



SuPerT – Supervisor de Perdas Técnicas em Tempo Real

Tema: Recursos Energéticos Distribuídos

Autores: Sérgio Gomes Cavalcante

Co-Autores: -

Empresa: Companhia Energética do Rio Grande do Norte - NEOENERGIA Cosern

Resumo

Reconhecendo a relevância e impactos das Perdas Técnicas para o Sistema Elétrico e desempenho das distribuidoras, o Planejamento da Subtransmissão da NEOENERGIA COSERN idealizou o Supervisor de Perdas Técnicas em tempo real – conhecido como SuPerT. A aplicação é mais uma alternativa que auxilia a operação ótima do Sistema Elétrico, apresentando um grande potencial para redução de perdas técnicas pela redução da energia reativa circulante.

O SuPerT foi implantado como projeto piloto em um dos regionais da distribuidora e expandido para 100% do sistema com o apoio da área de Automação. Tem como ideia central o chaveamento ótimo dos bancos capacitores nas nossas subestações sendo capaz de produzir informações de grande valor para o planejamento do sistema elétrico com relação ao suporte reativo e para estudos elétricos específicos.

A implementação do SuPerT permitiu a distribuidora agregar e ganhar eficiências em seus processos de gerenciamento de suporte reativo, foi totalmente desenvolvido por equipe própria e sem necessidade de investimentos adicionais.

Podemos citar três grandes impactos:

- Gestão Ótima dos Bancos Capacitores,
- Produção de recursos históricos para estudos de planejamento e acessos; e
- Redução de Perdas Técnicas.

1. Introdução

O SuPerT calcula as perdas técnicas a partir das seguintes grandezas elétricas:

- Tensão;
- Potência Ativa;
- Potência Reativa; e
- Resistência Equivalente dos Condutores.

A figura 1, representa as grandezas elétricas envolvidas no cálculo a partir de um diagrama de blocos, para melhor compreensão.



Figura 1 - Grandezas Elétricas utilizadas no cálculo

Essa ferramenta foi projetada para oferecer informações que auxiliem a tomada de decisão dos operadores do Centro de Operações Integradas (COI). A primeira etapa do projeto envolveu a criação de uma tela especial inserida no Sistema Supervisório (Figura 2), contendo informações em tempo real sobre o estado dos bancos de capacitores. A primeira versão do SuPerT foi desenvolvida em um Sistema SCADA, porém, ocorreu a aquisição de um outro sistema, diante disso a ferramenta precisou ser remodelada e passar por uma nova modelagem, sendo implantada no novo sistema supervisório.

Funcionalidades do SuPerT

Além da tela inicial, outras interfaces foram desenvolvidas para subsidiar ações operacionais estratégicas. Entre as funcionalidades destacam-se:

- Controle do Fator de Potência por Ponto de Suprimento - com o acompanhamento sendo feito de forma direta e instantânea, é possível acompanhar o consumo de potência reativa em tempo real;
- Monitoramento das Perdas Técnicas associadas à Energia Reativa no Sistema.

A utilização dessa ferramenta pelos operadores do COI tem contribuído significativamente para o controle das perdas técnicas provocadas pela energia reativa circulante no sistema.

Outro aspecto relevante é o controle do fator de potência nas barras de fronteira (DIT).

Benefícios Operacionais

O SuPerT oferece ao operador do COI uma visão ampla do sistema elétrico, permitindo:

1. Agilidade na tomada de decisão para manter os níveis de tensão dentro das faixas preconizadas pelo PRODIST, principalmente nos níveis de tensão para 13,8 kV. A figura 2 abaixo, indica as faixas de tensão do Módulo 8 do PRODIST para tensões entre 2,3 e interiores a 69 kV.

Tabela 3 – Pontos de conexão em Tensão Nominal superior a 2,3 kV e inferior a 69 kV

Tensão de Atendimento	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

Figura 2 - Faixa de Tensão

2. Assertividade na operacionalização dos bancos capacitores diante da nova realizada, com a inserção da Micro e Mini Geração Distribuída, que no final do horário de Sol, exige que a tensão nas subestações sejam estáveis, com as novas rampas de demanda, que se apresentam bem agressivas neste horário
3. Análise Integrada do Subsistema: Ao visualizar o consumo total de potência ativa e reativa pelas subestações de um subsistema e o valor das perdas técnicas calculadas, o operador consegue tomar decisões mais assertivas.
4. Controle Dinâmico do Suporte Reativo: Em topologias de rede predominantemente radiais ou com poucas linhas aneladas, a ferramenta permite que subestações com suporte reativo excedente complementem a necessidade de reativo capacitivo de outras subestações próximas. Evitando assim a necessidades de consumo de reativo a partir do ponto de suprimento, que muitas vezes estão a grandes distâncias das cargas.
5. Redução de Perdas Técnicas: O controle eficiente da potência reativa é fundamental para minimizar perdas técnicas no sistema.
6. Apoio ao Planejamento Elétrico: A equipe de planejamento pode utilizar os dados gerados pelo SuPerT para estudos elétricos relacionados a níveis de tensão e suporte reativo.
7. Monitoramento do Consumo/Injeção de Potência Reativa: A ferramenta melhora o controle do fator de potência e promove maior eficiência operacional. Evitando fatores de potência fora da faixa monitorada pelo NOS.

Indicadores Calculados

O SuPerT gera os seguintes indicadores principais:

- Perdas Técnicas (em percentual);
- Potência Reativa Instantânea por Ponto de Suprimento (DIT).

As informações calculadas são armazenadas no histórico de medições do Sistema Scada, permitindo análises mais detalhadas a longo prazo.

Interface no Sistema Scada

Uma tela específica foi desenvolvida no Sistema Scada para acompanhamento em tempo real dos dados gerados pelo SuPerT. A Figura 3 apresenta essa interface, destacando os indicadores por Ponto de Suprimento.

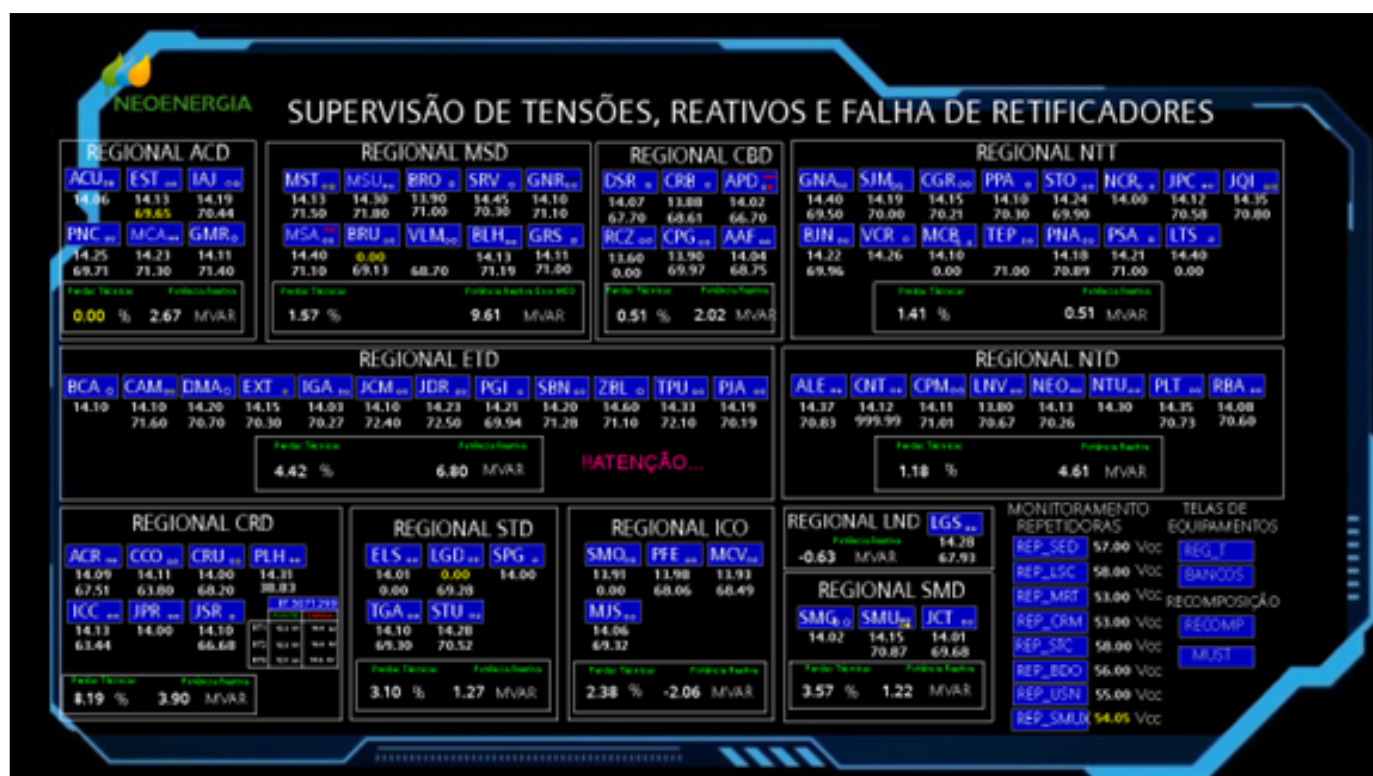


Figura 3 – Tela do SuPerT

A Figura 4 ilustra as informações do Regional Elétrico Natal III. E é apresentado em destaque. De modo a facilitar a tomada de decisão do operador.

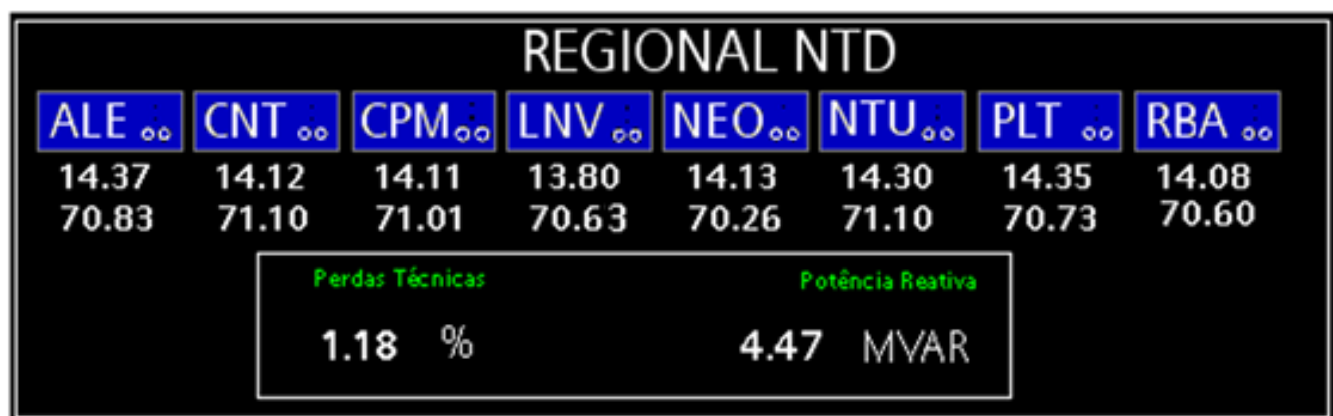


Figura 4 – Tela do SuPerT com destaque às perdas técnicas calculadas e à potência reativa.

A interface apresenta as seguintes informações em tempo real:

- Tensões das barras de 69 kV;
- Tensões das barras de 13,8 kV;
- Potência Reativa Instantânea Consumida; e
- Perdas Técnicas Instantâneas das Subestações.

Armazenamento de Dados e Análise

Além das informações disponíveis em tempo real, outros dados ficam armazenados em banco de dados, o que permite uma análise mais aprofundada dos resultados gerados pela ferramenta. Esses dados são

essenciais para o planejamento de estratégias de redução de perdas e aprimoramento da operação do sistema.

2. Desenvolvimento

Cálculo das Perdas Técnicas em Tempo Real

O cálculo das perdas técnicas em tempo real utiliza as medições de:

- Potência Ativa e Reativa nas linhas de distribuição conectadas diretamente à DIT (terminal da Distribuidora);
- Tensão em um ponto de medição localizado na subestação eletricamente mais distante da DIT;
- Injeção de Potência de pontos de geração, caso exista uma central geradora no regional.

Além disso, foi necessário calcular a resistência elétrica equivalente da rede de alta tensão composta pelas linhas de distribuição. Inicialmente, diversas metodologias de cálculo foram empregadas, incluindo:

1. Redução de Circuitos por combinações série/paralelo;
2. Conversões Delta/Estrela;
3. Modelagem pelo software ANAREDE, utilizando modelos de carga com valores de perdas calculados previamente.

No Sistema Scada, equações específicas foram implementadas para calcular as perdas técnicas por áreas elétricas. A Figura 5 apresenta a equação utilizada no cálculo de perdas elétricas trifásicas.

$$Perdas_{eletricas} = 3 \times Req \times I^2$$

Figura 5 – Equação de Cálculo de Perdas Elétricas

A Figura 6 ilustra o diagrama unifilar de um dos regionais elétricos onde a ferramenta foi implementada. Esse sistema inclui 16 subestações e 19 linhas de distribuição em alta tensão (69 kV), além de uma barra de geração.

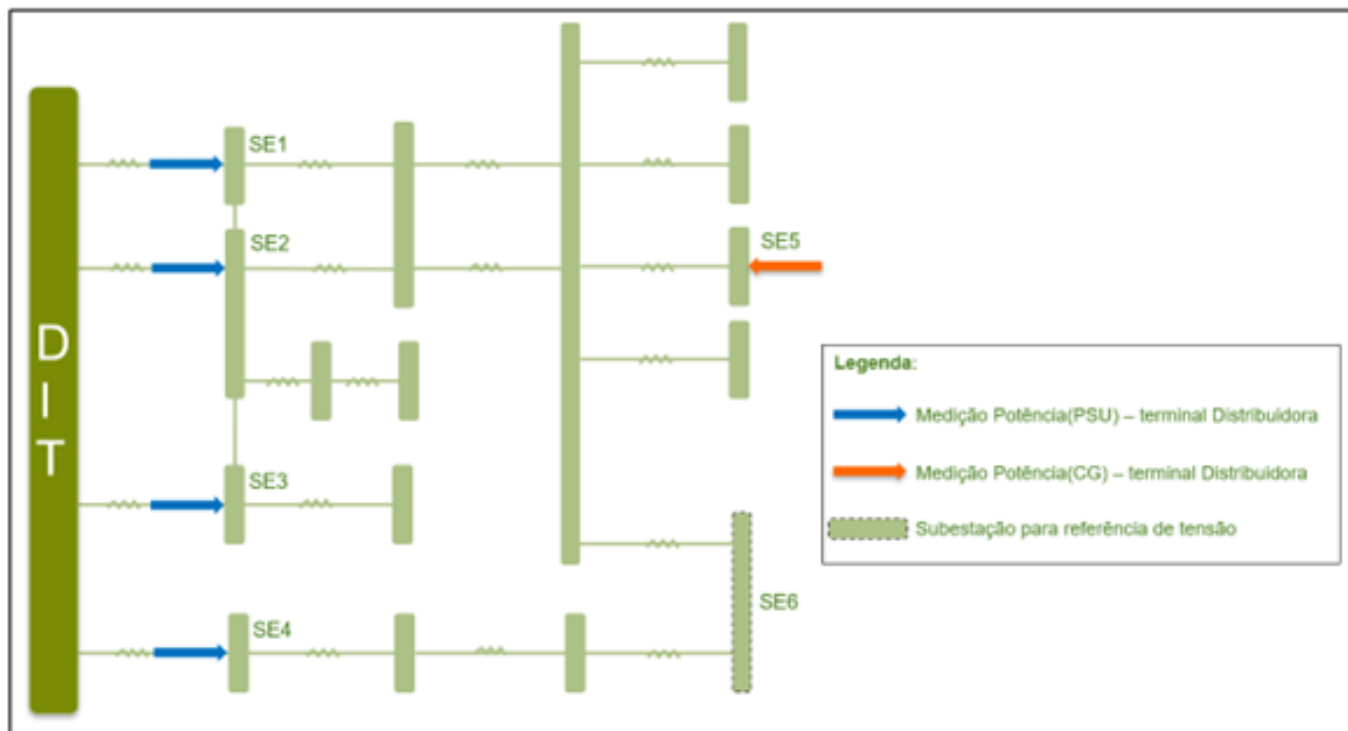


Figura 6 – Diagrama Unifilar

Validação do Cálculo de Perdas

Durante o desenvolvimento da ferramenta, foram realizadas diversas abordagens para calcular o equivalente resistivo da rede e protótipos para validar a metodologia. A Figura 7 apresenta as curvas de perdas calculadas em comparação com as perdas medidas em um dia típico. As curvas exibem perfis semelhantes, com erro relativo máximo de aproximadamente 5%.

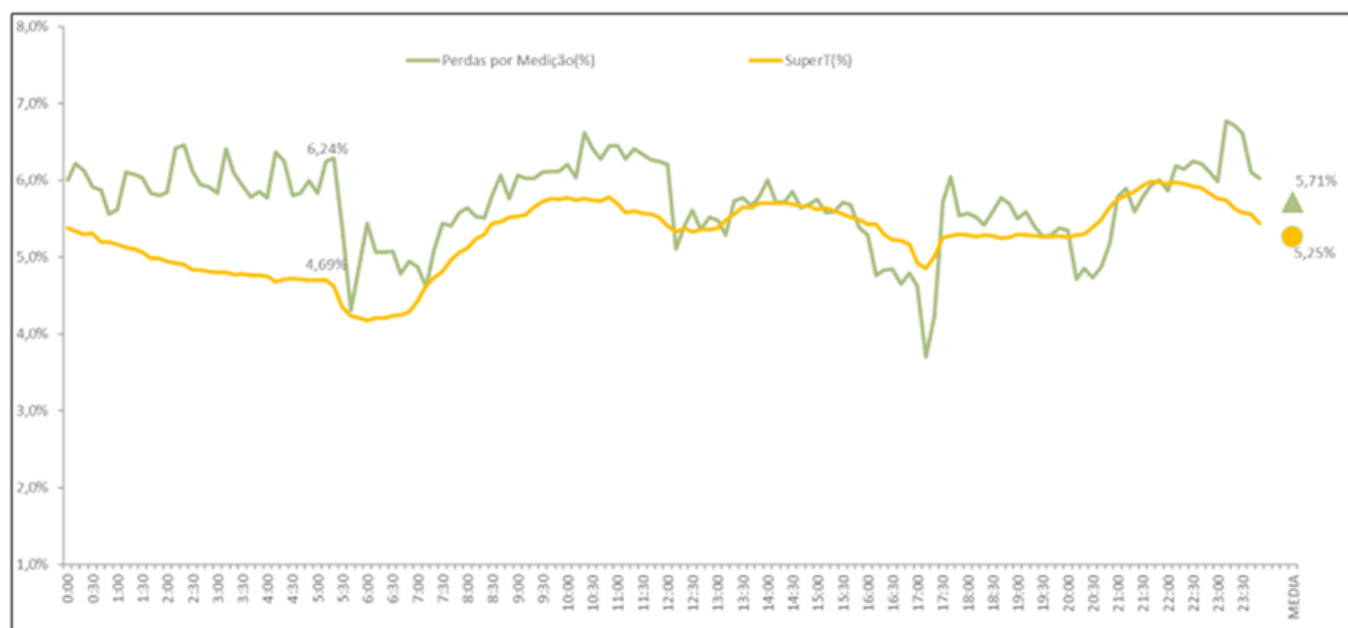


Figura 7 – Perdas Técnicas Calculadas versus Perdas Técnicas Medidas

Análise de Tendências de Energia Ativa e Reativa

Apesar do aumento natural do consumo de energia ativa, o sistema apresentou uma redução significativa na energia reativa, resultando em uma diminuição das perdas técnicas associadas ao excesso de energia reativa. A Figura 8 compara o consumo de energia ativa e reativa no subsistema entre 2018 e 2023. Nota-se que, a partir de 2020, a energia reativa diminuiu enquanto o consumo de energia ativa continua a crescer.

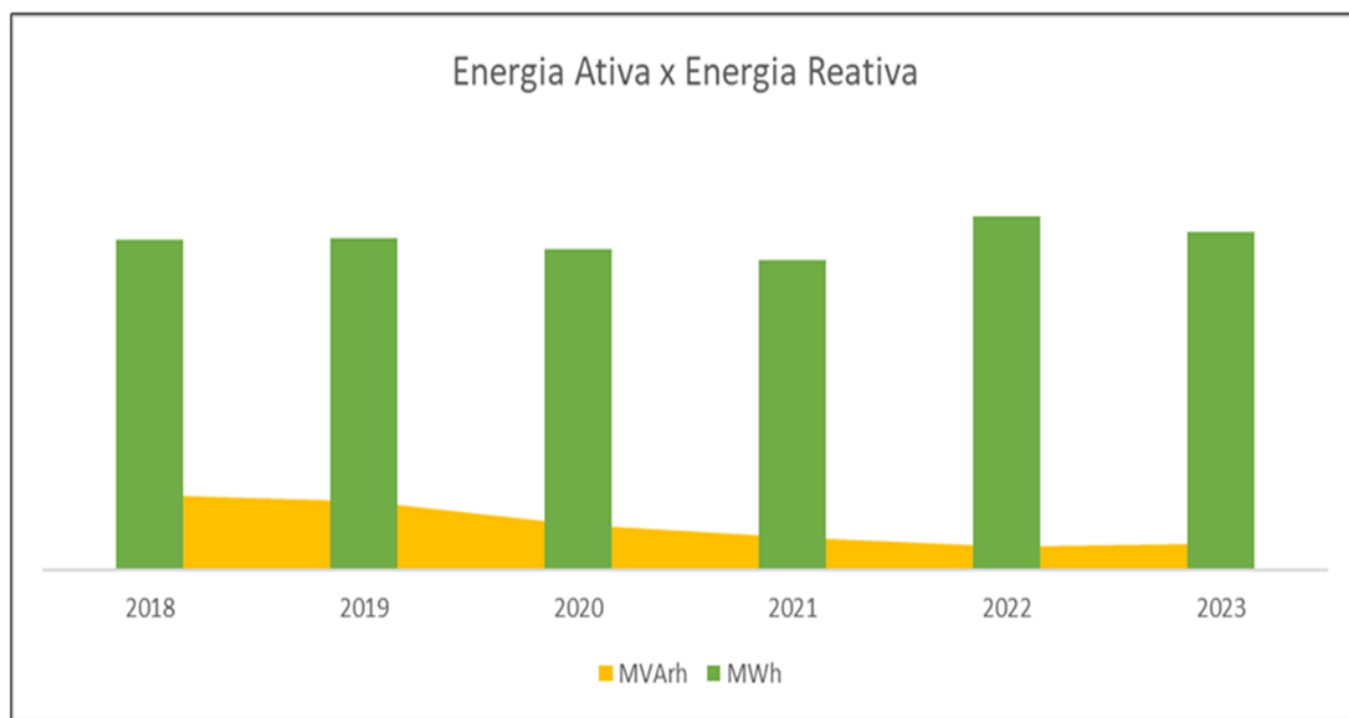


Figura 87 – Comparação Energia Ativa versus Energia Reativa

Análise por Períodos Específicos

Outra análise relevante envolve os consumos de energia ativa e reativa no primeiro quadrimestre dos anos de 2019, 2020 e 2021. Comparando os anos de 2020 e 2021, observou-se uma redução de cerca de 57% na energia reativa circulante. Esse período está representado na Figura 9.

Ao analisar o consumo no mês de janeiro de cada ano, percebe-se uma utilização mais eficiente dos recursos de suporte reativo. Nesse recorte, o consumo de energia ativa permanece praticamente constante, enquanto o consumo de energia reativa apresenta uma redução expressiva.

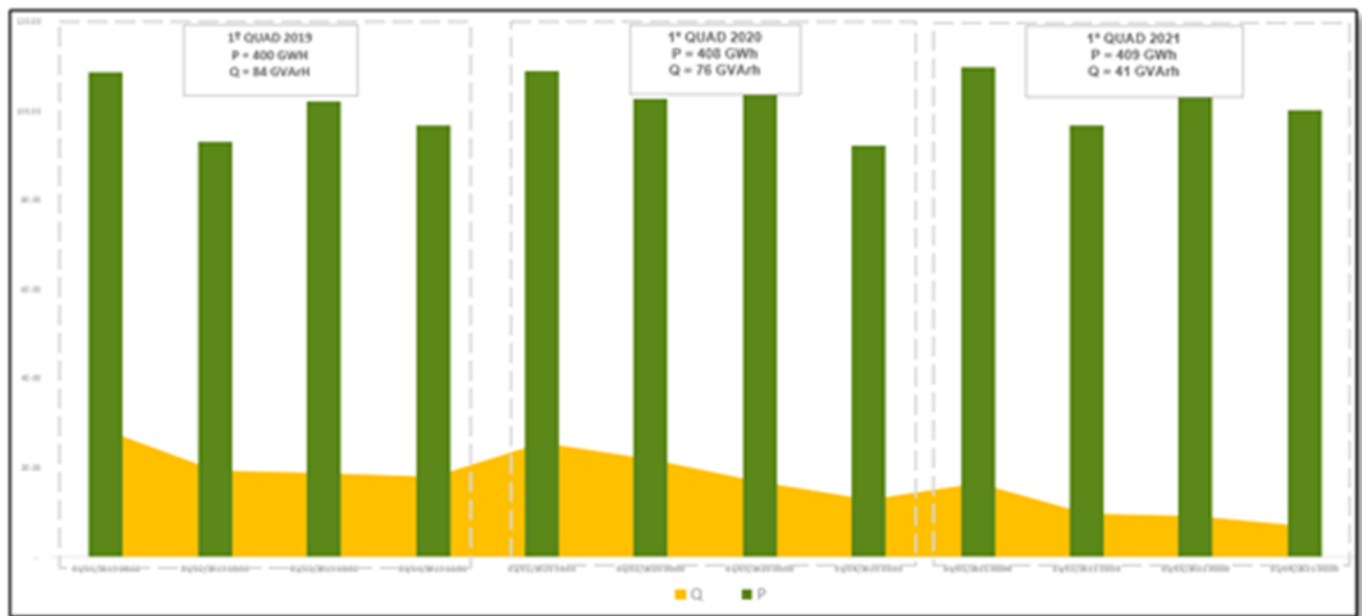


Figura 9 – Comparação Energia Ativa versus Energia Reativa(Quadrimestre)

3. Conclusão

Este trabalho atinge o objetivo de mostrar a capacidade do SuPerT – Supervisor de Perdas Técnicas em Tempo Real de contribuir com a redução das perdas técnicas na Alta Tensão do Sistema de Distribuição da Distribuidora, de otimizar a utilização do suporte reativo capacitivo nas Subestações de Distribuição, melhorando o controle do fator de potência e nível de tensão e possibilitando uma melhoria significativa da gestão de reativos de um subsistema elétrico.

De maneira geral a ferramenta SuPerT vem propiciando bons resultados no que se refere às perdas causadas por energia reativa circulante o sistema, atrelado a isso, está sendo possível um melhor controle do fator de potência dos subsistemas elétricos que atendem às cargas da NEOENBERGIA COSERN no estado do Rio Grande do

A figura 9 representa o efeito da redução da energia reativa circulante com a redução das Perdas Técnicas. Destacamos aqui os anos de 2019, 2020 e 2021. No primeiro ciclo, que corresponde 2019/2020 apesar de redução de energia ativa e energia reativa, a taxa de redução das perdas técnicas acontece é superior quando comparada com as outras grandezas. Já no ciclo 2020/2021 o efeito do controle de reativo é mais perceptível, pois ocorre aumento de consumo de energia ativa e ocorre redução de energia reativa e perdas técnicas, como percebe-se na figura 10.

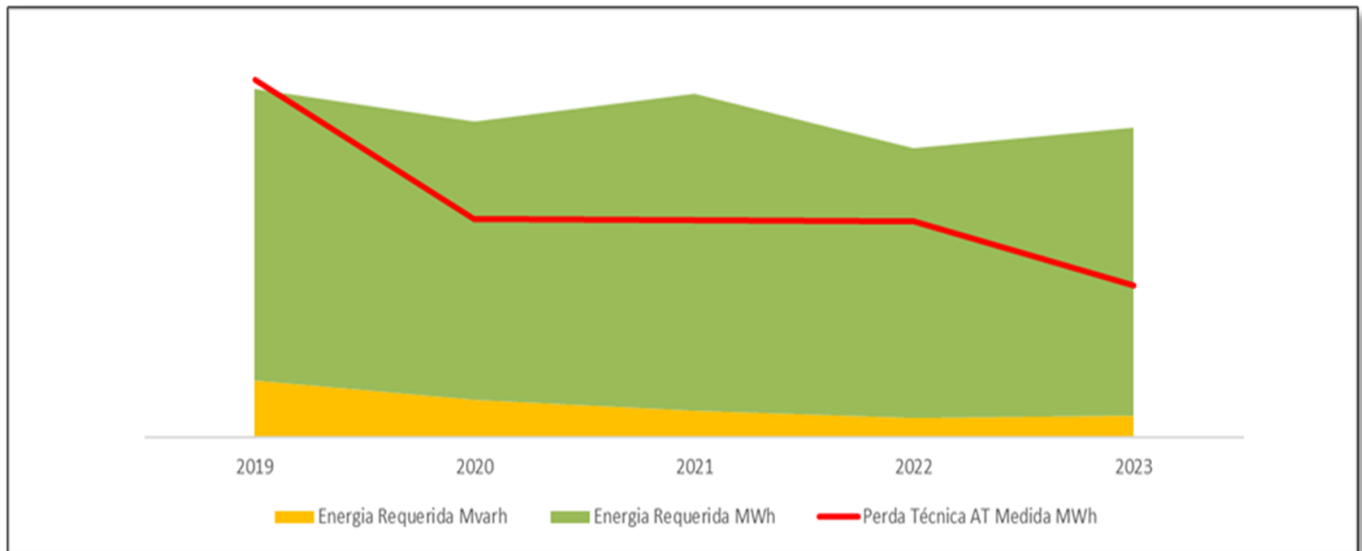


Figura 10 – Comparação Energia Ativa versus Energia Reativa e evolução das Perdas Técnicas

Por vezes, possibilita a utilização do CAPEX de forma racional, no que se refere à indicação de ampliação de suporte reativo. Além de indicar que é possível utilizar o excesso de potência reativa e uma subestação em prol de um conjunto de subestações, quando analisamos o regional elétrico como um todo.

4. Referências bibliográficas

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2023). *PRODIST – MÓDULO 7 CÁLCULO DE PERDAS NA DISTRIBUIÇÃO*
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2023). *PRODIST – MÓDULO 8 QUALIDADE DE FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA*
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). (2023). *PRODIST – MÓDULO 2 PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO DO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO*
- Grainger, John J. & Stevenson Jr., William D. (1994). *Power System Analysis*
- Gonen, Turan (2014). *Electrical Power Transmission System Engineering – Analysis and Design*
- Fernandez, J., & Ramirez, C. (2020). Reliability Indicators and Their Impact on Power Distribution Networks. *Journal of Electrical Engineering*