

Estudo De Caso Correlato a Queima de DPS em uma Instalação Hospitalar Devido a Ocorrência de Transitórios na Média Tensão

Erick José Ferreira Santos
Laboratório de Qualidade da Energia Elétrica (LabQEE)
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Uberlândia, Brasil
ORCID: 0009-0005-8701-8178

Jordana Alves de Freitas
Laboratório de Qualidade da Energia Elétrica (LabQEE)
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Uberlândia, Brasil
ORCID: 0009-0009-2513-1991

Vinicius Henrique Farias Brito
Laboratório de Qualidade da Energia Elétrica (LabQEE)
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Uberlândia, Brasil
ORCID: 0000-0003-3834-3124

Paulo Henrique Oliveira Rezende
Laboratório de Qualidade da Energia Elétrica (LabQEE)
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Uberlândia, Brasil
ORCID: 0000-0001-6156-7324

Ivan Nunes Santos
Laboratório de Qualidade da Energia Elétrica (LabQEE)
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Uberlândia, Brasil
ORCID: 0000-0001-8630-1354

Resumo — Com o crescente uso de equipamentos eletrônicos sensíveis em ambientes críticos, como hospitais, o risco de danos causados por picos de tensão torna-se uma preocupação significativa. Os Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS), responsáveis por proteger os sistemas elétricos contra esses surtos, podem falhar quando expostos a eventos de alta intensidade ou surtos repetidos. Este estudo investiga as causas das queimas de DPS em uma unidade hospitalar, associadas a surtos de média tensão, por meio de simulações baseadas em diferentes configurações de aterramento. O objetivo é identificar as causas subjacentes dessas falhas e aprimorar as práticas de instalação e manutenção desses dispositivos, visando garantir maior confiabilidade e proteção nas instalações hospitalares.

Palavras-chave — DPS, Surtos Elétricos, Transitórios, Aterramento, Proteção Elétrica, Instalações Elétricas.

Abstract — With the increasing use of sensitive electronic equipment in critical environments such as hospitals, the risk of damage from voltage spikes becomes a significant concern. Surge Protection Devices (SPDs), responsible for protecting electrical systems against these surges, can fail when exposed to high-intensity events or repeated surges. This study investigates the causes of SPD burnouts in a hospital unit, associated with medium voltage surges, through simulations based on different grounding configurations. The objective is to identify the underlying causes of these failures and improve the installation and maintenance practices of these devices, ensuring greater reliability and protection in hospital facilities.

Keywords — SPD, Electrical Surge, Transients, Grounding, Electrical Protection, Electrical Installations.

I. INTRODUÇÃO

De residências a indústrias, a proteção contra surtos elétricos é indispensável para assegurar a integridade e a confiabilidade dos sistemas elétricos. Com o aumento exponencial do uso de dispositivos eletrônicos e sistemas de controle automatizados, o risco de danos causados por variações de tensão tornou-se significativamente maior.

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq)

Fenômenos como descargas atmosféricas, manobras de chaveamento na rede elétrica e outras fontes de transitórios elétricos representam ameaças constantes, capazes de comprometer seriamente a funcionalidade e a durabilidade de equipamentos conectados. Esses surtos podem causar danos irreversíveis a componentes eletrônicos sensíveis e colocar em risco a continuidade das operações, especialmente em ambientes críticos, como hospitais e instalações industriais.

Os Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) são componentes projetados para limitar sobretensões transitórias, desviar correntes de surto e proteger sistemas contra os efeitos prejudiciais de picos de tensão [1]. Seu funcionamento é crucial para a mitigação de riscos, pois atuam desviando ou absorvendo a energia dos surtos antes que ela atinja níveis prejudiciais aos equipamentos conectados. Dessa forma, os DPS não apenas protegem os sistemas elétricos, mas também garantem a continuidade operacional. Em ambientes de alta criticidade, como hospitais, a falha nos sistemas de proteção pode acarretar consequências graves, incluindo interrupções de serviços essenciais e riscos diretos à segurança dos pacientes.

A correta escolha, instalação e dimensionamento dos DPS são determinantes para assegurar a eficácia do sistema de proteção contra surtos elétricos. Instalações inadequadas ou dimensionamentos imprecisos podem comprometer significativamente a segurança elétrica da instalação, resultando não apenas em falhas na proteção, mas também em danos catastróficos aos dispositivos. Em situações extremas, como a exposição a transitórios de alta intensidade ou a repetidas sobretensões, os DPS podem atingir seus limites de suportabilidade e falhar de forma severa, incluindo sua destruição física, queima ou até explosões.

No Brasil, a regulamentação sobre o uso de DPS é definida principalmente pelas normas NBR 5410, que estabelece os requisitos técnicos para instalações elétricas de baixa tensão, e NBR 5419, que regula os Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas (SPDA). Adicionalmente, a norma NBR IEC 61643-1 apresenta os requisitos específicos de desempenho e classificação para os

DPS utilizados em sistemas de baixa tensão, orientando aspectos como testes de suportabilidade e durabilidade para esses dispositivos. Entretanto, é importante destacar que as normas Brasileiras não estabelecem um valor limite específico para a impedância de aterramento. Embora recomendem que essa impedância seja a menor possível para garantir a eficácia da proteção, especialmente em ambientes críticos como hospitais.

Este trabalho tem como objetivo investigar a ocorrência de um alto índice de queimas de DPS instalados em uma unidade hospitalar. O estudo será conduzido por meio de simulações baseadas em dados coletados durante o evento, permitindo identificar as causas subjacentes da falha de proteção e propor soluções para mitigar ocorrências semelhantes no futuro. Além de compreender a dinâmica dos surtos elétricos em ambientes hospitalares, este estudo visa contribuir para o aprimoramento das práticas de instalação, dimensionamento e manutenção de sistemas de proteção, garantindo maior confiabilidade em cenários de alta criticidade.

II. MODO DE OPERAÇÃO E SUPORTABILIDADE DE DPS À SOBRETENSÕES TRANSITÓRIAS

Os Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) são projetados para limitar os efeitos das sobretensões transitórias nos sistemas elétricos, garantindo a proteção contra picos de tensão que possam ser causados por diversos fenômenos, como descargas atmosféricas (raios), manobras de chaveamento ou outras fontes de perturbação. Cada DPS contém pelo menos um componente não linear, que permite a alteração do comportamento do dispositivo em resposta a variações de tensão [1].

A. Tipos de DPS

Os DPS podem ser classificados com base na sua topologia e modo de operação. Existem três tipos principais de dispositivos [1]:

- DPS tipo comutador de tensão: Esses dispositivos possuem alta impedância na ausência de surtos, mas rapidamente diminuem essa impedância quando um surto ocorre. Componentes típicos usados incluem centelhadores, tubos de gás, tiristores de silício e triacs. Esses DPS possuem alta capacidade de cortar a tensão resposta ao surto, limitando o nível de tensão aplicado aos equipamentos [1].
- DPS tipo limitador de tensão: Diferentemente do tipo comutador, esses dispositivos apresentam uma impedância que diminui progressivamente à medida que a corrente e a tensão do surto aumentam. Componentes típicos usados como dispositivos não lineares são varistores e diodos de corte [1]. Esses dispositivos limitam a tensão ao nível seguro de forma constante, independentemente das variações nas características do surto.
- DPS tipo combinado: Esses dispositivos combinam características dos tipos comutador e limitador de tensão, sendo capazes de cortar ou limitar a tensão, ou até realizar ambos os processos simultaneamente. O comportamento do dispositivo depende das características específicas da tensão aplicada, oferecendo uma proteção flexível em diferentes condições de surto [1].

B. Capacidade de Suportabilidade dos DPS

A capacidade de suportabilidade de um DPS está diretamente relacionada à sua habilidade de absorver e dissipar a energia de surtos sem falhar. Essa característica é determinada pela energia nominal de absorção do dispositivo, que define a quantidade de energia que o DPS pode suportar durante um evento transitório. O dimensionamento adequado dessa capacidade é essencial para garantir a eficácia e durabilidade do dispositivo, especialmente em instalações críticas, onde surtos repetidos podem reduzir progressivamente sua eficiência de proteção.

Os DPS são classificados em três classes principais, de acordo com a intensidade dos surtos que são projetados para suportar [1]:

- Classe I: Destinados a proteger contra surtos de alta intensidade, como os provocados por descargas atmosféricas diretas. Esses DPS possuem alta capacidade de dissipação de energia e são instalados principalmente em quadros de distribuição principal, onde a intensidade do surto é maior. A forma de onda típica da corrente é definida como 10/350 μ s, representando um pulso de corrente de alta energia com um tempo de subida de 10 μ s (até atingir 90% do valor de pico) e um tempo de decaimento até a metade do valor máximo em 350 μ s, simulando os efeitos de raios diretos [2].
- Classe II: Projetados para proteger contra surtos de intensidade intermediária, geralmente resultantes de manobras de chaveamento na rede elétrica ou de descargas atmosféricas próximas. São mais comuns em circuitos internos das instalações, onde a intensidade do surto é moderada, mas ainda representativa de risco para os sistemas. Os DPS dessa classe são projetados para suportar correntes com forma de onda 8/20 μ s, caracterizada por um tempo de subida de 8 μ s (até atingir 90% do valor de pico) e um tempo de decaimento até a metade do valor máximo em 20 μ s [3].
- Classe III: Destinados à proteção de equipamentos finais, como sistemas de comunicação, dispositivos médicos, computadores e outros aparelhos sensíveis. Os DPS de Classe III lidam com surtos de baixa intensidade, mas desempenham um papel crucial na proteção de equipamentos conectados diretamente a circuitos de tomadas ou outros sistemas de menor risco. Esses dispositivos são projetados para suportar surtos simulados por geradores combinados, que produzem tensões de saída com tempos de subida de 1,2 μ s e tempos de decaimento até a metade do valor em 50 μ s, além de correntes de saída com tempos de subida de 8 μ s e tempos de decaimento até a metade em 20 μ s [1].

A vida útil de um DPS está diretamente associada à intensidade e frequência dos surtos que ele está submetido. Mesmo dispositivos de alta qualidade, projetados para suportar múltiplos eventos, podem sofrer degradação progressiva dos componentes internos, como varistores ou tubos de gás, ao longo do tempo. Essa degradação é acelerada em instalações sujeitas a altos níveis de transitórios repetidos. Por isso, o planejamento de manutenção preventiva é essencial, especialmente em ambientes críticos como hospitais, onde falhas de proteção podem resultar em riscos

significativos para a segurança dos equipamentos e dos pacientes.

III. ESTUDO DE CASO DE QUEIMA DE DPS EM UMA UNIDADE HOSPITALAR

A. Caracterização da Instalação

O estudo foi conduzido em uma unidade hospitalar de médio porte, recém-construída, especializada no atendimento a pacientes oncológicos, incluindo aqueles em cuidados paliativos. A criticidade da carga elétrica nesse ambiente exige alta confiabilidade no fornecimento de energia, visto que falhas podem comprometer o funcionamento de equipamentos médicos essenciais.

A unidade é alimentada por uma subestação interna, localizada dentro do mesmo terreno do hospital, porém em um espaço segregado. A infraestrutura elétrica conta com um transformador de 500 kVA, conexão delta-estrela (D-Y), com primário em 13,8 kV e secundário em 220 V fase-neutro (FN). O sistema de proteção contra surtos (DPS) foi implementado em dois níveis:

- DPS Classe I instalados no quadro da subestação, próximos ao transformador.
- DPS Classe II (275 V, 20 kA) instalados nos quadros elétricos internos da unidade.

A Fig. 1 apresenta o transformador instalado na subestação enquanto na Fig. 2 observa-se os DPS instalados na subestação:



Fig. 1. Transformador trifásico 500 kVA instalado na subestação interna ao hospital.

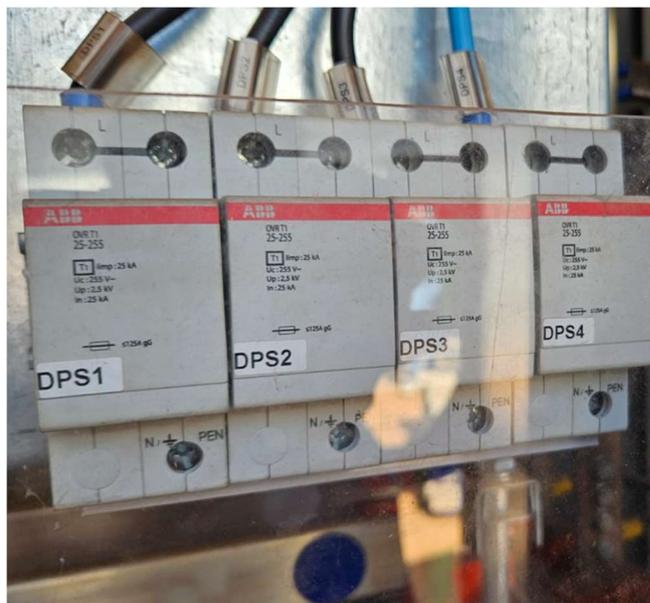


Fig. 2. Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) Classe I instalados no quadro geral do sistema.

B. Identificação e Desenvolvimento do Problema

Inicialmente, um dos blocos do hospital já estava energizado e operando sem incidentes. Contudo, após a energização de um segundo bloco, verificou-se um aumento significativo na ocorrência de falhas dos DPS.

Nos quadros elétricos internos, constatou-se que vários DPS Classe II apresentavam danos, conforme ilustrado na imagem da Fig. 3.



Fig. 3. Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) Classe II queimados.

Diante do problema, foram realizadas inspeções e medições para verificar a integridade do sistema elétrico.

C. Avaliação do Sistema e Ajustes no Aterramento

A Fig. 4 ilustra que as medições revelaram a presença de uma tensão de aproximadamente 13V entre os barramentos de neutro e terra, indicando uma possível deficiência na equipotencialização do aterramento.

Dada a recorrência das falhas e os indícios apontados pelas medições, programou-se um desligamento da unidade para inspeção detalhada do sistema de aterramento do transformador. Durante a verificação, foi constatada uma inconformidade na interligação do aterramento do secundário do transformador, que poderia estar contribuindo para a

degradação dos DPS. A Fig. 5 apresenta a nova configuração do aterramento do secundário do transformador.



Fig. 4. Medição de tensão entre os barramentos de Fase e Neutro.



Fig. 5. Transformador trifásico 500 kVA instalado na subestação interna ao hospital após o ajuste de conexões no aterramento.

Com o ajuste das conexões no aterramento, uma nova medição foi realizada, evidenciando a eliminação da tensão residual entre neutro e terra, conforme demonstrado na Fig. 6:



Fig. 6. Medição de tensão entre os barramentos de Fase e Neutro após os ajustes de conexão no aterramento do transformador.

D. Necessidade de Investigação Adicional

A avaliação realizada sugere que a presença de uma tensão residual entre neutro e terra pode ter influenciado a degradação dos DPS. No entanto, considerando a intensidade e a recorrência das falhas observadas, apenas essa tensão residual não seria suficiente para justificar a queima frequente dos dispositivos de proteção contra surtos.

Essa situação indica a possível presença de fenômenos transitórios na rede elétrica, os quais podem estar contribuindo para a degradação acelerada dos DPS. Assim, torna-se necessário um estudo aprofundado por meio de simulações elétricas, a fim de compreender melhor as condições transitórias do sistema e identificar os fatores que levaram à falha dos dispositivos de proteção.

IV. SIMULAÇÕES CORRELATAS À SITUAÇÃO ENCONTRADA EM CAMPO

A fim de compreender melhor as causas da queima recorrente dos Dispositivos de Proteção contra Surtos (DPS) na unidade hospitalar analisada, foram realizadas simulações computacionais para avaliar o comportamento transitório do sistema elétrico. A principal hipótese investigada é a ocorrência de surtos transitórios na instalação, dado que os DPS não falharam simultaneamente em todos os quadros elétricos, mas de forma pontual e distribuída ao longo do sistema.

Além disso, as medições realizadas em campo indicaram a presença de uma tensão residual entre neutro e terra, sugerindo uma deficiência na equipotencialização do aterramento do secundário do transformador. Diante desse cenário, as simulações foram estruturadas para avaliar a influência do aterramento na resposta do sistema a possíveis fenômenos transitórios.

Para a modelagem e análise dos fenômenos transitórios, utilizou-se o software ATP (*Alternative Transients Program*), por meio da interface gráfica ATPDraw. O software é amplamente reconhecido para simulação de transitórios eletromagnéticos em sistemas de potência, permitindo a construção de circuitos elétricos e a análise das

respostas do sistema frente a diferentes condições operacionais e eventos perturbadores.

O ATPDraw, um pré-processador gráfico para o ATP, foi utilizado para criar e editar os arquivos de circuito. A saída gerada pelo ATPDraw é um arquivo que pode ser utilizado diretamente como entrada para o programa ATP, facilitando o processo de simulação [4].

Para modelagem do Sistema elétrico no ATPDraw, foram considerados os seguintes parâmetros:

A. Dados do Sistema Elétrico

O sistema modelado consiste em uma fonte de tensão trifásica de 13,8 kV, representando o alimentador que supre a unidade hospitalar. A fonte possui um nível de curto-circuito de 120 MVA e uma relação X/R igual a 10, garantindo uma modelagem adequada da impedância da rede e de sua resposta a fenômenos transitórios.

B. Dados do Transformador

O transformador possui as seguintes características:

- Tensão Primária/Secundária: 13,8 kV/0,38 kV (FF);
- Ligação: Delta – Estrela;
- Potência Nominal: 500 kVA;
- Impedância Percentual (Z%): 5,65%;
- Resistência Percentual (R%): 0,7%

A ligação delta-estrela foi considerada no modelo para refletir a configuração real do Sistema, permitindo a análise da influência da equipotencialização do aterramento na propagação dos transitórios.

C. Modelagem dos Acoplamentos Capacitivos

Conforme indicado em [5], as capacitâncias de acoplamento possuem uma influência significativa em estudos envolvendo descargas atmosféricas. Portanto, seguindo essa mesma referência, o transformador foi modelado com as capacitâncias de fuga do enrolamento de alta para o terra (C_{AT}), do enrolamento de baixa para o terra (C_{BT}), e entre o enrolamento de alta e de baixa (C_{AB}). Os valores considerados foram: $C_{AT} = 3 \text{ nF}$ / $C_{BT} = 6 \text{ nF}$ / $C_{AB} = 2 \text{ nF}$;

D. Dados da Carga

A carga conectada ao secundário do transformador foi modelada com base em medições realizadas ao longo de uma semana, obtendo-se os seguintes valores médios para cada fase:

- Fase A: 100,42 kVA, com fator de potência de 0,97;
- Fase B: 81,72 kVA, com fator de potência de 0,95;
- Fase C: 116,11 kVA, com fator de potência de 0,97.

A modelagem da carga no ATPDraw permite avaliar a influência no comportamento dos transitórios e na resposta dos DPS distribuídos pelo sistema.

No estudo de caso será considerada a ocorrência de uma descarga atmosférica na rede elétrica, e será verificada a propagação no lado de baixa tensão do transformador em diferentes condições de aterramento. Para simular a ocorrência da descarga, a impedância da rede de Média tensão foi dividida ao meio, e foi inserida uma forma de onda de corrente na fase A no instante $t = 0,05 \text{ s}$. A Fig. 7 mostra a rede elétrica em análise com a modelagem da descarga atmosférica.

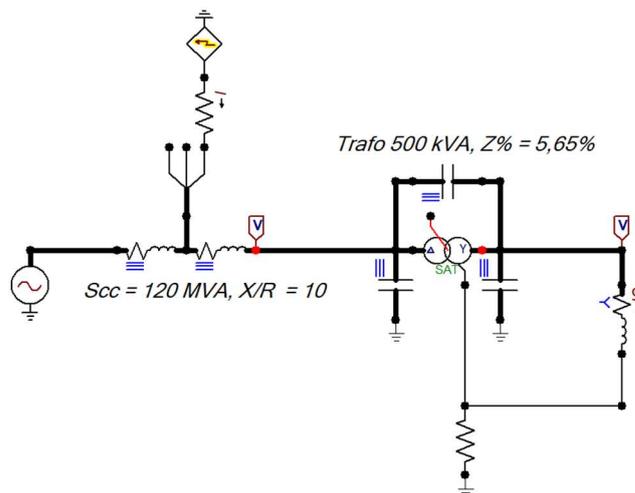


Fig. 7. SISTEMA ELÉTRICO MODELADO NO ATPDRAW.

A fonte de corrente que representa a descarga atmosférica foi modelada utilizando o componente “SURGE - Surge function. Two exponentials. TYPE 15”, os valores dos parâmetros foram utilizados para que a forma de onda de corrente tenha um padrão 1,2/50 us. A amplitude da corrente foi escolhida de forma que a tensão fique abaixo de 42 kV [6], haja vista que esse valor corresponde à tensão residual máxima que um para-raio de 12 kV permite passar, considerando a ocorrência de descarga. Assim, o valor da amplitude de corrente configurada foi de 650 A, conforme indicado no gráfico da Fig. 8.

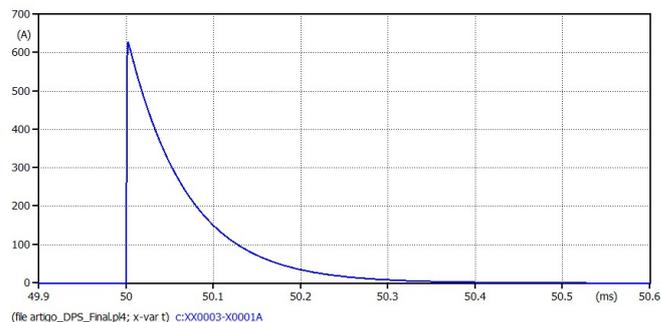


Fig. 8. Amplitude da Corrente de descarga atmosférica configurada.

Para avaliar a relação entre os surtos transitórios e as condições de aterramento do transformador, foram considerados três cenários distintos, com variação na impedância do aterramento no secundário do transformador:

- Cenário 1 – Aterramento de alta impedância ($1E6 \Omega$): Representa a situação identificada em campo antes das correções, onde havia uma tensão residual significativa entre neutro e terra. Esse cenário visa avaliar o impacto da alta impedância no escoamento de correntes de surto e sua influência na degradação dos DPS.
- Cenário 2 – Aterramento de média impedância (50Ω): Simula uma condição intermediária, onde a impedância do aterramento é parcialmente reduzida, melhorando a equipotencialização, mas ainda com alguma limitação na dissipação de surtos.
- Cenário 3 – Aterramento de baixa impedância (1Ω): Representa uma condição idealizada, onde o aterramento do secundário do transformador possui baixa impedância, permitindo um caminho mais

eficiente para a dissipação de surtos e reduzindo os diferenciais de potencial entre neutro e terra.

Através dessas simulações, busca-se analisar a relação entre a queima pontual dos DPS e a presença de fenômenos transitórios, correlacionando os resultados obtidos com as medições em campo e identificando as condições mais propensas à degradação dos dispositivos de proteção.

V. ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS ALCANÇADOS

Nesta seção, são apresentados e analisados os resultados obtidos para os três cenários simulados, considerando diferentes condições de aterramento secundário do transformador. Os resultados incluem as tensões máximas no primário e secundário do transformador, bem como as tensões entre fase e neutro na baixa tensão.

A. Cenário 1: Aterramento de alta impedância:

Neste primeiro cenário, a impedância de aterramento do secundário do transformador é elevada, simulando uma condição inadequada de equipotencialização. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1: Resultado da simulação com aterramento de alta impedância.

	Máxima tensão no primário do Trafo (kV)	Máxima tensão no secundário do do	BT para Neutro (kV)
VA	41,29	4,55	2,23
VB	11,24	2,86	1,40
VC	11,24	3,70	1,22

A elevada impedância de aterramento contribui para uma maior elevação das tensões na baixa tensão, o que pode ser um fator determinante para a degradação dos DPS. A Fig. 9 e 10 ilustra a resposta transitória do sistema em Baixa Tensão (BT) e Média Tensão (MT) respectivamente neste cenário.

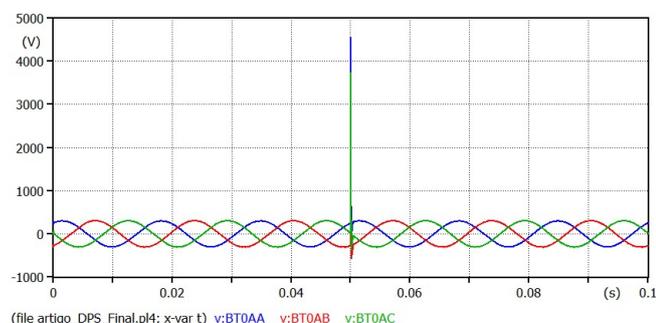


Fig. 9. Resposta transitória do sistema do lado BT com alta impedância.

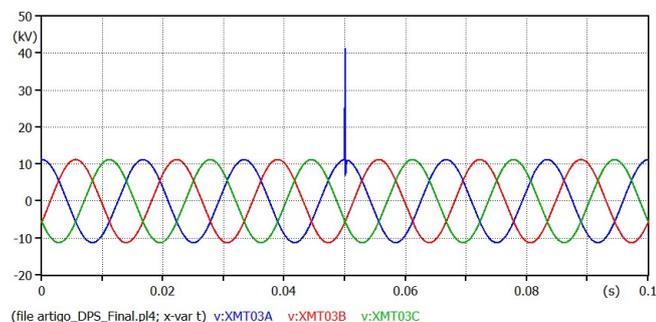


Fig. 10. Resposta transitória do sistema do lado MT com alta impedância.

B. Cenário 2: Aterramento de média impedância:

O segundo cenário considera um aterramento intermediário, reduzindo a impedância e melhorando a equipotencialização do sistema. Os resultados estão descritos na Tabela 2.

TABELA 2: Resultado da simulação com aterramento de média impedância.

	Máxima tensão no primário do Trafo (kV)	Máxima tensão no secundário do do	BT para Neutro (kV)
VA	41,18	3,51	2,57
VB	11,24	1,35	1,47
VC	11,24	2,05	1,07

Observa-se uma redução significativa das tensões na baixa tensão, reduzindo o impacto dos surtos sobre os DPS. A Fig. 11 e 12 apresenta a resposta transitória do sistema em Baixa Tensão (BT) e Média Tensão (MT) respectivamente para esta condição.

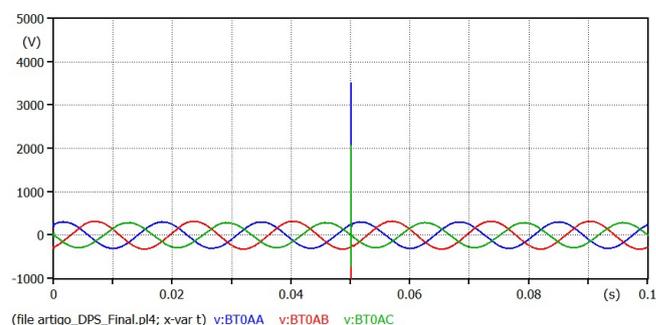


Fig. 11. Resposta transitória do sistema do lado BT com impedância média.

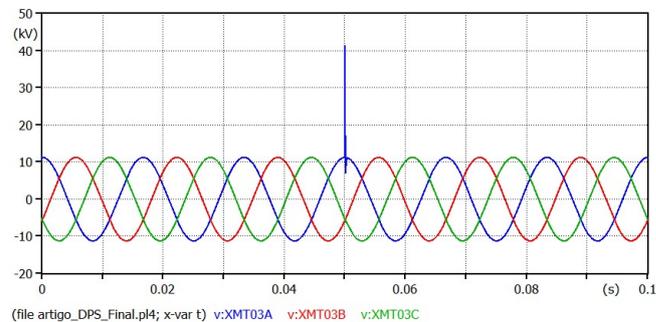


Fig. 12. Resposta transitória do sistema do lado MT com impedância média.

C. Cenário 3: Aterramento de baixa impedância:

No terceiro cenário, a resistência de aterramento foi significativamente reduzida, garantindo uma melhor dissipação das correntes de surto. Os resultados estão detalhados na Tabela 3.

TABELA 3: Resultado da simulação com aterramento de baixa impedância.

	Máxima tensão no primário do Trafo (kV)	Máxima tensão no secundário do do	BT para Neutro (kV)
VA	41,46	3,22	3,18
VB	11,24	0,86	0,83
VC	11,24	0,29	0,29

Neste caso, houve uma expressiva redução da amplitude das tensões transitórias e do tempo de duração do surto. A Fig. 13 e 14 apresenta a resposta do sistema em Baixa Tensão (BT) e Média Tensão (MT) respectivamente neste cenário.

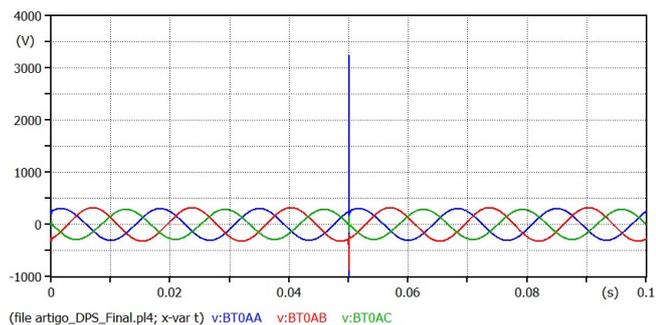


Fig. 13. Resposta transitória do sistema do lado BT com baixa impedância.

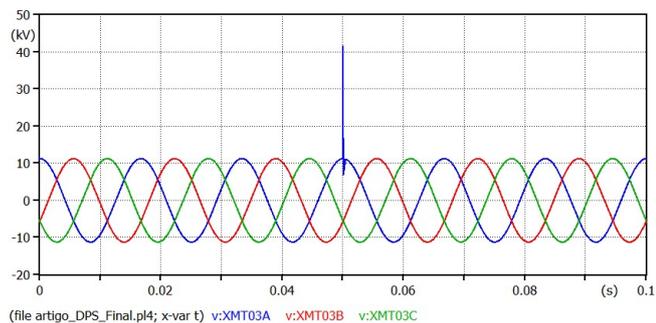


Fig. 14. Resposta transitória do sistema do lado MT com baixa impedância.

D. Considerações Gerais

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que a impedância do aterramento do secundário do transformador desempenha um papel crucial na propagação de surtos na instalação elétrica. Nos cenários com maior impedância, as tensões na baixa tensão foram significativamente elevadas, aumentando o risco de danos aos DPS. No Cenário 3, com aterramento de baixa impedância, a redução das tensões sugere uma melhor proteção contra surtos.

Outro aspecto relevante é que a descarga atmosférica não impactou significativamente a média tensão.

VI. CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos nas simulações evidencia a importância de um projeto adequado de aterramento para sistemas elétricos em instalações críticas, como hospitais. Verificou-se que a deficiência na equipotencialização do sistema pode resultar em elevações de tensão na baixa tensão, comprometendo a integridade dos DPS e aumentando os riscos para os equipamentos conectados.

A adoção de um aterramento com baixa impedância mostrou-se eficaz na redução dos efeitos dos surtos, garantindo uma dissipação mais eficiente das correntes transitórias. Dessa forma, é essencial que projetos elétricos hospitalares priorizem soluções que garantam um aterramento adequado, reduzindo os riscos operacionais e aumentando a segurança do sistema elétrico como um todo.

Os resultados obtidos corroboram com a hipótese inicial de que a deficiência no aterramento contribuiu para a queima pontual dos DPS na instalação hospitalar. Medidas

preventivas, como a revisão do sistema de aterramento e a implantação de soluções de proteção adicionais, devem ser adotadas para minimizar os impactos de surtos elétricos nesses ambientes críticos.

Vale ressaltar que a propagação do evento (transitório eletromagnético) ocorre, através do transformador, pelos acoplamentos capacitivos deste dispositivo, os quais foram, neste trabalho, devidamente modelados.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido à pesquisa através do fomento de bolsas de mestrado.

REFERÊNCIAS

- [1] “NBR IEC 61643-1: Dispositivos de proteção contra surtos – Parte 1: Requisitos de segurança e de desempenho para dispositivos de proteção de baixa tensão – Parte 1: Requisitos de segurança e de desempenho para dispositivos de proteção de baixa tensão”, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, 2007.
- [2] “NBR 5419-1: Proteção contra descargas atmosféricas – Parte 1: Princípios gerais”, Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), Rio de Janeiro, 2015.
- [3] CLAMPER, “Conheça a diferença das classes dos DPS - CLAMPER FRONT,” disponível em: <https://clamper.com.br/fique-ligado/conheca-a-diferenca-das-classes-dos-dps-clamper-front/>. Acesso em: fevereiro de 2025.
- [4] ATPDraw, “ATPDraw - Pré-processador gráfico para ATP,” disponível em: <https://www.atpdraw.net/news.php>. Acesso em: fevereiro de 2025.
- [5] J. C. Das, *Transitórios em Sistemas Elétricos: Análise, Reconhecimento e Mitigação*, Capítulo 14: Comportamento Transitório de Transformadores. McGraw-Hill Education, 2010.
- [6] Grupo Equatorial, “Especificação Técnica – ET 002 Revisão 1 – 2021. Para-Raios de Distribuição,” 2021. Disponível em: <https://ma.equatorialenergia.com.br/wp-content/uploads/2023/04/ET.00002.EQTL-01-ET.002-PARA-RAIOS-DE-DISTRIBUICAO.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2025.