subestações elétricas ao longo da rede metroviária.

Nas estações do METRÔ-SP, a tensão de 22kV é recebida nos cubículos de média tensão e então convertida para utilização em duas diferentes aplicações: alimentar os trens por meio da subestação **Retificadora** e alimentar equipamentos auxiliares existentes nas estações, como escadas rolantes, elevadores, bombas, ventilação, por meio da subestação auxiliar.

Na subestação **Retificadora** a tensão de 22kV é rebaixada por um transformador de duplo enrolamento secundário para o nível de tensão em torno de 640Vca, onde passa por um grupo retificador composto por diodos de silício e é então retificada para o nível de tensão de 750V em corrente contínua, para aí então ser distribuída pelos alimentadores visando energizar os trens.

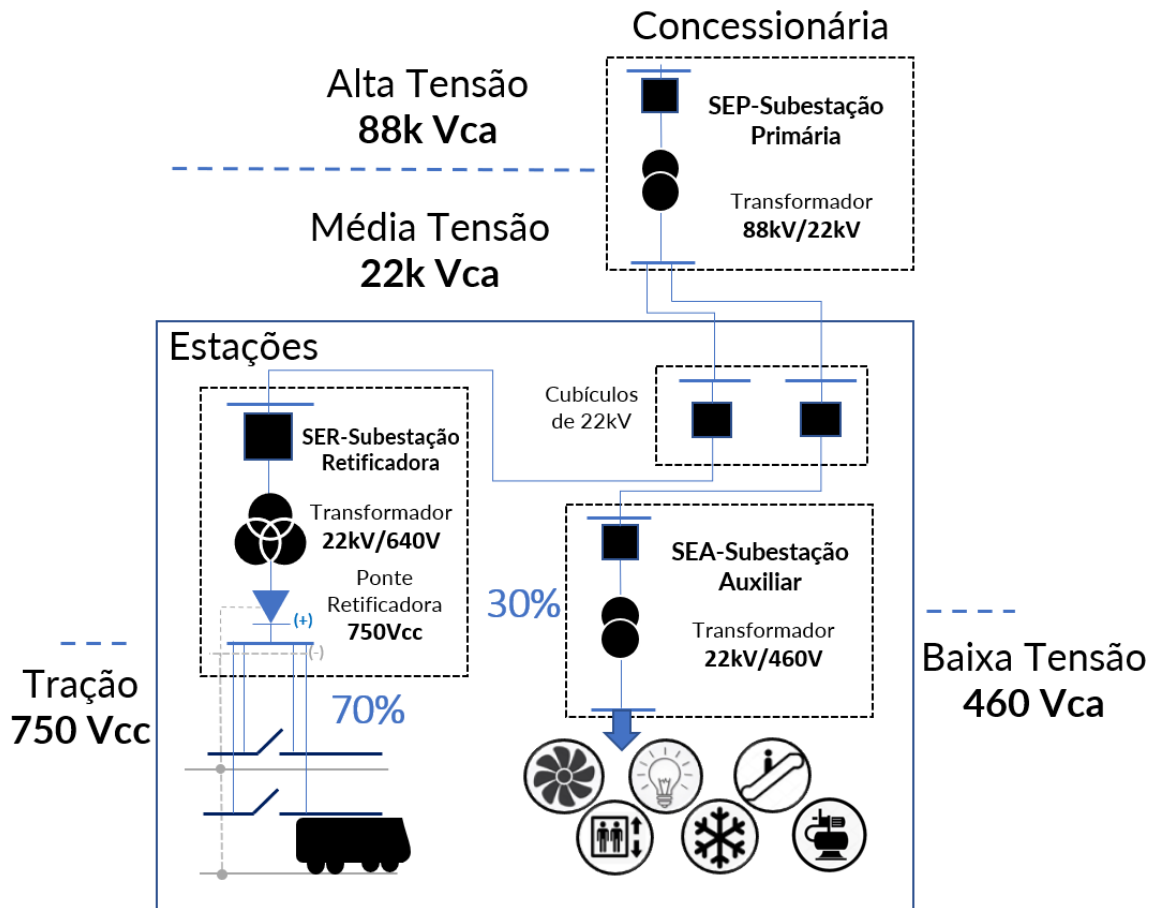


Figura 4 – Sistema de alimentação elétrica Metrô-SP

Já na subestação **Auxiliar**, a tensão de 22kV é rebaixada por um transformador para o nível de tensão 460Vca. Diversas cargas como ventilação, bombas, escadas rolantes já são alimentadas diretamente nesse nível de tensão. Ainda na subestação auxiliar, a tensão de 460Vca é rebaixada para 220/127Vca para alimentação do sistema de iluminação e diversas outras cargas existentes nas estações.

O METRÔ-SP é um grande consumidor de energia elétrica e de acordo com o relatório integrado da Companhia publicado no ano de 2022, o sistema metroviário consumiu um

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



total de 423 GWh, que em termos de custo representou para a empresa o valor de R\$ 196,4 milhões (Metrô-SP, 2022).

SITUAÇÃO ATUAL E OBJETIVO DO MONITORAMENTO DE ENERGIA

A *figura 5* detalha o estado da arte atual (esquerda), quando se vê os medidores antigos eletromecânicos, especificamente de uma Subestação Retificadora BBC (Brow Boveri) da Linha 1-Azul e, na imagem central e à direita, uma modernização pontual com multimedidores que analisam qualidade de energia elétrica (QEE), com comunicação para gerenciamento remoto.

O acompanhamento mensal do consumo de energia de cada uma das subestações de energia do METRÔ-SP é realizado, atualmente, através de leitura manual periódica, em cada uma das subestações de energia das linhas 1, 2 e 3, efetuada pelos funcionários operativos da estação. Isso traz, não só o inconveniente de estar sempre deslocando um funcionário para efetuar as medições de todos os pontos necessários, mas também imprecisão nas medições e quantificações do consumo de energia elétrica dentro de cada instalação.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

**Estado atual do Monitoramento
de Energia no Metrô-SP
(Medição Mensal Manual)**



Objetivo

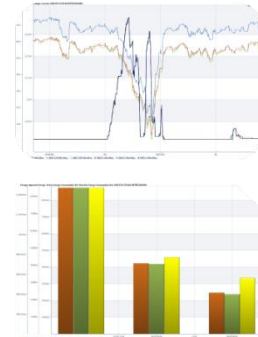


Figura 5 – Projeto de Monitoramento de Energia e os ganhos junto ao Sistema Monitoramento de Ativos (SMA) interligando os Multimeditores de Energia

Com objetivo de trazer inovação tecnológica e modernizar a métrica de energia praticada, o METRÔ-SP optou pela implantação e substituição de seus dispositivos de medição eletromecânicos, existentes nas Linhas 1, 2 e 3, por *multimeditores de qualidade de energia* a serem instalados em pontos consumidores relevantes compreendendo todas as subestações de energia do sistema.

Assim, coletados todas estas informações serão enviadas remotamente para o Sistema de Monitoramento de Ativos (SMA) do METRÔ-SP (*figuras 6 e 7*) com intuito de gestão de energia global e centralizada, utilizando-se dos programas (ferramentas) Zabbix e Grafana.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



Figura 6 – Sala do SMA (Sistema de Monitoramento de Ativos) da Diretoria de Operações: DO/GMT

O sistema de monitoramento de energia é uma iniciativa integrada ao Sistema de Monitoramento de Ativos (SMA), pertencente ao **Plano de Negócios do Metrô 2022-2026** da Companhia do Metropolitano de São Paulo (*figura 8*), que uma vez implementado, possibilitará a análise e gestão remota deste insumo tão importante para o funcionamento

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

do sistema metroferroviário.

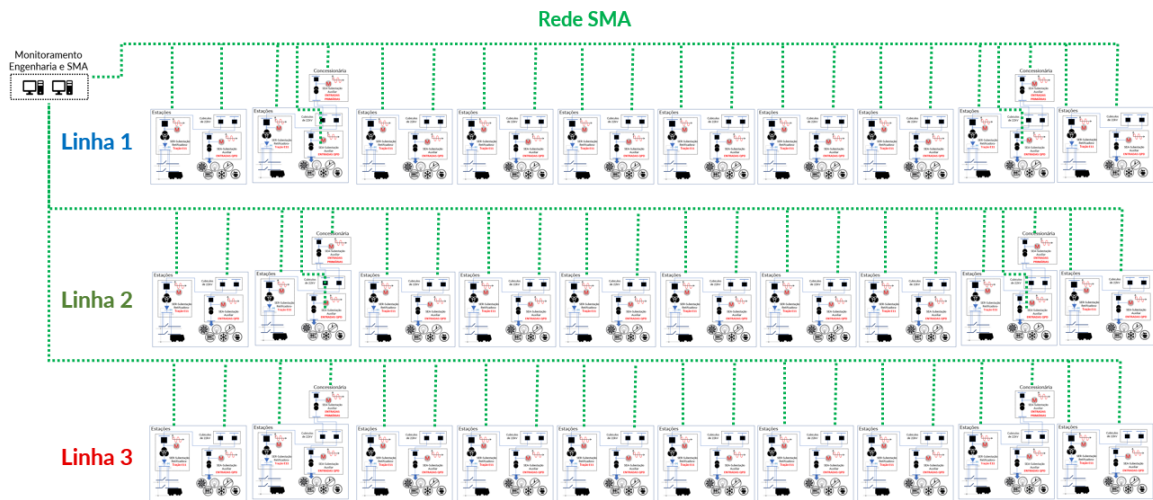


Figura 7 – Interligação dos Multimeditores de Energia na Rede do SMA nas 3 linhas

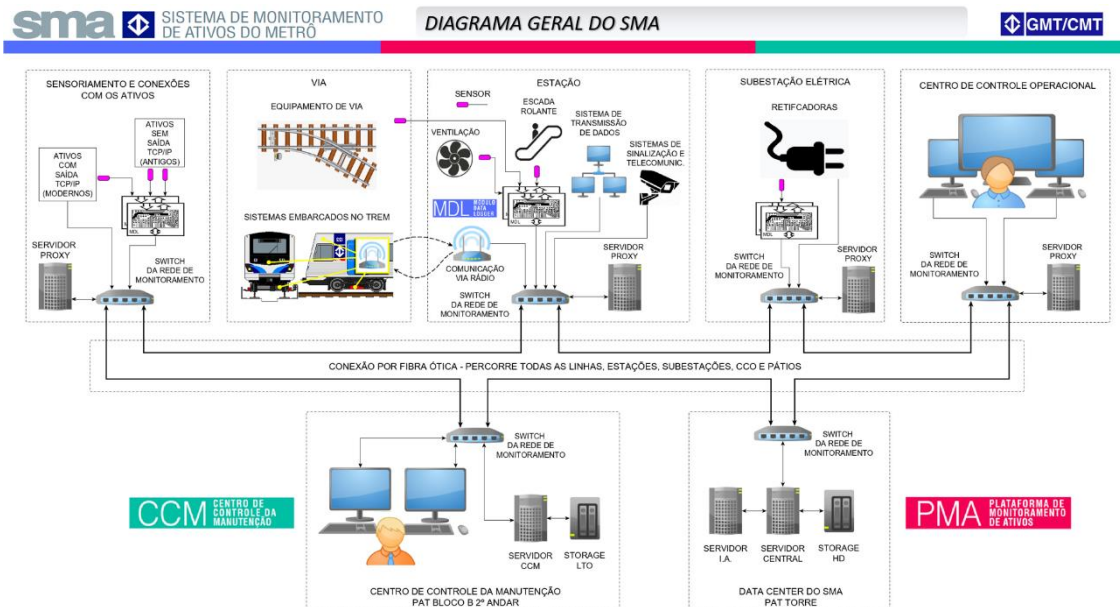


Figura 8 – Plano de Negócios do Metrô 2022-2026, com destaque ao SMA, dentro do tópico de Inovação Tecnológica

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA EM IMPLANTAÇÃO

O fornecimento contempla todos os pontos necessários do sistema de distribuição de energia das Linhas 1- Azul, 2-Verde e 3-Vermelha, conforme as localidades (estações e subestações de energia) ao longo das linhas do METRÔ-SP. De modo geral, o sistema deve permitir o monitoramento das entradas de alimentação em três (3) principais subestações como ilustrado na *Figura* :

- Entradas de energia em 88kVca (Concessionária de energia elétrica), localizadas nas subestações **PRIMÁRIAS** do METRÔ-SP;
- Entradas de energia em 22kVca, para alimentação das subestações **RETIFICADORAS** do sistema de tração dos trens;
- Entradas de energia no quadro principal de distribuição em 460Vca (QPD/H01) nas subestações **AUXILIARES** localizadas nas estações e pátios de manutenção;

Os tipos e quantitativos consolidados (**237 multimedidores**) compreende as subestações elétricas das linhas 1, 2 e 3.

O escopo está distribuído conforme segue:

- Multimetro TIPO I - **16 dispositivos** (subestações PRIMÁRIAS)
- Multimetro TIPO II – **86 dispositivos** (subestações RETIFICADORAS)
- Multimetro TIPO III – **135 dispositivos** (subestações AUXILIARES)

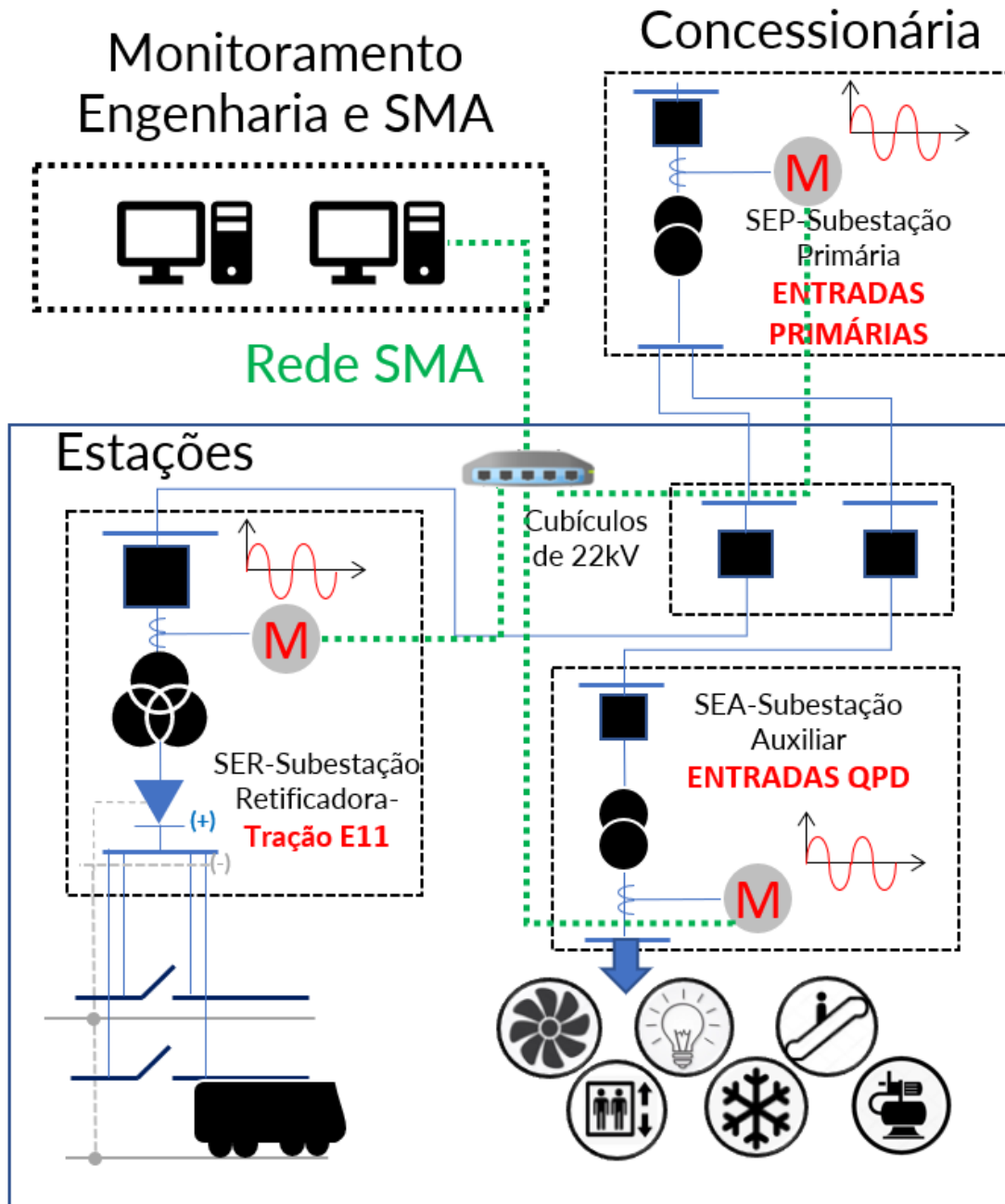


Figura 9 – Sistema de monitoramento de energia - Multimeditores nas Subestações Primárias, Retificadoras e Auxiliares das Linhas 1, 2 e 3

A informação “TIPO” refere-se aos multimeditores de acordo com a aplicação e os requisitos técnicos mínimos estabelecidos na especificação de equipamentos:

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



- ✓ **TIPO I:** multimedidores trifásicos de qualidade de energia elétrica, com alta taxa de amostragem e análise de parâmetros de qualidade de energia, para entrada do sistema de alimentação elétrica e medição da concessionária;
- ✓ **TIPO II:** multimedidores trifásicos de qualidade de energia elétrica, com média taxa de amostragem e análise de parâmetros de qualidade de energia;
- ✓ **TIPO III:** multimedidores trifásicos de energia elétrica, com menor taxa de amostragem, direcionados para medição de consumo e demanda com menor foco na qualidade de energia;

Os serviços ainda incluem a revisão (AS BUILT) da documentação técnica, esquemas elétricos de todas as subestações **PRIMÁRIAS, RETIFICADORAS e AUXILIARES**, das Linhas 1, 2 e 3, bem como o fornecimento das mídias (DWG e PDF), além de treinamento do corpo técnico do METRÔ-SP com relação às funcionalidades dos novos multimedidores, assim como a parametrização e programação da *rede ETHERNET* para todos os dispositivos.

A *figura 10* mostra a vista frontal dos painéis da Subestação Auxiliar da Linha 3-Vermelha (três exemplos do escopo a ser contratado), e os medidores antigos (detalhe em vermelho), que deverão ser substituídos por multimedidores modernos. Já a *figura 11* detalha esse mesmo escopo, agora, das Subestações Primárias.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

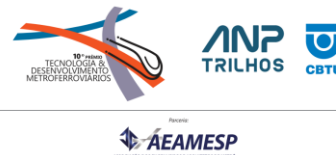


Figura 10 - Subestação Auxiliar Linha 3: Padrões H, I e J, todos da empresa Brow Boveri (BBC)



Figura 11 - Painéis de Subestações Primárias das Linhas 1, 2 e 3, respectivamente

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



ANÁLISE DOS RESULTADOS

As especificações elaboradas de todo o projeto, que abrangem a substituição dos Multimeditores e aquisição de um software de Manutenção e Gerenciamento do Sistema de Monitoramento de Energia estão resumidas na *Tabela 1*, onde são demonstradas as principais funcionalidades e capacidades dos dispositivos em implantação.

Tabela 1 – Resumo das Especificações dos Multimeditores e Software Supervisório para Gestão de Energia Elétrica

EQUIPAMENTOS	FUNCIONALIDADES
Multimedidor de Energia Elétrica TIPO 1	<ul style="list-style-type: none">• Amostragem de 512 amostras por ciclo;• Qualidade de energia e medições TRUE RMS;• Harmônicas de tensão e corrente (mínimo até 63ª ordem segundo IEC 61000-4-30 Classe A) e conforme 61000-4-7;• Display gráfico para possibilitar visualização e análise de parâmetros locais;• Comunicação Ethernet;• Memória de massa;
Multimedidor de Energia Elétrica TIPO 2	<ul style="list-style-type: none">• Amostragem de 280 amostras por ciclo;• Qualidade de energia e medições TRUE RMS;• Harmônicas de tensão e corrente (mínimo até 65ª ordem segundo IEC 61000-4-30 Classe S) e conforme 61000-4-7;

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



	<ul style="list-style-type: none"> • Display gráfico para possibilitar visualização e análise de parâmetros locais; • Comunicação Ethernet • Memória de massa;
Multimedidor de Energia Elétrica TIPO 3	<ul style="list-style-type: none"> • Amostragem de 400 amostras por ciclo; • Qualidade de energia e medições TRUE RMS; • Harmônicas de tensão e corrente (mínimo até 40ª ordem); • Display gráfico para possibilitar visualização e análise de parâmetros locais; • Comunicação Ethernet; • Memória de massa;
Software de Manutenção e Gerenciamento do Sistema de Monitoramento de Energia	<ul style="list-style-type: none"> • Software de análise e gerenciamento simples e modular para o sistema de monitoramento de energia; • Interface desktop e web para configurações de equipamentos e projetos e facilitar o monitoramento a partir de qualquer lugar com acesso à internet, com geração de relatórios de qualidade de energia e relatórios gerenciais de consumo e demanda de energia.

MEDIDORES ANTIGOS A SEREM MODERNIZADOS

A seguir, as figuras detalham uma instalação antiga típica (12), e já modernizada, desejável, (13 e 14), de um medidor de energia eletromecânico.



Figura 12 – Detalhes do frontal de uma cela/compartimento de painel elétrico, com medidor de energia eletromecânico antigo

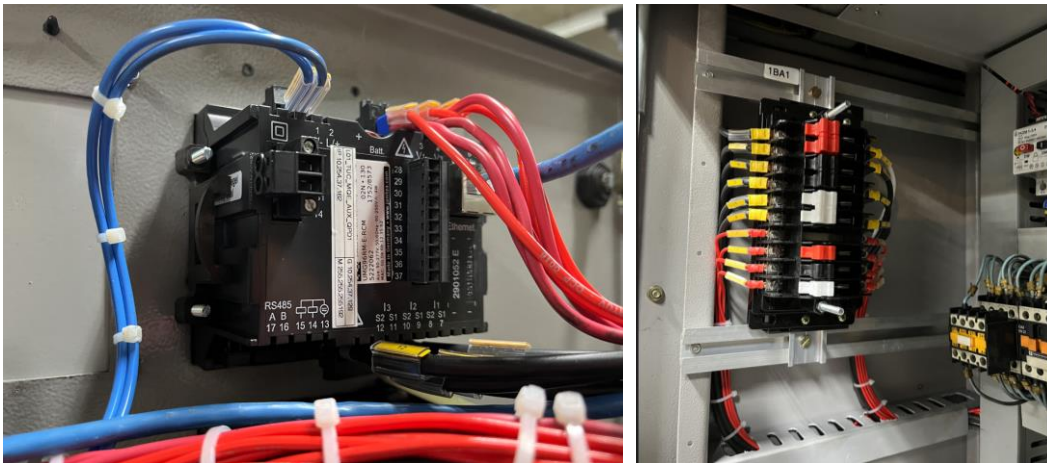


Figura 13 – Exemplo de uma modernização de multimedidor onde foi substituído o antigo eletromecânico e instalado um novo, com o correto fechamento do vão existente com chaparia específica para painel elétrico

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



14 a



14 b

Figura 14 – Interior de um painel já modernizado (14a) com itens complementares do multimetro. A seguir detalhe do multimetro e bloco de aferição de Tensão e Corrente (14b)

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

A seguir (figura 15) é apresentado o conjunto de multimedidores a serem instalados pela contratada do projeto (pregão positivo em 2022 BECSP), por tipos de subestação elétrica do METRÔ-SP, conforme já mencionado anteriormente.



Figura 15 – Tipos de Multimedidores a serem instalados, após contratação em 2022 no pregão eletrônico BECSP

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



VISUALIZAÇÃO DE RESULTADOS DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA

A aquisição de dados dos multimedidores na rede do sistema de monitoramento de ativos (SMA) possibilitará a gestão, visualização e tratamento das informações, tanto pelas ferramentas utilizadas atualmente pelo SMA como pelos softwares proprietários fornecidos pela especificação do projeto.

As ferramentas utilizadas pelo SMA são basicamente o **Zabbix®**, que é um programa dedicado à coleta e tratamento de dados e o **Grafana®**, que é uma aplicação *web* que apresenta uma interface mais amigável dedicado à criação de painéis personalizados com *dashboards*, tabelas e gráficos que permitem análises mais intuitivas e interativas dos dados coletados.

Na *figura 16* é detalhado um *dashboard* em desenvolvimento que demonstra as capacidades do programa **Grafana®**, utilizando-se os dados reais coletados remotamente em campo dos multimedidores.

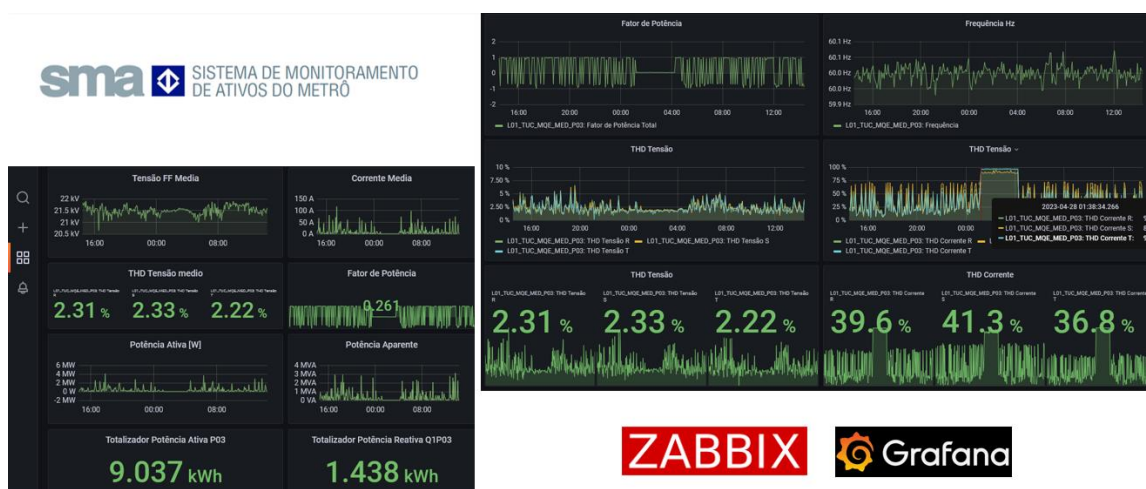


Figura 16 – SMA e as ferramentas (programas) Zabbix® e Grafana®

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

Igualmente faz parte do fornecimento do projeto um *software* dedicado ao gerenciamento dos dispositivos multimedidores, denominado **GRIDVIS®**, mostrado na *figura 17*, que permite proceder com todas as configurações destes dispositivos remotamente, assim como, exibir os resultados armazenados nas *memórias de massa* de cada um deles e visualizar, em tempo real, as grandezas elétricas monitoradas.

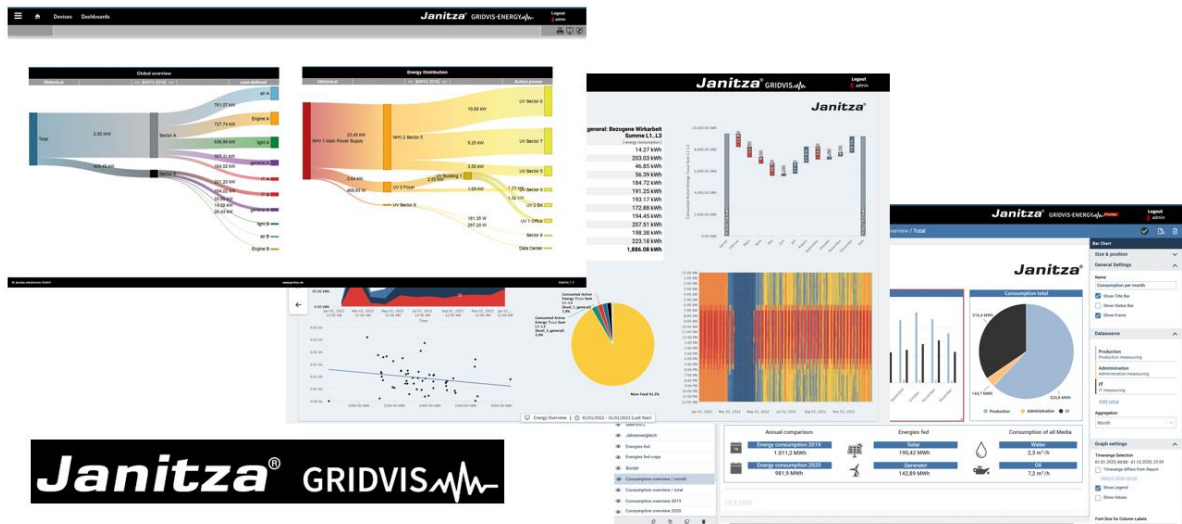


Figura 17 – Detalhe das telas do software GRIDVIS® Web

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

A figura 18, a seguir, já mostra a evolução das instalações de alguns multimedidores em campo, em destaque, as estações PIG e CEC, linhas 1 e 3, respectivamente.

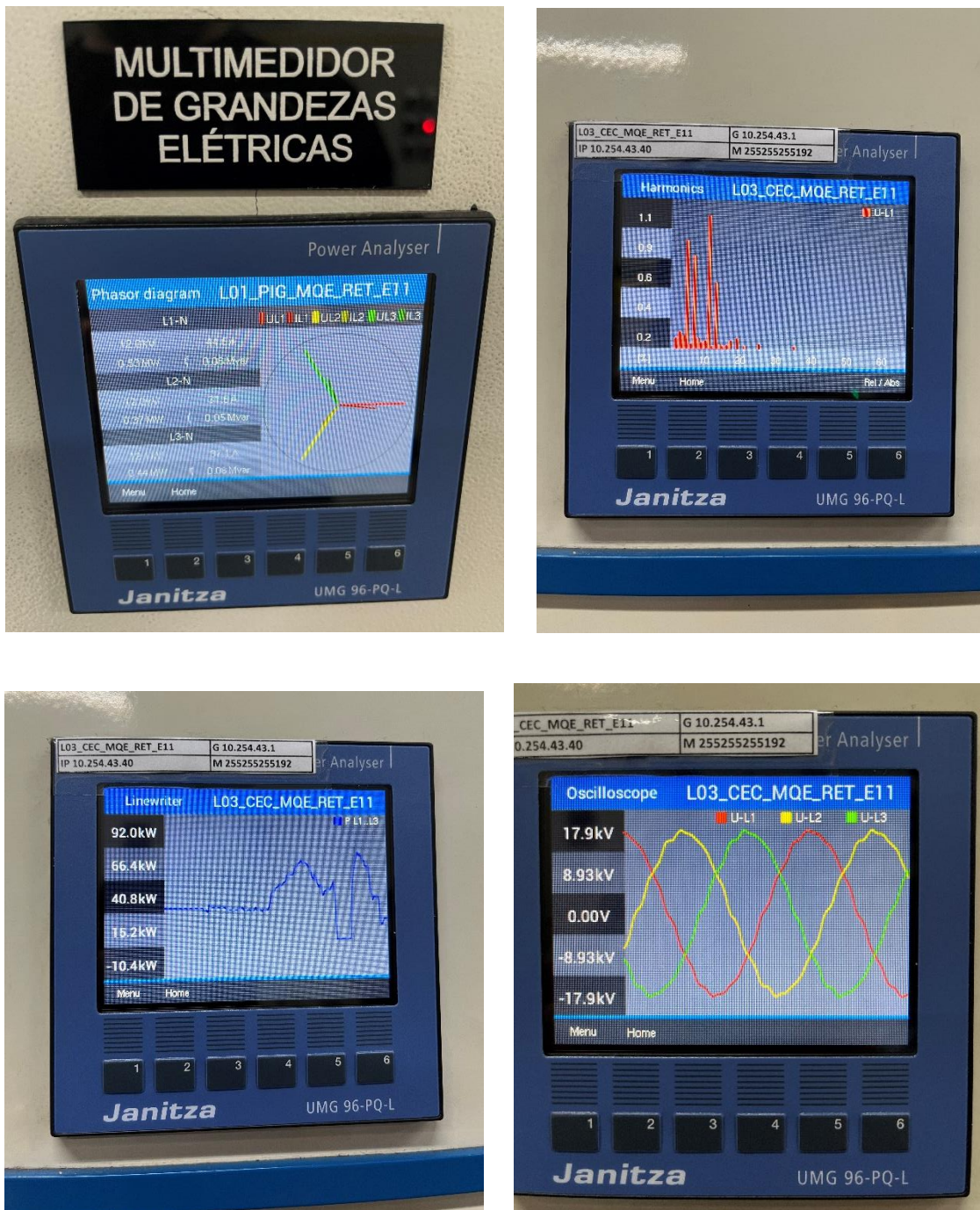


Figura 18 – Telas frontais dos novos multimedidores instalados (detalhe de fasores, harmônicas, potência e oscilografia)

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



CONCLUSÕES

Com o início dos trabalhos de instalação nas estações, no segundo trimestre de 2023, após contratação dos serviços de modernização dos medidores eletromecânicos por multimedidores (pregão BECSP em 2022), os benefícios e resultados esperados com a implantação de todo projeto serão:

- ✓ *Quantificar ações e projetos de eficiência energética;*

Avaliação de novas tecnologias para aumento da eficiência energética;

- ✓ *Mudança de hábitos de consumo;*
- ✓ *Postergação de investimentos em atendimento ao aumento de demanda por energia;*
- ✓ *Implementação da ISO 50001:2018¹ (norma internacional que estabelece práticas para a implantação de Sistemas de Gestão de Energia Elétrica nas empresas e organizações).*

É importante destacar que a infraestrutura de rede *ethernet* para comunicação com todos os novos multimedidores e, desta forma conectar ao SMA (Sistema de Monitoramento de Ativos), não faz parte deste projeto, mas sim de outros contratos já em andamento em 2023, das instalações de infraestrutura de monitoramento de ativos nas linhas 1, 2 e 3 sob gestão da DO/GMT (Diretoria de Operações do METRÔ-SP).

1 Certificação ISO 50001:2018 - Sistemas de gestão de energia — Requisitos com orientação para utilização. <https://www.iso.org/standard/69426.html>. Acesso em 25/07/2023

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHOICE Gerenciamento de Energia SOFTWARE GRIDVIS.

<https://www.choicetech.com.br/software-e-solucoes-para-industria-4-0/software-para-gestao-de-energia/gridvis-energy-gestao-de-energia/>

Acesso em 24/07/2023.

JANITZA. [Janitza eletrônica](#) . Acesso em 24/07/2023.

METRO-SP. Documentação referente à especificação dos serviços de modernização dos multimetroes.

<https://aplic.metrosp.com.br/as0001/frontend/index.php/processo/index>

METRÔ-SP. Relatório integrado da Companhia do Metropolitano de São Paulo.

Publicado em 2022.