

SUBESTAÇÃO ELÉTRICA: O QUE É, TIPOS, COMPONENTES E FUNCIONAMENTO

Entenda o que é uma subestação elétrica, como funciona, seus tipos, componentes, bays, barramentos, proteção, aterramento, automação e serviços auxiliares.

SUMÁRIO

1. O QUE É UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA	4
1.1. SUBESTAÇÃO, CABINE PRIMÁRIA E POSTO DE TRANSFORMAÇÃO	4
2. COMO FUNCIONA UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA	5
2.1. SISTEMA PRIMÁRIO	5
2.2. SISTEMA SECUNDÁRIO	5
2.3. INFRAESTRUTURA DE APOIO	6
3. PRINCIPAIS TIPOS DE SUBESTAÇÃO	6
3.1. SUBESTAÇÃO ELEVADORA	6
3.2. SUBESTAÇÃO ABAIXADORA	6
3.3. SUBESTAÇÃO DE TRANSMISSÃO	7
3.4. SUBESTAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO	7
3.5. SUBESTAÇÃO INDUSTRIAL OU DE CONSUMIDOR	7
3.6. SUBESTAÇÃO AIS	7
3.7. SUBESTAÇÃO GIS	7
3.8. SUBESTAÇÃO HÍBRIDA	8
3.9. SUBESTAÇÃO ABRIGADA	8
3.10. SUBESTAÇÃO MÓVEL	8
3.11. SUBESTAÇÃO CONVENCIONAL, AUTOMATIZADA E DIGITAL	8
4. DIAGRAMA UNIFILAR, BARRAMENTOS E BAYS	9
4.1. O QUE É UM BARRAMENTO	9
4.2. O QUE É UM BAY DE SUBESTAÇÃO	9
4.3. TIPOS DE BAY	9
4.4. ARRANJOS DE BARRAMENTO	9
5. PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA SUBESTAÇÃO	10
5.1. TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA	10
5.2. DISJUNTORES	10
5.3. CHAVES SECCIONADORAS	10
5.4. CHAVES DE ATERRAMENTO	11
5.5. TRANSFORMADORES DE CORRENTE	11
5.6. TRANSFORMADORES DE POTENCIAL	11
5.7. PARA-RAIOS	11
5.8. CABOS, TERMINAÇÕES E CONECTORES	11
5.9. ISOLADORES E ESTRUTURAS	12
6. PROTEÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO	12

6.1. RELÉS E IEDS	12
6.2. INTERTRAVAMENTOS	12
6.3. SCADA E SISTEMAS SUPERVISÓRIOS	12
6.4. TELECOMUNICAÇÕES E SINCRONIZAÇÃO	13
6.5. TELEASSISTÊNCIA E MONITORAMENTO OPERATIVO	13
7. SISTEMA DE ATERRAMENTO, SPDA E PROTEÇÃO CONTRA SURTOS	13
7.1. SPDA E SURTOS	14
8. SERVIÇOS AUXILIARES	14
8.1. CORRENTE CONTÍNUA	14
8.2. CORRENTE ALTERNADA	14
8.3. NO-BREAKS E FONTES	14
9. INFRAESTRUTURA FÍSICA E CIVIL	14
9.1. DISTÂNCIAS, ACESSOS E MANUTENÇÃO	15
10. PROJETO, ESTUDOS E DOCUMENTAÇÃO	15
11. COMISSIONAMENTO E ENTRADA EM OPERAÇÃO	15
12. MANUTENÇÃO E MODERNIZAÇÃO	15
13. EXEMPLO SIMPLIFICADO DE FUNCIONAMENTO	16
14. ERROS COMUNS AO ANALISAR OU PROJETAR UMA SUBESTAÇÃO	16
15. COMO ESCOLHER A ARQUITETURA ADEQUADA	16
16. CONCLUSÃO	17
16.1. SOLUÇÕES	18
16.2. SERVIÇOS DE ENGENHARIA	18
16.3. MATERIAIS TÉCNICOS COMPLEMENTARES	18
16.4. CONTEÚDOS CORRELATOS	18

Uma **subestação elétrica** é uma instalação que conecta diferentes partes do sistema elétrico e reúne equipamentos para transformar níveis de tensão, seccionar circuitos, interromper correntes de falta, medir grandezas, proteger ativos e supervisionar a operação.

Ela pode estar associada à geração, transmissão, distribuição ou ao atendimento de consumidores industriais, comerciais e institucionais. Embora o porte e a tecnologia variem, toda subestação precisa coordenar equipamentos primários, sistemas de proteção e controle, aterramento, serviços auxiliares, telecomunicações e infraestrutura física.

Este artigo apresenta uma visão integrada de como uma subestação funciona, quais são seus principais tipos, como os componentes se organizam em bays e barramentos e quais interfaces precisam ser consideradas em projeto, operação, manutenção e modernização.

1. O QUE É UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA

A subestação é um ponto de conexão e controle dentro do sistema elétrico. Sua função não se limita a elevar ou reduzir a tensão. Dependendo do empreendimento, ela pode:

A classificação de uma instalação como subestação não depende apenas da presença de um transformador. O conjunto deve ser analisado pela função desempenhada, pelo nível de tensão, pelo arranjo elétrico, pelos dispositivos de manobra e pelas responsabilidades operacionais.

1.1. SUBESTAÇÃO, CABINE PRIMÁRIA E POSTO DE TRANSFORMAÇÃO

No uso cotidiano, os termos podem aparecer como equivalentes, mas representam escopos diferentes.

Uma **cabine primária** normalmente recebe energia em média tensão, executa medição, proteção, seccionamento e transformação para baixa tensão. É comum em indústrias, hospitais, centros comerciais e grandes edifícios.

Um **posto de transformação** tende a ser uma instalação mais simples, destinada principalmente à transformação e distribuição local. Já uma **subestação** pode incluir múltiplos transformadores, barramentos, bays, linhas, sistemas de proteção, automação, telecomunicações e diferentes níveis de tensão.

A nomenclatura adotada pelo proprietário ou pela distribuidora não substitui a análise técnica do arranjo e das funções existentes.

2. COMO FUNCIONA UMA SUBESTAÇÃO ELÉTRICA

O funcionamento pode ser compreendido acompanhando o fluxo da energia e das informações.

A energia entra pela linha, cabo ou barramento de suprimento. Para-raios limitam sobretensões; seccionadoras estabelecem condições de isolamento; transformadores de corrente e potencial fornecem sinais para medição e proteção; o disjuntor executa manobras e interrompe faltas; o transformador altera o nível de tensão; e o barramento distribui a energia para outros bays ou alimentadores.

Ao mesmo tempo, relés e IEDs analisam correntes, tensões, frequência, potência e estados dos equipamentos. Quando identificam uma condição anormal, comandam o disjuntor correspondente. Sistemas SCADA registram eventos, apresentam alarmes e, quando previsto, permitem operação remota.

2.1. SISTEMA PRIMÁRIO

O sistema primário é formado pelos equipamentos diretamente expostos à tensão e à corrente do circuito de potência. Inclui barramentos, transformadores, disjuntores, seccionadoras, TCs, TPs, para-raios, cabos, terminações, isoladores e chaves de aterramento.

Esses componentes conduzem, transformam, seccionam, interrompem ou medem a energia elétrica. Sua especificação considera tensão, corrente nominal, curto-circuito, suportabilidade dielétrica, esforços mecânicos, temperatura, ambiente e regime de operação.

2.2. SISTEMA SECUNDÁRIO

O sistema secundário reúne proteção, controle, supervisão, automação, medição, telecomunicações e registro de eventos. Ele inclui relés, IEDs, controladores, UTRs, painéis, redes industriais, servidores, estações de operação e sistemas de sincronização de tempo.

O sistema secundário determina como a instalação reconhece faltas, executa intertravamentos, apresenta estados, registra ocorrências e se comunica com centros de operação.

2.3. INFRAESTRUTURA DE APOIO

A operação depende ainda de serviços auxiliares em corrente alternada e contínua, bancos de baterias, retificadores, iluminação, ventilação, drenagem, fundações, canaletas, acessos, contenção de óleo, proteção contra incêndio, cercamento e documentação.

Uma falha nesses sistemas pode indisponibilizar proteção, comando ou comunicação mesmo quando os equipamentos principais estão eletricamente íntegros.

Uma subestação deve ser projetada como sistema integrado, não como uma soma de equipamentos.

Arranjo, proteção, aterramento, automação, infraestrutura civil e serviços auxiliares precisam ser coordenados desde as premissas do empreendimento.

Conhecer o serviço de projeto de subestação de média tensão

3. PRINCIPAIS TIPOS DE SUBESTAÇÃO

As subestações podem ser classificadas pela função no sistema, pela tecnologia construtiva, pelo nível de tensão e pelo regime de operação. Uma mesma instalação pode pertencer simultaneamente a mais de uma categoria.

3.1. SUBESTAÇÃO ELEVADORA

A subestação elevadora aumenta a tensão produzida por uma usina para reduzir a corrente e as perdas no transporte de energia. É aplicada em usinas hidrelétricas, termelétricas, eólicas, solares e outras unidades de geração.

O arranjo deve coordenar transformadores elevadores, conexão dos geradores, proteção, sincronismo, serviços auxiliares e interface com a rede de transmissão ou distribuição.

3.2. SUBESTAÇÃO ABAIXADORA

A subestação abaixadora reduz a tensão de transmissão ou subtransmissão para níveis de distribuição ou utilização. Pode alimentar redes urbanas, instalações industriais, complexos comerciais, data centers e infraestruturas críticas.

3.3. SUBESTAÇÃO DE TRANSMISSÃO

A subestação de transmissão interliga linhas e transforma níveis de alta ou extra-alta tensão. Normalmente possui múltiplos bays, barramentos, sistemas complexos de proteção, teleproteção, automação, telecomunicações e requisitos elevados de disponibilidade.

A aplicação de requisitos dos Procedimentos de Rede do ONS depende do agente, da função da instalação e de seu enquadramento no sistema. Esses requisitos não devem ser automaticamente generalizados para qualquer subestação industrial ou cabine primária.

3.4. SUBESTAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO

A subestação de distribuição recebe energia em alta ou média tensão e alimenta redes de distribuição em níveis inferiores. Pode possuir transformadores de potência, barramentos de média tensão, alimentadores, bancos de capacitores, religadores, proteção e supervisão remota.

3.5. SUBESTAÇÃO INDUSTRIAL OU DE CONSUMIDOR

A subestação industrial atende cargas internas de uma planta, edifício ou complexo. Além da transformação, seu projeto precisa considerar continuidade do processo, seletividade, geração própria, motores, qualidade de energia, expansões e segurança operacional.

3.6. SUBESTAÇÃO AIS

A subestação **AIS – Air Insulated Substation** utiliza o ar como principal meio de isolamento. Equipamentos e barramentos ficam instalados em pátios externos ou ambientes abrigados com afastamentos elétricos definidos.

A solução costuma ocupar maior área, mas facilita a visualização dos equipamentos e pode oferecer flexibilidade para ampliações. O projeto deve considerar poluição, umidade, altitude, descargas atmosféricas, animais, corrosão e manutenção.

3.7. SUBESTAÇÃO GIS

A subestação **GIS – Gas Insulated Substation** utiliza módulos encapsulados com isolamento gasoso. A tecnologia reduz a área necessária e protege partes energizadas contra contaminação externa.

A solução exige engenharia específica para interfaces, compartimentos, supervisão, expansão, ensaios e manutenção. A menor área não elimina a necessidade de acesso, segurança, ventilação e planejamento de contingência.

3.8. SUBESTAÇÃO HÍBRIDA

A subestação híbrida combina módulos compactos com equipamentos AIS. Pode ser aplicada em ampliações, restrições de espaço ou modernizações nas quais parte da instalação existente é preservada.

3.9. SUBESTAÇÃO ABRIGADA

A subestação abrigada utiliza cubículos, painéis ou módulos instalados em edificação. É comum em média tensão e em locais com restrição de área, exposição ambiental ou requisitos arquitetônicos.

O projeto precisa coordenar compartimentação, arco interno, ventilação, rotas de fuga, acesso, combate a incêndio, pressão, canaletas, cabos e serviços auxiliares.

3.10. SUBESTAÇÃO MÓVEL

Subestações móveis são montadas sobre carretas ou plataformas e podem ser usadas em contingências, obras, manutenção programada ou atendimento temporário. Sua conexão exige análise de aterramento, proteção, transporte, interfaces, estabilidade e segurança da instalação provisória.

3.11. SUBESTAÇÃO CONVENCIONAL, AUTOMATIZADA E DIGITAL

Uma subestação convencional utiliza circuitos secundários cabeados e funções distribuídas em painéis. Uma subestação automatizada incorpora IEDs, redes de comunicação, supervisão e comandos remotos. Já uma subestação digital amplia o uso de comunicação padronizada e dados digitais entre campo, proteção e controle.

O termo “digital” não significa ausência total de equipamentos convencionais. A arquitetura deve ser definida pelas funções implementadas, pela interoperabilidade, pelos requisitos de desempenho e pelos ensaios de integração.

4. DIAGRAMA UNIFILAR, BARRAMENTOS E BAYS

O diagrama unifilar representa a estrutura elétrica da subestação de forma simplificada. Ele mostra linhas, transformadores, barramentos, disjuntores, seccionadoras, TCs, TPs, para-raios e conexões entre os circuitos.

A partir do unifilar são definidas zonas de proteção, possibilidades de manobra, condições de manutenção, caminhos de transferência e contingências.

4.1. O QUE É UM BARRAMENTO

O barramento é o nó comum de conexão entre circuitos de um mesmo nível de tensão. Ele pode interligar linhas, transformadores, alimentadores, bancos de capacitores, reatores e bays de acoplamento.

Seu dimensionamento considera corrente permanente, curto-circuito, elevação de temperatura, esforços eletrodinâmicos, coordenação de isolamento e expansão futura.

Barramentos podem ser rígidos, flexíveis, encapsulados em GIS ou instalados dentro de cubículos de média tensão.

4.2. O QUE É UM BAY DE SUBESTAÇÃO

O bay é a unidade funcional associada a um circuito. Cada bay reúne os equipamentos necessários para conectar uma linha, transformador, alimentador ou outro elemento ao barramento.

Um bay pode conter disjuntor, seccionadoras, chave de aterramento, TCs, TPs, para-raios, relés, comandos, medição e interfaces de automação.

4.3. TIPOS DE BAY

Os principais são:

4.4. ARRANJOS DE BARRAMENTO

Entre os arranjos mais comuns estão barra simples, barra simples seccionada, barra principal e transferência, barra dupla, barramento em anel, disjuntor e meio e barra dupla com duplo disjuntor.

A escolha influencia disponibilidade, flexibilidade, manutenção, complexidade de proteção, área e custo. O arranjo deve ser selecionado pela consequência de perda de circuitos,

regime operativo e necessidade de expansão.

5. PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA SUBESTAÇÃO

Os componentes devem ser analisados como parte de uma arquitetura. A especificação isolada de um equipamento não assegura o desempenho do conjunto.

5.1. TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

O transformador altera o nível de tensão entre sistemas. Seus principais parâmetros incluem potência, tensões dos enrolamentos, impedância, grupo de ligação, nível de isolamento, perdas, resfriamento, suportabilidade a curto-circuito, comutação e acessórios.

Transformadores imersos em líquido podem possuir conservador, radiadores, relé Buchholz, dispositivos de alívio, indicadores de temperatura e sistemas de monitoramento. Transformadores a seco possuem requisitos próprios de ventilação, isolamento, temperatura e ambiente.

5.2. DISJUNTORES

O disjuntor abre e fecha circuitos em carga e interrompe correntes de curto-circuito. Atua normalmente sob comando dos relés de proteção.

Sua especificação considera tensão, corrente nominal, capacidade de interrupção, corrente de curta duração, sequência de operação, tempo de abertura, meio de extinção do arco e mecanismos de acionamento.

Em média tensão, são comuns disjuntores a vácuo. Em níveis superiores, podem ser usados disjuntores isolados em gás ou outras tecnologias adequadas à aplicação.

5.3. CHAVES SECCIONADORAS

As seccionadoras isolam trechos, selecionam barramentos, estabelecem bypasses e criam condições de manutenção. Elas não substituem o disjuntor na interrupção de correntes de curto-circuito.

O projeto deve coordenar capacidade de manobra, intertravamentos, indicação de posição, acionamento, supervisão e procedimento operativo.

5.4. CHAVES DE ATERRAMENTO

As chaves de aterramento conectam à malha de terra trechos isolados e desenergizados. Elas ajudam a descarregar capacitâncias e reduzir riscos por tensões induzidas ou reenergização indevida.

A operação precisa ser intertravada com os demais equipamentos conforme a filosofia da instalação.

5.5. TRANSFORMADORES DE CORRENTE

Os TCs reduzem correntes primárias para valores adequados a relés, medidores e sistemas de supervisão. Podem ser destinados à proteção, medição ou uso combinado.

Relação, classe, carga, saturação, fator limite de precisão e suportabilidade térmica influenciam diretamente a proteção e a medição.

5.6. TRANSFORMADORES DE POTENCIAL

TPs ou TVs fornecem sinais de tensão para medição, proteção, sincronismo, supervisão e faturamento. Podem ser indutivos ou capacitivos, conforme o nível de tensão e a aplicação.

5.7. PARA-RAIOS

Os para-raios limitam sobretensões de origem atmosférica ou de manobra. São instalados próximos a transformadores, linhas, barramentos e outros equipamentos sensíveis.

A proteção depende da coordenação entre nível de proteção, suportabilidade dos equipamentos, distância de conexão, aterramento e corrente de descarga.

5.8. CABOS, TERMINAÇÕES E CONECTORES

Cabos de potência conectam equipamentos e podem substituir trechos de barramento ou linhas aéreas. Terminações, emendas, blindagens e conexões são partes críticas da cadeia de isolamento.

O projeto considera capacidade de corrente, curto-circuito, queda de tensão, isolamento, aterramento das blindagens, esforços, rotas, curvatura e condições ambientais.

5.9. ISOLADORES E ESTRUTURAS

Isoladores sustentam condutores e equipamentos mantendo separação elétrica. Estruturas e fundações precisam suportar peso, vento, esforços de curto-circuito, vibração e ações de montagem.

6. PROTEÇÃO, CONTROLE E AUTOMAÇÃO

O sistema de proteção identifica condições anormais e isola somente a parte necessária da instalação. O objetivo é limitar danos e preservar a continuidade das partes saudáveis.

6.1. RELÉS E IEDS

Relés e IEDs recebem sinais de TCs e TP, calculam grandezas e executam funções como sobrecorrente, diferencial, distância, falha de disjuntor, sobretensão, subtensão, frequência e sincronismo.

Os ajustes precisam ser coordenados com o estudo de curto-circuito, seletividade, topologia e características dos equipamentos.

6.2. INTERTRAVAMENTOS

Intertravamentos elétricos, mecânicos e lógicos impedem sequências de manobra incompatíveis. Eles podem bloquear o fechamento de uma chave de aterramento sobre circuito energizado, impedir operação de seccionadora sob condição inadequada ou controlar transferências entre fontes.

Intertravamento não substitui procedimento operativo, identificação e verificação da condição real da instalação.

6.3. SCADA E SISTEMAS SUPERVISÓRIOS

O SCADA apresenta estados, medições, alarmes e eventos e pode permitir comandos remotos. A interface deve diferenciar dados válidos, inválidos, antigos e indisponíveis.

A operação remota exige tratamento de perda de comunicação, falha de comando, discordância de posição e contingência.

6.4. TELECOMUNICAÇÕES E SINCRONIZAÇÃO

Redes ópticas, switches, roteadores, gateways, rádios e sistemas de sincronização conectam IEDs, relés, servidores e centros de operação.

Disponibilidade, latência, segregação, redundância, gerenciamento, cibersegurança e sincronização de tempo são requisitos essenciais para correlação de eventos e operação confiável.

6.5. TELEASSISTÊNCIA E MONITORAMENTO OPERATIVO

A teleassistência mantém a instalação operacionalmente assistida a partir de outro local. Pode combinar supervisão, telecontrole, vídeo, comunicação com equipes, alarmes, controle de acesso e procedimentos de contingência.

O monitoramento por imagens pode apoiar a confirmação de posição de equipamentos ou condições de campo, mas não é automaticamente obrigatório em toda subestação nem substitui sinais, sensores e intertravamentos.

Teleassistência exige integração entre automação, vídeo, telecomunicações e procedimentos operativos.

A solução deve ser dimensionada conforme o regime de operação, a criticidade dos equipamentos e as evidências necessárias para cada manobra.

Conhecer a solução de teleassistência e monitoramento operativo

7. SISTEMA DE ATERRAMENTO, SPDA E PROTEÇÃO CONTRA SURTOS

A malha de aterramento conduz correntes de falta e controla potenciais no solo e nas estruturas. Seu projeto considera resistividade, corrente de falta, tempo de eliminação, tensões de passo, tensões de toque, potencial de malha e potenciais transferidos.

Estruturas, carcaças, cercas, portões, neutros, blindagens, para-raios, painéis e partes metálicas precisam ser equipotencializados conforme a arquitetura da instalação.

A resistência global de aterramento é apenas um dos parâmetros. Um valor baixo não demonstra isoladamente que as tensões de passo e toque são seguras.

7.1. SPDA E SURTOS

Subestações expostas precisam coordenar captação, descidas, aterramento e distâncias de proteção contra descargas atmosféricas. Para-raios no sistema primário e DPS em circuitos de baixa tensão, controle e telecomunicações limitam surtos conduzidos.

O projeto deve tratar também compatibilidade eletromagnética, blindagens, rotas e separação entre cabos de potência, controle e comunicação.

8. SERVIÇOS AUXILIARES

Serviços auxiliares mantêm proteção, comando, comunicação, iluminação, ventilação e motores disponíveis.

8.1. CORRENTE CONTÍNUA

O sistema CC normalmente inclui banco de baterias, carregadores, quadros de distribuição e supervisão. Ele alimenta relés, bobinas de abertura e fechamento, automação, telecomunicações e circuitos críticos.

A autonomia deve ser dimensionada conforme as funções que precisam permanecer disponíveis durante a perda da alimentação CA.

8.2. CORRENTE ALTERNADA

O sistema CA auxiliar alimenta iluminação, tomadas, aquecimento de painéis, ventilação, bombas, carregadores e cargas prediais. Pode ser suprido por transformador auxiliar, rede externa, grupo gerador ou fontes redundantes.

8.3. NO-BREAKS E FONTES

No-breaks e fontes estabilizadas podem alimentar servidores, estações de operação e equipamentos eletrônicos. Sua aplicação deve ser coordenada com o sistema CC para evitar duplicidade sem função clara ou pontos únicos de falha.

9. INFRAESTRUTURA FÍSICA E CIVIL

A infraestrutura civil interfere diretamente no desempenho e na manutenção da subestação.

Fundações e estruturas suportam equipamentos. Canaletas e eletrodutos organizam cabos. Drenagem evita alagamentos. Bacias de contenção controlam vazamentos de

óleo. Paredes corta-fogo e sistemas de detecção reduzem consequências de incêndio. Cercas, portões e controle de acesso restringem aproximação às áreas energizadas.

A casa de comando precisa acomodar painéis, baterias, telecomunicações, servidores e estações de operação, com climatização, iluminação, aterramento interno, segurança e acessos adequados.

9.1. DISTÂNCIAS, ACESSOS E MANUTENÇÃO

A disposição física deve respeitar afastamentos elétricos, circulação, rotas de fuga, retirada de equipamentos, acesso de veículos, plataformas e áreas de trabalho.

Uma instalação pode atender ao diagrama elétrico e ainda ser difícil ou insegura de manter caso não exista espaço para extração de disjuntores, substituição de transformadores, ensaios ou montagem de aterramento temporário.

10. PROJETO, ESTUDOS E DOCUMENTAÇÃO

O projeto de uma subestação integra disciplinas elétricas, civis, mecânicas, automação, telecomunicações, segurança e proteção contra incêndio.

Entre os documentos e estudos podem estar:

A abrangência varia conforme o nível de tensão, a função da instalação, o padrão do proprietário e a distribuidora ou agente responsável.

11. COMISSIONAMENTO E ENTRADA EM OPERAÇÃO

O comissionamento verifica se equipamentos e sistemas foram instalados, configurados e integrados conforme o projeto.

Os testes podem incluir isolamento, relação de transformação, resistência, continuidade, comandos, intertravamentos, proteção, disparos, comunicação, alarmes, sincronização, SCADA, serviços auxiliares e cadeia ponta a ponta.

A energização não deve ser utilizada como primeiro teste de funções que poderiam ter sido verificadas de forma controlada.

12. MANUTENÇÃO E MODERNIZAÇÃO

A manutenção deve considerar condição, criticidade, histórico, tecnologia, ambiente e recomendações dos fabricantes. Limpeza e reaperto são apenas parte do processo.

Inspeções, termografia, ensaios elétricos, testes de proteção, avaliação de aterramento, verificação de serviços auxiliares e atualização documental ajudam a identificar degradações e divergências.

A modernização pode envolver substituição de relés, retrofit de disjuntores, novos cubículos, automação, teleassistência, medição, proteção contra arco, atualização de aterramento e revisão dos serviços auxiliares.

13. EXEMPLO SIMPLIFICADO DE FUNCIONAMENTO

Considere uma indústria atendida em 13,8 kV com dois transformadores e barramento de baixa tensão seccionado.

A entrada em média tensão possui seccionamento, medição, proteção e disjuntor. O barramento de média tensão alimenta dois bays de transformador. Cada transformador reduz a tensão para o nível de utilização. Disjuntores de baixa tensão alimentam os quadros gerais e o acoplamento permite transferir cargas conforme a condição operacional.

TCs fornecem sinais aos relés; o sistema CC mantém comandos e disparos; o SCADA registra estados; e a malha de aterramento conecta equipamentos e estruturas.

Se ocorrer uma falta em um alimentador, a proteção correspondente deve abrir somente o disjuntor necessário. Se o transformador for retirado para manutenção, o arranjo e a capacidade do sistema definem quais cargas podem ser transferidas para a outra fonte.

Esse exemplo mostra que o funcionamento depende da coordenação entre topologia, capacidade, proteção, intertravamentos, aterramento e operação.

14. ERROS COMUNS AO ANALISAR OU PROJETAR UMA SUBESTAÇÃO

Entre os erros mais frequentes estão:

15. COMO ESCOLHER A ARQUITETURA ADEQUADA

A arquitetura deve partir da função da instalação e das consequências de falha. Nível de tensão, potência, criticidade das cargas, redundância, disponibilidade, expansão, manutenção, área, ambiente, operação local ou remota e padrões do proprietário influenciam a solução.

Não existe um arranjo universalmente melhor. Uma barra simples pode ser adequada para uma instalação de menor criticidade, enquanto outra operação exige barra dupla,

acoplamento, fontes independentes ou bays redundantes.

A decisão deve ser registrada por critérios técnicos, operacionais e econômicos, não apenas pela comparação de preços dos equipamentos.

16. CONCLUSÃO

Uma subestação elétrica é um sistema integrado de potência, proteção, controle, aterramento, telecomunicações e infraestrutura. Transformadores, barramentos, bays, disjuntores, seccionadoras, TCs, TP's e para-raios executam funções primárias; relés, IEDs e SCADA coordenam proteção e operação; serviços auxiliares mantêm comando e comunicação; e a infraestrutura física permite instalação e manutenção seguras.

Compreender essa integração é essencial para projetar, operar, manter ou modernizar a instalação. A confiabilidade não depende de um único equipamento, mas da coerência entre arranjo, especificação, estudos, documentação, procedimentos e testes.

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14039: instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro: ABNT.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15751: sistemas de aterramento de subestações – requisitos. Rio de Janeiro: ABNT.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR IEC 61850-10: redes e sistemas de comunicação para automação de sistemas de potência – ensaios de conformidade. Rio de Janeiro: ABNT.

[4] OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Procedimentos de Rede: requisitos aplicáveis a instalações e agentes do Sistema Interligado Nacional. Rio de Janeiro: ONS.

[5] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61936-1: power installations exceeding 1 kV AC and 1,5 kV DC – general rules. Geneva: IEC.

O que é uma subestação elétrica? É uma instalação que conecta partes do sistema elétrico e reúne equipamentos para transformar tensão, seccionar circuitos, interromper faltas, medir grandezas, proteger ativos e controlar a operação. **Quais são os principais tipos de subestação?** Podem ser elevadoras, abaixadoras, de transmissão, distribuição ou industriais. Pela construção, podem ser AIS, GIS, híbridas, abrigadas ou móveis. Também podem ser convencionais, automatizadas ou digitais. **Quais são os principais componentes de uma subestação?** Transformadores, barramentos, bays, disjuntores, seccionadoras, chaves de aterramento, TCs, TP's, para-raios, relés, IEDs, sistemas auxiliares, aterramento, telecomunicações e infraestrutura civil. **Qual é a diferença entre**

barramento e bay? O barramento é o nó comum que conecta circuitos de um mesmo nível de tensão. O bay é a unidade funcional que conecta uma linha, transformador, alimentador ou outro circuito ao barramento. **Toda subestação possui transformador?** Não necessariamente. Algumas subestações executam apenas seccionamento, manobra, conexão ou compensação, sem alterar o nível de tensão. **Qual é a função do aterramento em uma subestação?** Conduzir correntes de falta e surtos, controlar tensões de passo e toque, equipotencializar estruturas e reduzir riscos para pessoas e equipamentos. **Qual é a diferença entre subestação convencional e digital?** A convencional utiliza mais circuitos secundários cabeados e funções distribuídas em painéis. A digital amplia o uso de comunicação e dados digitais entre equipamentos, proteção e controle, conforme a arquitetura adotada. **O que deve ser testado antes da energização?** Equipamentos, isolamento, comandos, intertravamentos, proteção, disparos, medições, comunicação, SCADA, serviços auxiliares e a cadeia ponta a ponta das funções críticas.

16.1. SOLUÇÕES

16.2. SERVIÇOS DE ENGENHARIA

16.3. MATERIAIS TÉCNICOS COMPLEMENTARES

16.4. CONTEÚDOS CORRELATOS

Sobre a A3A Engenharia de Sistemas

Com 30 anos de história, a A3A Engenharia de Sistemas se consolidou como referência em serviços de Engenharia, oferecendo soluções integradas de Telecomunicações, Segurança Eletrônica, Segurança Digital e Instalações Elétricas.

A empresa atua em todas as etapas do ciclo de Engenharia, desde a elaboração de projetos e consultoria técnica até a implantação, manutenção e retrofit de sistemas, sempre em conformidade com as normas técnicas e melhores práticas do setor.