



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**



ALDERI LEOCÁDIO DA SILVA FILHO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**SERVIÇOS AUXILIARES EM SUBESTAÇÕES DA REDE BÁSICA – CONCEITOS
E PROJETO**

**CAMPINA GRANDE – PB
OUTUBRO – 2024**

ALDERI LEOCÁDIO DA SILVA FILHO

**SERVIÇOS AUXILIARES EM SUBESTAÇÕES DA REDE BÁSICA – CONCEITOS
E PROJETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Coordenação do Curso de
Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande – UFCG,
como parte dos requisitos para a obtenção
do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Eletrotécnica

Karcus Marcelus Colaço Dantas, D.Sc.
Orientador

Campina Grande – PB
Outubro – 2024

ALDERI LEOCÁDIO DA SILVA FILHO

**SERVIÇOS AUXILIARES EM SUBESTAÇÕES DA REDE BÁSICA – CONCEITOS
E PROJETO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido à Coordenação do Curso de
Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande – UFCG,
como parte dos requisitos para a obtenção
do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.

Aprovado em 01/11/2024

Karcius Marcelus Colaço Dantas, D.Sc.
Orientador

Roberto Silva De Siqueira
Professor Avaliador

Campina Grande – PB
Outubro – 2024

RESUMO

Os serviços auxiliares são essenciais para a operação eficiente das subestações, pois asseguram a alimentação para o sistema de proteção, controle e supervisão, além de fornecer energia para iluminação, tomadas e outras cargas importantes em baixa tensão. Esses serviços também viabilizam a continuidade das operações essenciais em situações de emergência. Este Trabalho de Conclusão de Curso aborda os serviços auxiliares em subestações da rede básica, com o objetivo principal de esclarecer seus conceitos, composição e funcionalidade. Para isso, foi realizada uma revisão da literatura e uma exemplificação dos conceitos por meio de um projeto de serviços auxiliares de uma subestação da rede básica, com nível primário de tensão de 230 kV. Foram analisados diagramas unifilar, funcional, lógico e de interligação, relacionando-os com os requisitos estabelecidos pelo ONS por meio do procedimento de rede. Portanto, o estudo evidencia a importância dos serviços auxiliares na manutenção da confiabilidade e segurança da subestação e, consequentemente, para o sistema elétrico de potência.

Palavras-chave: Serviços auxiliares; Subestação; Rede Básica; Diagramas.

ABSTRACT

Auxiliary services are essential for the efficient operation of substations, as they ensure the power supply for the protection, control, and supervision systems, as well as provide energy for lighting, outlets, and other important low-voltage loads. These services also enable the continuity of essential operations in emergency situations. This Undergraduate Thesis addresses auxiliary services in basic grid substations, with the main objective of clarifying their concepts, composition, and functionality. To achieve this, a literature review was conducted, along with an exemplification of the concepts through a project of auxiliary services for a basic grid substation, with a primary voltage level of 230 kV. Single-line, functional, logical, and interconnection diagrams were analyzed, relating them to the requirements established by the ONS through network procedures. Therefore, the study highlights the importance of auxiliary services in maintaining the reliability and safety of substations and, consequently, the power system.

Keywords: Auxiliary services; Substation; Basic Grid; Diagrams.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Subestações aplicadas em cada etapa do sistema elétrico brasileiro.	12
Figura 2 - Mapa do sistema de transmissão: horizonte 2027.	15
Figura 3 - Grupo motor gerador.	20
Figura 4 - Fontes de alimentação dos serviços auxiliares CA.	21
Figura 5 - Perfil de descarga dos sistemas de baterias em situações emergenciais nas subestações.	22
Figura 6 - Diagrama unifilar da subestação.	26
Figura 7 - Diagrama unifilar de serviços auxiliares CA.	27
Figura 8 - Detalhes da alimentação do TSA.	28
Figura 9 - Disjuntores responsáveis pelo intertravamento das fontes CA.	29
Figura 10 - Barramento de cargas CA essenciais.	30
Figura 11 - Barramento de cargas CA não essenciais.	31
Figura 12 - Diagrama unifilar serviços auxiliares em 125 Vcc.	32
Figura 13 - Painéis de serviços auxiliares 125 Vcc.	33
Figura 14 - Cargas alimentadas pelos painéis PT1-EA/PT1-EB.	33
Figura 15 - Disjuntores responsáveis pelo intertravamento das fontes CC.	34
Figura 16 – Entradas Digitais UC1.1: parâmetros dos disjuntores.	36
Figura 17 – Entradas Digitais UC1.1: parâmetros dos GMGs.	36
Figura 18 – Saídas Digitais UC1.1: disjuntores.	37
Figura 19 – Saídas Digitais UC1.1: GMGs.	38
Figura 20 – Lógica para detecção da posição do disjuntor.	39
Figura 21 – Lógica para intertravamento dos disjuntores das fontes de alimentação CA.	40
Figura 22 – Lógica para intertravamento dos disjuntores das fontes de alimentação CC.	41
Figura 23 – Diagrama de interligação painel 7UA9: sinalização do disjuntor.	41
Figura 24 – Diagrama de interligação painel 7UA9: saídas digitais da UC1.1 para o GMG.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Intertravamento dos disjuntores das fontes de serviços auxiliares CA.....	29
Tabela 2 - Intertravamento dos disjuntores para alimentação das cargas CC.	34
Tabela 3 - Valores das fontes de alimentação CA.	43
Tabela 4 - Valores das fontes de alimentação CC.	43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS	9
2.1 OBJETIVO GERAL	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
3.1 SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS	10
3.1.1 Classificação das subestações elétricas	11
3.2 OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS)	13
3.3 SERVIÇOS AUXILIARES EM SUBESTAÇÃO ELÉTRICA	15
3.3.1 Serviços auxiliares CA	16
3.3.2 Serviços auxiliares CC	16
3.3.3 Composição dos serviços auxiliares	17
3.3.4 Diagramas que compõem projetos de subestações	24
4. PROJETO.....	25
4.1 DIAGRAMAS UNIFILARES.....	25
4.1.1 Fontes de alimentação e cargas dos serviços auxiliares CA	26
4.1.2 Fontes de alimentação e cargas dos serviços auxiliares CC	31
4.2 DIAGRAMA FUNCIONAL	35
4.3 DIAGRAMA LÓGICO	38
4.4 DIAGRAMA DE INTERLIGAÇÃO	41
4.5 VALORES DAS FONTES DOS SERVIÇOS AUXILIARES	42
5. CONCLUSÃO.....	43
REFERÊNCIAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

O sistema elétrico brasileiro é composto por subestações com diferentes níveis de tensão operativa. Essas instalações são fundamentais para o aproveitamento eficiente da energia gerada. Uma das principais funções das subestações é elevar a tensão para que ocorram menores perdas durante a transmissão. Próximo ao ponto de consumo, é necessária uma nova subestação para atuar como abaixadora, reduzindo a tensão aos níveis apropriados para o consumo final (MONTEIRO, 2024).

Dentro desse contexto, o Sistema Nacional Interligado (SIN) desempenha um papel importante conectando eletricamente as regiões brasileiras e fornecendo, em grande parte, múltiplos caminhos para transportar a energia aos centros de consumo. O SIN é formado por geração hidrelétrica, termelétrica e eólica, estando presente nas regiões Nordeste, Sul, Sudeste, Centro-Oeste e grande parte do Norte (ONS, 2008). Representando um avanço significativo na busca por maior confiabilidade do sistema elétrico brasileiro, o SIN é controlado e coordenado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (BRASIL, 1998).

As subestações da rede básica desenvolvem funções fundamentais no SIN, pois, além de serem responsáveis pela transformação dos níveis de tensão, garantem o controle, a proteção, a eficiência e a estabilidade. Elas também asseguram a conexão com outras linhas de transmissão, contribuindo para uma maior confiabilidade do sistema elétrico. Dentro dessas instalações, diversos aspectos são considerados para seu ótimo funcionamento, como suas características estruturais, equipamentos de pátio, sistema de proteção, controle e supervisão, além dos serviços auxiliares (ONS, 2022).

Os serviços auxiliares de uma subestação têm por objetivo fornecer alimentação em corrente alternada e corrente contínua, adequada para o funcionamento dos equipamentos, instrumentos e dispositivos que operam em baixa tensão. Eles são compostos por equipamentos como transformadores, grupo motor-gerador (GMG), bancos de baterias, carregadores/retificadores, cabos e disparadores, garantindo a operação eficiente da subestação. Além disso, garantem a disponibilidade dos níveis de tensão por meio de fontes diversificadas e por períodos de tempo suficientes para o restabelecimento da subestação em casos de contingências (ONS, 2022).

Diante da importância dos serviços auxiliares para o bom funcionamento e maior confiabilidade das subestações, este trabalho pretende esclarecer a definição, os componentes e o funcionamento dos serviços auxiliares de uma subestação, com foco nas subestações da rede básica que são regidas por diretrizes e procedimentos do ONS.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Elucidar os serviços auxiliares de uma subestação, detalhar seus componentes e explicar seu funcionamento, através de um projeto utilizando diagramas unifilar, funcional e de interligação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir serviços auxiliares;
- Discorrer composição dos serviços auxiliares em subestações da rede básica;
- Relatar importância dos serviços auxiliares em subestações;
- Dissertar sobre requisitos mínimos estabelecidos no procedimento de rede do ONS para serviços auxiliares;
- Exemplificar os conceitos e requisitos através da análise de um projeto de serviços auxiliares de uma subestação da rede básica.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, será apresentado um resumo dos principais conceitos e requisitos utilizados no desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso, com foco em subestações elétricas, procedimentos de rede, serviços auxiliares e seus respectivos equipamentos.

3.1 SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS

O sistema elétrico brasileiro é composto pela geração, transmissão, distribuição e consumo da energia elétrica. Entre cada estágio, é necessário o uso de subestações para diferentes fins. Por exemplo, essas subestações podem alterar o nível de tensão, medir a energia, regular, proteger, controlar, supervisionar, seccionar e manobrar o sistema de potência. Em muitos casos, as grandes subestações desempenham praticamente todos esses papéis (MAMEDE FILHO, 2021).

FRONTIN, (2013, p. 80) afirma que

pode-se definir uma subestação, de forma genérica, como sendo um conjunto de sistemas específicos e interdependentes concebidos para atender a um objetivo comum: servir ao sistema elétrico da melhor maneira possível, atendendo aos seus requisitos no limite dos custos.

Devido às suas várias funções e características, as subestações apresentam diferentes classificações. Pode-se separá-las em quatro grandes tipos ou categorias gerais: nível de tensão, categoria de utilização, tipo construtivo ou forma de operação (MAMEDE FILHO, 2021).

Outro importante fator para as subestações são os barramentos, em que, sua definição rege diferentes aspectos da subestação, como o grau de confiabilidade, o impacto econômico-financeiro, a possibilidade de expansão, a flexibilidade operacional e a forma de proteção e controle. Após a definição dessas características, são especificados os equipamentos da subestação, que irão variar em quantidade, aplicação e funcionalidade de acordo com esses aspectos previamente estabelecidos (MONTEIRO, 2024).

De acordo com FRONTIN, (2013, p. 84) “[...] a decisão sobre qual configuração de barra utilizar em uma dada subestação e a sua evolução ao longo do tempo é uma das tarefas mais importantes para a inserção de uma nova subestação no sistema elétrico”. Alguns dos barramentos mais utilizados em subestações são: barramento simples, barra principal e de transferência, barra dupla com disjuntor simples a quatro chaves, barra dupla com disjuntor e meio e barramento em anel.

3.1.1 Classificação das subestações elétricas

- **Nível de tensão**

O nível de tensão de uma subestação refere-se ao valor de tensão nominal a que ela está submetida, ou seja, a tensão de operação em regime permanente, sem intercorrências (MAMEDE FILHO, 2021). Os níveis de tensão podem ser divididos da seguinte forma:

- Baixa tensão: níveis de tensão até 1 kV.
- Média tensão: tensões variando entre 1 kV e 34,5 kV.
- Alta tensão: variações de tensão entre 34,5 kV e 230 kV.
- Extra Alta tensão: valores de tensão acima 230 kV (CAMPOS; ESTEVAM, 2020).

- **Categoria de utilização**

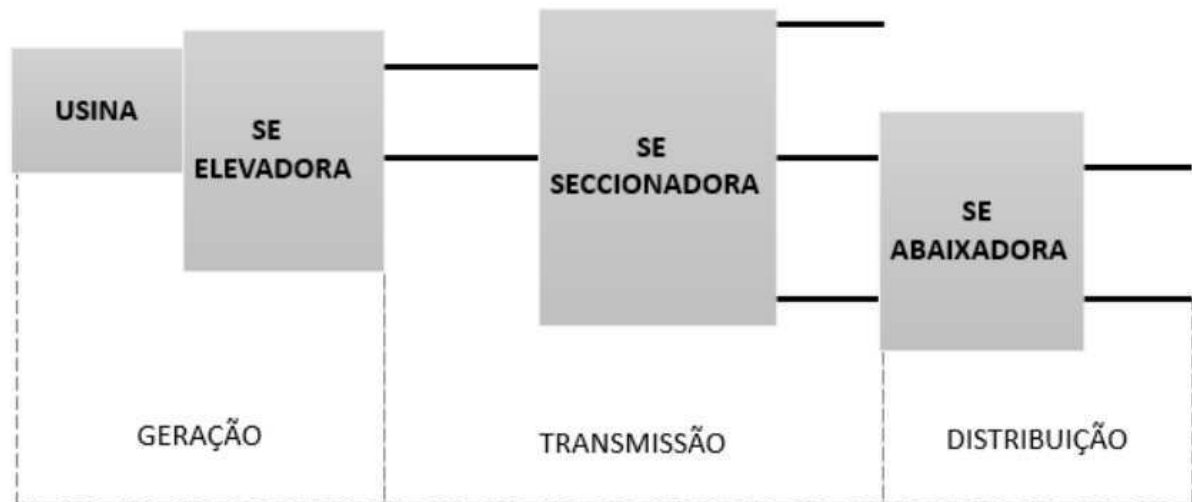
A categoria de utilização diz respeito à função desempenhada pela subestação no sistema elétrico de potência, dentre elas estão:

- Transformadora: inclui as funções abaixadora e elevadora. As subestações elevadoras, localizadas próximo à geração, aumentam os níveis de tensão para a transmissão da energia elétrica com menores perdas. As subestações abaixadoras, situadas perto dos centros de consumo, reduzem os níveis de tensão da energia transmitida para adequação ao uso final.
- Manobra ou seccionadora: essas subestações não transformam o nível de tensão, mas são utilizadas para chaveamento de linhas de transmissão. Elas permitem a conexão e multiplicação de circuitos, além de servirem como ponto chave para operação e medição do sistema elétrico.
- Conversora: utilizadas para transmissão de energia elétrica em corrente contínua. Esse tipo de instalação pode ser retificadora, convertendo corrente alternada em corrente contínua, ou inversora, convertendo corrente contínua em corrente alternada. Após a geração da energia, ela é direcionada para uma subestação conversora que realiza a conversão para corrente contínua. Ao chegar no centro de consumo, passa por outra subestação conversora para

agora fazer o processo inverso, dada a característica de consumo em corrente alternada. Devido à baixa viabilidade financeira para transmissão de energia em corrente contínua, essas subestações são utilizadas para conectar de longas linhas de transmissão em extra alta tensão (MAMEDE FILHO, 2021).

É apresentado na figura 1 um esquema simplificado das etapas do sistema elétrico brasileiro e as funções das subestações nesses estágios.

Figura 1 - Subestações aplicadas em cada etapa do sistema elétrico brasileiro.



Fonte: MONTEIRO; MIRANDA, (2021).

- Tipo construtivo

Os tipos construtivos das subestações elétricas podem ser resumidos em dois: ao tempo e abrigada.

- Ao tempo ou externa: os equipamentos são instalados nos pátios, desabrigados e sujeitos a chuvas, poluição e outras intempéries. Esse tipo de subestação exige o uso de equipamentos específicos para suportar essas condições. Em geral, apresentam isolação feita pelo ar.
- Abrigada ou interna: os equipamentos são instalados em um abrigo, protegidos da chuva e intempéries. Devido à necessidade de compactação, essas subestações geralmente apresentam menores níveis de tensão. Podem ser isoladas pelo ar ou com utilização do gás hexafluoreto de enxofre (SF6) (MONTEIRO, 2016).

- Formas de operação

As formas de operação das subestações podem ser separadas em dois tipos: operação presencial e operação supervisionada. Estas são relacionadas ao

monitoramento e controle do sistema em tempo real, permitindo rápidas respostas a emergências, intervenções manuais e automatizadas, e proporcionando segurança ao sistema.

- Operação presencial: requer que um ou mais operadores estejam presentes na subestação para monitorar e controlar as operações. A depender da complexidade da subestação, essa presença pode ser necessária de forma constante, em todos os períodos do dia.
- Operação supervisionada ou assistida: não exige a presença constante de um operador no local, pois a subestação possui um sistema supervisório digital que possibilita o controle e monitoramento da subestação de forma remota. Esse sistema fornece todas as informações necessárias sobre o estado da subestação, como potência, corrente, tensão, estado dos equipamentos, entre outros, além de permitir a operação dos equipamentos (MAMEDE FILHO, 2021).

3.2 OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS)

O ONS é responsável por coordenar e controlar a geração e transmissão do Sistema Interligado Nacional (SIN). O SIN é uma rede que conecta eletricamente todas as regiões do Brasil, sendo composto predominantemente por usinas hidrelétricas, mas também por termelétricas e mais recentemente com a entrada de geradores eólicos. Essa malha de transmissão proporciona a transferência de energia entre os subsistemas brasileiros, oferecendo segurança e disponibilidade para os consumidores (ONS, 2008). É contido na figura 2 o mapa do sistema de transmissão com horizonte para 2027. Nele é possível notar a divisão das regiões brasileiras e como essas regiões são conectadas pelo SIN.

O ONS foi instituído pela Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998 e teve seu funcionamento autorizado pela Resolução nº 351, de 11 de novembro de 1998, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Desde então suas atribuições e contribuições para um sistema elétrico confiável e otimizado cresce cada vez mais, se tornando responsável também pelas atividades de previsão de carga e planejamento da operação dos sistemas isolados (ANEEL, 2022).

Os procedimentos de rede são produtos de conhecimentos técnicos especializados disponibilizados pelos ONS como um acervo de informações imprescindíveis para construção e manutenção da coordenação e controle do sistema elétrico (ONS, 2008).

O ONS, (2024a) define os procedimentos de rede como

documento elaborado pelo ONS com a participação dos agentes que, aprovado pela ANEEL, estabelece os procedimentos e os requisitos técnicos necessários para o planejamento, para a implantação, para o uso e para a operação do SIN, bem como as responsabilidades do ONS e dos agentes.

O ONS, (2024a) define também que a rede básica são “Instalações de transmissão integrantes do SIN, classificadas segundo regras e condições estabelecidas pela ANEEL”. São instalações que seguem as regras e condições estabelecidas pela ANEEL, sejam elas próprias do concessionário ou permissionário de distribuição, como também as que são exclusivas de geradoras e as que fazem interligações internacionais.

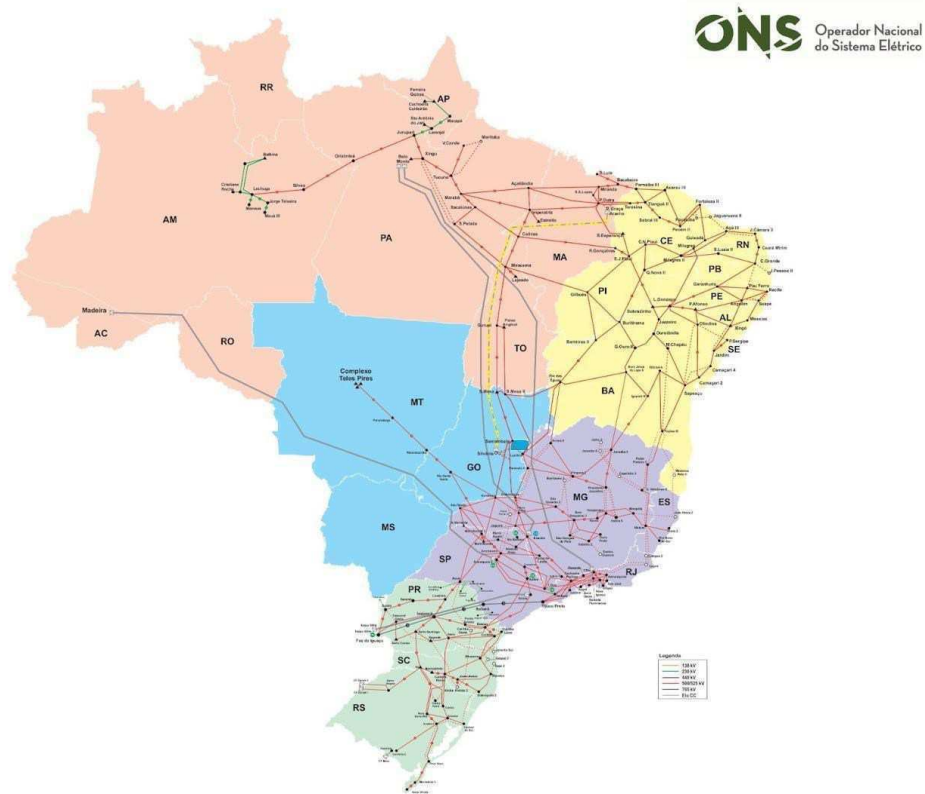
As principais funções da rede básica envolvem transmitir a energia produzida nas usinas geradoras para os centros de consumo, como também integrar os componentes do sistema elétrico para ter confiabilidade e estabilidade, além de interligar as bacias hidrográficas e interligar eletricamente o Brasil com países de fronteira (MME; EPE, 2017).

As subestações que contemplam a rede básica apresentam níveis de tensão igual ou superior a 230 kV (ONS, 2024b). O submódulo 2.6 do procedimento de rede, que define os requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos, em seu item 3.1. estabelece os tipos de barramentos das subestações da rede básica de acordo com o nível de tensão desta. Para barramentos de 230 kV, o arranjo deve ser do tipo barra dupla com disjuntor simples a quatro chaves. Os barramentos com tensão igual ou superior a 345 kV devem ter arranjos do tipo barra dupla com disjuntor e meio (ONS, 2022).

Na fase de operação inicial de uma subestação da rede básica, é aceito o emprego de outros tipos de barramentos. No caso de subestações de 230 kV, é permitida a aplicação de arranjo do tipo barra principal e de transferência, porém, é necessário posteriormente ocorrer a evolução do barramento para barra dupla com disjuntor simples a quatro chaves. Para as subestações com barramento de 345 kV ou superior, o barramento pode inicialmente ser construído como um arranjo em anel

simples e futuramente remodelado para um arranjo do tipo barra dupla com disjuntor e meio (ONS, 2022).

Figura 2 - Mapa do sistema de transmissão: horizonte 2027.



Fonte: ONS, (2024).

3.3 SERVIÇOS AUXILIARES EM SUBESTAÇÃO ELÉTRICA

Toda subestação necessita de cargas que operam em baixa tensão, como lâmpadas, aparelhos de ar condicionado e motores. Para atender a essas necessidades, são empregados os serviços auxiliares nas subestações. Esses serviços têm a função de fornecer alimentação em baixa tensão para diversas cargas, desempenhando um papel crucial no funcionamento da subestação (CAVALCANTI, 2023).

O ONS, (2024a) define os serviços auxiliares como

sistemas projetados para atender, em regime normal de operação ou em regime de emergência, as necessidades funcionais de instalações de geração, instalações de transmissão ou instalações de distribuição, para garantir a continuidade operativa dessas instalações.

Os serviços auxiliares são essenciais em situações de emergência. Durante falhas ou falta de tensão na subestação, eles fornecem alimentação para manobras necessárias para a recomposição e reintegração da subestação ao sistema elétrico,

além de suprir a energia necessária para serviços básicos, como iluminação (MAMEDE FILHO, 2021).

Os serviços auxiliares podem ser divididos em dois grandes grupos, de acordo com o tipo de corrente utilizada: serviços auxiliares de corrente alternada (CA), responsável pela alimentação de cargas que operam com corrente alternada, e serviços auxiliares de corrente contínua (CC), destinado às cargas que necessitam de uma fonte em corrente contínua (CAVALCANTI, 2023).

3.3.1 Serviços auxiliares CA

Para garantir a alimentação em corrente alternada, os serviços auxiliares utilizam equipamentos como transformador e grupo motor gerador. Esses sistemas devem ser compostos por duas fontes de alimentação (no mínimo), que podem ser duas fontes internas provenientes da própria subestação ou uma fonte interna e uma fonte externa vinda da distribuidora de energia elétrica local. As fontes internas podem ser fornecidas por um transformador de potência dedicado aos serviços auxiliares ou o terciário de um transformador de potência existente (ONS, 2022).

Em situações onde não há disponibilidade de transformadores de potência ou fornecimento de energia por distribuidoras locais, é possível submeter uma proposta ao ONS para avaliação e possível aprovação, apresentando alternativas para a alimentação dos serviços auxiliares. Essa proposta alternativa deve incluir, no mínimo, duas fontes de alimentação CA que sejam independentes (ONS, 2022).

É exigido um sistema que realize a transferência automática das cargas quando houver falta de tensão em uma das fontes. Além disso, deve ser prevista uma terceira fonte CA, nesse caso, um grupo motor gerador (GMG) com acionamento automático em situações de falta de tensão nas duas fontes de alimentação CA (ONS, 2022).

3.3.2 Serviços auxiliares CC

Para o sistema em corrente contínua, são necessários carregadores/retificadores e banco de baterias. Estes são divididos em dois casos distintos: um destinado à alimentação do sistema de proteção, controle e supervisão (SPCS) e outro utilizado como fonte para os sistemas de telecomunicações (ONS, 2022).

Os bancos de baterias para o SPCS devem ser capazes de alimentar as cargas necessárias para as manobras de recomposição da subestação quando não houver

alimentação em corrente alternada, além de fornecer energia para a iluminação de emergência. Eles devem ser independentes e dimensionados para alimentar toda a carga por, no mínimo, 5 horas. Cada conjunto deve operar individualmente, sem paralelismo, sendo permitido apenas durante o tempo de transferência de carga de um circuito de banco de baterias para o outro, evitando que sejam reiniciados os computadores e sistemas digitais (ONS, 2022).

Para o sistema de telecomunicação, assim como no caso do SPCS, os serviços auxiliares em CC também devem contar com dois conjuntos de bancos de baterias e carregadores/retificadores que operem de forma independente. No entanto, cada banco de baterias deve ter capacidade de alimentar toda a carga prevista por, no mínimo, 10 horas em caso de falta de alimentação CA. Além disso, é necessário que os conjuntos de banco de baterias e carregadores/retificadores dos serviços auxiliares em CC para o sistema de telecomunicações sejam distintos dos conjuntos que alimentam o SPCS (ONS, 2022).

3.3.3 Composição dos serviços auxiliares

- Transformador de serviços auxiliares

De acordo com FRONTIN, (2013, p. 18) “um transformador (ou trafo) é um dispositivo destinado a transmitir energia elétrica ou potência elétrica de um circuito a outro, transformando tensões e correntes em um circuito de corrente alternada [...]”. Nos serviços auxiliares, a função deste equipamento é fornecer tensão em níveis adequados (geralmente 380/220V) para alimentar cargas em corrente alternada. Além disso, ele deve ser capaz de fornecer energia ao carregador/retificador, que alimentará tanto o banco de baterias quanto as cargas em corrente contínua. O dimensionamento do equipamento é determinado com base nas cargas que ele irá alimentar (MAMEDE FILHO, 2021).

O transformador de serviços auxiliares (TSA) é um equipamento obrigatório nas subestações pertencentes à rede básica. É responsável, principalmente, pela alimentação do sistema de proteção, controle e supervisão da subestação. Ele pode ser derivado do enrolamento terciário de um transformador de potência existente na subestação ou ser um transformador dedicado exclusivamente a esse fim. O TSA pode ser alimentado pela rede de distribuição de uma concessionária de energia elétrica (ONS, 2022).

A instrução técnica IT-DEEC-009/2010 da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) estabelece critérios para o dimensionamento do TSA. Para isso, as cargas são divididas conforme sua importância, sendo classificadas como: essenciais e não essenciais.

As cargas essenciais são aquelas responsáveis pela recomposição da subestação quando esta sai de operação. Por isso, necessitam de alimentação constante e não podem ficar sem fornecimento de energia. Por outro lado, as cargas não essenciais são aquelas que podem permanecer sem abastecimento de energia por um período de tempo prolongado (CHESF, 2014a).

São exemplos de cargas essenciais: supervisão de falta CC, acionamento de disjuntores e seccionadoras, ar-condicionado das edificações, parte da iluminação e tomadas de pátios, além dos relés e contactores dos sistemas de controle dos equipamentos de pátio. As cargas não essenciais incluem a iluminação e aquecimento, tanto internos aos equipamentos de pátio quanto internos aos painéis, as tomadas das edificações, o sistema de abastecimento de água e o sistema de ventilação forçada dos transformadores de potência (CHESF, 2014a).

Uma outra classificação estabelecida na IT-DEEC-009/2010 é a divisão das cargas de acordo com o tempo que permanecem alimentadas, classificando-as como cargas permanentes, intermitentes ou eventuais (CHESF, 2014a).

As cargas permanentes são aquelas alimentadas de forma contínua, como iluminação da casa de comando, os carregadores/retificadores (valor em CA de todas as cargas do serviço auxiliar CC) e o aquecimento de equipamentos de pátio. As cargas intermitentes possuem intervalos fixos de acionamento, sendo ativadas apenas em determinados períodos, como a ventilação forçada dos transformadores de potência, o acionamento de disjuntores e seccionadoras, e a iluminação do pátio e da guarita. As cargas eventuais são acionadas de forma esporádica e momentânea, como as tomadas de uso geral da casa de comando e dos pátios, e o sistema de tratamento de óleo (CHESF, 2014a).

Desta forma, a potência nominal do TSA é determinada pelo somatório das cargas permanentes, intermitentes e eventuais, abrangendo tanto as cargas essenciais quanto as não essenciais. Além disso, são considerados fatores de sobrecarga e de segurança. Para uma temperatura ambiente de 40 °C, admite-se uma sobrecarga de 20% durante um período de até 4 horas. Adicionalmente, é aplicado

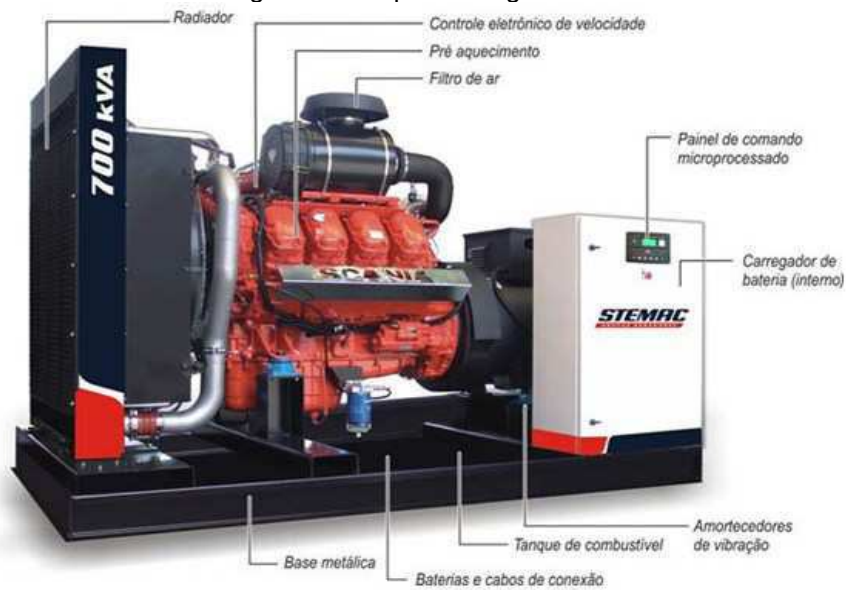
um fator de segurança de 10% sobre o valor total das cargas previstas para serem alimentadas, assegurando a confiabilidade do sistema (CHESF, 2014a).

- Grupo motor gerador

O grupo motor gerador (GMG) é uma fonte reserva ou alternativa de energia utilizada para os serviços auxiliares das subestações. De acordo com seu uso em subestações, o GMG pode ser classificado em dois tipos de regime: standby e prime. O GMG standby é empregado para alimentar apenas as cargas essenciais dos serviços auxiliares, como o SPCS, sendo utilizado em situações de emergência quando ocorre interrupção de alimentação pelas fontes principais. Já o GMG prime é utilizado para suprimir tanto as cargas essenciais quanto as não essenciais, podendo operar de forma contínua, desde que utilizado até 70% de sua potência. Em situações extremas, onde não há disponibilidade de um TSA, o GMG prime pode ser adotado como fonte principal de energia, desde que aprovado pelo ONS (FRAZÃO; PEDROSA FILHO, 2023; ONS, 2022).

O GMG é composto por dois principais elementos: um motor a combustão e um gerador elétrico. O motor consome combustível, cuja combustão gera energia mecânica. Esta energia é transformada em energia elétrica pelo gerador. Diversos tipos de combustíveis podem ser utilizados no GMG, como gasolina, diesel e gás natural, cada um com aplicações e características específicas (CAVALCANTI, 2023). É ilustrado na figura 3 um modelo de grupo gerador destacando alguns de seus componentes.

Figura 3 - Grupo motor gerador.

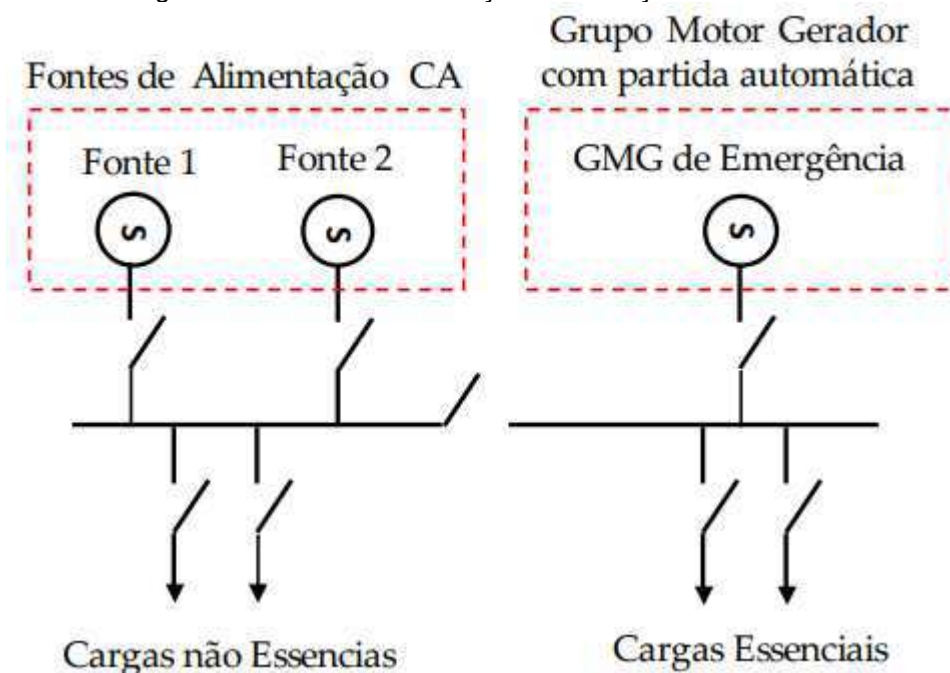


Fonte: STEMAC, (2011).

Os conceitos de cargas permanentes, intermitentes e eventuais também são fundamentais para o dimensionamento do GMG. A principal diferença em relação ao dimensionamento do TSA se encontra na previsão das cargas a serem alimentadas, de acordo com o regime de operação. No caso de uma aplicação para emergência, ou seja, em regime standby, são consideradas apenas as cargas essenciais para o dimensionamento do GMG. Assim, a potência nominal do GMG é calculada somando-se as cargas permanentes essenciais, intermitentes essenciais e eventuais essenciais. Quando há necessidade de aplicação em regime prime, o dimensionamento deve considerar todas as cargas. Além disso, admite-se uma sobrecarga de 10% durante um período de até 1 hora (CHESF, 2014a).

É mostrado na figura 4 um esquema das fontes dos serviços auxiliares em CA e os tipos de cargas destinadas para sua alimentação.

Figura 4 - Fontes de alimentação dos serviços auxiliares CA.



Fonte: CAVALCANTI, (2023).

- Banco de baterias

Uma bateria tem a função de armazenar energia elétrica utilizando compostos e reações químicas para converter a energia química em energia elétrica. Ela é composta pela união de células eletroquímicas (ou elementos), que são sua unidade básica. Essas células podem ser conectadas em série, paralelo ou ambos, formando a bateria. Quando a bateria é utilizada, ocorre o processo de descarga, no qual a energia química presente nos eletrodos é transformada em energia elétrica. Já durante o carregamento, os elementos necessitam de energia elétrica para retornar ao seu estado inicial (PESENTI, 2012).

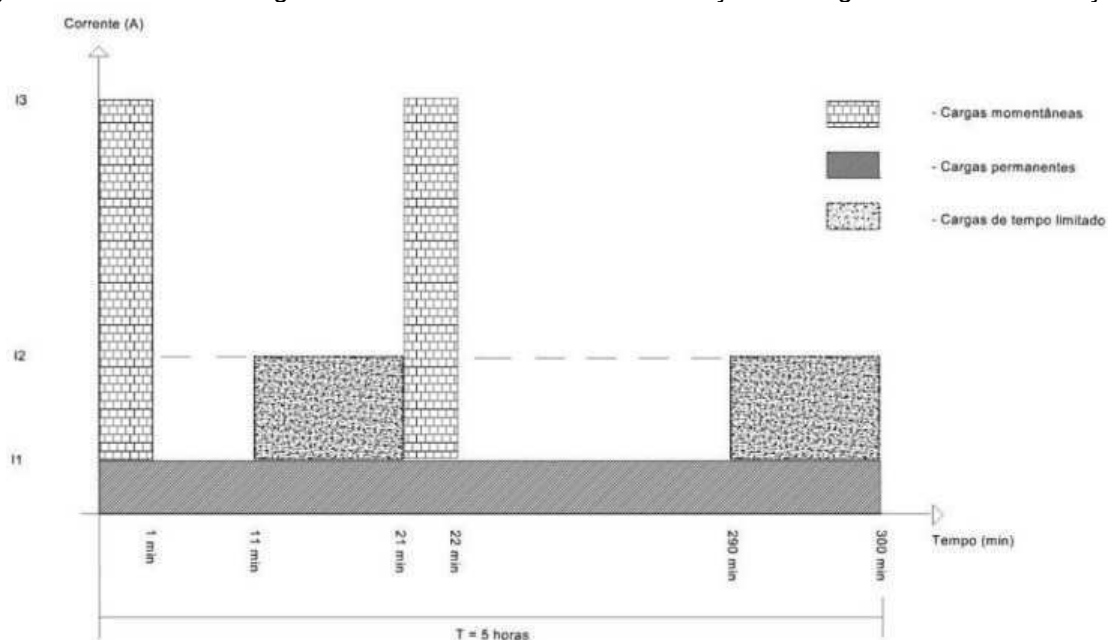
Os bancos de baterias são utilizados em subestações para alimentar as cargas dos serviços auxiliares CC em situações de falta de alimentação CA, com o objetivo de alimentar apenas as cargas essenciais. As subestações pertencentes à rede básica devem ter dois bancos de baterias independentes, com autonomia mínima de 5 horas cada, para alimentar toda a carga prevista do SPCS. Além disso, devem ter outros dois conjuntos independentes, com energia suficiente para alimentar toda a carga do sistema de telecomunicação por no mínimo 10 horas cada (ONS, 2022).

A instrução técnica IT-DEEC-010/2010 da CHESF estabelece critérios para o dimensionamento do banco de baterias. As cargas são divididas conforme o tempo de acionamento em momentâneas, permanentes e de tempo limitado.

As cargas momentâneas são aquelas pertencentes ao disparo de todos os disjuntores do barramento que representem a maior carga sobre o banco de baterias, considerando 1 minuto de duração. As cargas permanentes são destinadas à medição, proteção, controle, supervisão, comando, e todos os sistemas principais alimentados em corrente contínua, além da iluminação de emergência. Por fim, as cargas de tempo limitado se referem às manobras necessárias para recompor o sistema, como os circuitos de fechamentos dos disjuntores críticos, considerando o maior valor de carga (CHESF, 2014b).

É mostrado na figura 5 o perfil de descarga emergencial das baterias utilizadas em subestações. Com base nas características das cargas, relativas ao tempo de acionamento e ao perfil de descarga emergencial, é realizado o levantamento das cargas, separadas conforme cada período de acionamento (CHESF, 2014b). A capacidade final da bateria, expressa em ampere-hora, é determinada com a adição de fatores de temperatura e de envelhecimento (25%) (ABNT, 2005). O cálculo da capacidade das baterias é definido pela norma NBR 15254.

Figura 5 - Perfil de descarga dos sistemas de baterias em situações emergenciais nas subestações.



Fonte: CHESF, (2014b).

- Carregador/retificador

O carregador/retificador desempenha duas funções importantes nos serviços auxiliares de uma subestação. A primeira função, como retificador, é converter a energia em corrente alternada, proveniente do TSA ou GMG, para corrente contínua, a fim de alimentar os serviços auxiliares de CC. A segunda função, como carregador,

é manter o banco de baterias completamente carregado e pronto para operar em situações de emergência (MAMEDE FILHO, 2021). Em condições normais, o carregador/retificador fornece a corrente adequada para os equipamentos com cargas permanentes enquanto alimenta o banco de baterias (CHESF, 2014b).

A instrução técnica IT-DEEC-010/2010 da CHESF também estabelece critérios para o dimensionamento do carregador/retificador. Para isso, é preciso obter informações sobre a corrente, em condições normais, requerida pelos equipamentos que operam em corrente contínua, assim como a corrente para carregar o banco de baterias após um período de emergência. Além disso, deve-se considerar que a tensão para alimentação das cargas deverá ser de 125 ou 250 Vcc (CHESF, 2014b).

- Painéis e quadros elétricos

Nas subestações da rede básica, os painéis e quadros são alocados em casas de comando ou casas de relés, estruturas físicas geralmente construídas em alvenaria, destinadas a protegê-los de intempéries, assim como os painéis e quadros protegem os dispositivos alocados dentro deles, como por exemplo os dispositivos eletrônicos inteligentes (IEDs). Eles também desempenham a importante função de interligar e organizar as conexões entre equipamentos e dispositivos e instrumentos.

Nos serviços auxiliares em CA, os painéis e quadros recebem alimentação proveniente dos TSAs e GMGs. Dentro desses painéis e quadros, são feitas as fiações, conexões internas, bem como as interligações, conexões externas entre os painéis ou entre um painel e um equipamento. Esses painéis são responsáveis por distribuir a energia em circuitos trifásicos e monofásicos, garantindo a alimentação de todas as cargas essenciais e não essenciais da subestação (MAMEDE FILHO, 2021).

Como os serviços auxiliares trabalham tanto com corrente alternada quanto com corrente contínua, é necessário, no mínimo, um painel para os serviços auxiliares em CA e outro para os serviços auxiliares em CC. No caso do painel em CC, a alimentação é fornecida pelo carregador/retificador ou pelo banco de baterias, e a partir dele são distribuídos os circuitos para alimentar as cargas que operam em corrente contínua (MAMEDE FILHO, 2021).

3.3.4 Diagramas que compõem projetos de subestações

Os diagramas elétricos, segundo CARVALHO JÚNIOR, (2023), podem ser definidos como “símbolos gráficos utilizados no projeto para representar uma instalação elétrica ou parte de uma instalação”. Dessa forma, a utilização de diagramas elétricos é imprescindível para o desenvolvimento e a execução dos projetos (CARVALHO JÚNIOR, 2023).

Para a construção e operação das subestações da rede básica, é necessário desenvolver diversos projetos que envolvem diferentes disciplinas, como elétrica, eletromecânica e civil. Entre os projetos de elétrica destacam-se alguns tipos de diagramas, como o diagrama unifilar, o diagrama funcional e o diagrama de interligação (MAMEDE FILHO, 2021).

O diagrama unifilar tem como objetivo representar, de forma simplificada, as conexões entre os equipamentos de pátio da subestação (equipamentos de força e de alta tensão), apresentando o sistema elétrico trifásico (três fios) da subestação em um único fio. Esse diagrama permite visualizar a disposição dos equipamentos no pátio, bem como a distribuição dos vãos da subestação (MAMEDE FILHO, 2021).

O diagrama funcional representa uma parte da instalação elétrica, mostrando os condutores e componentes do circuito. No entanto, ele não fornece detalhes sobre a localização exata dos componentes nem sobre o comprimento dos cabos utilizados. Seu objetivo principal é ilustrar o comportamento do circuito, sem se preocupar com o posicionamento físico dos elementos elétricos (CARVALHO JÚNIOR, 2023).

Para as subestações, os diagramas funcionais mostram todas as conexões existentes entre os painéis ou entre os painéis e os equipamentos, incluindo as fiações. Por exemplo, esse tipo de diagrama ilustra a interligação entre um disjuntor e borne de um painel, assim como a fiação do borne para o IED. Em geral, esses diagramas são organizados em vários cadernos, divididos de acordo com os vãos da subestação e os painéis (MAMEDE FILHO, 2021).

Os diagramas de interligação são derivados do diagrama funcional e tem a função de detalhar todas as conexões externas aos painéis, como aquelas entre um painel e outro. Esses diagramas geralmente apresentam as régua de borne dos painéis ou equipamentos, com os bornes numerados, os cabos identificados por tags e veias, além de indicar o painel ou equipamento ao qual a outra extremidade do cabo está conectada. Assim como nos diagramas funcionais, as interligações são

distribuídas em vários cadernos, separados por vãos, painéis e equipamentos (MAMEDE FILHO, 2021).

4. PROJETO

Os serviços auxiliares desempenham um papel fundamental no funcionamento das subestações, fornecendo energia para cargas classificadas como essenciais e não essenciais, tanto em condições normais quanto em situações de emergência. Nesse contexto, o objetivo deste capítulo é ilustrar, por meio de diagramas unifilares, funcionais, lógicos e de interligação, os conceitos abordados na fundamentação teórica sobre subestações e os serviços auxiliares em subestações da rede básica.

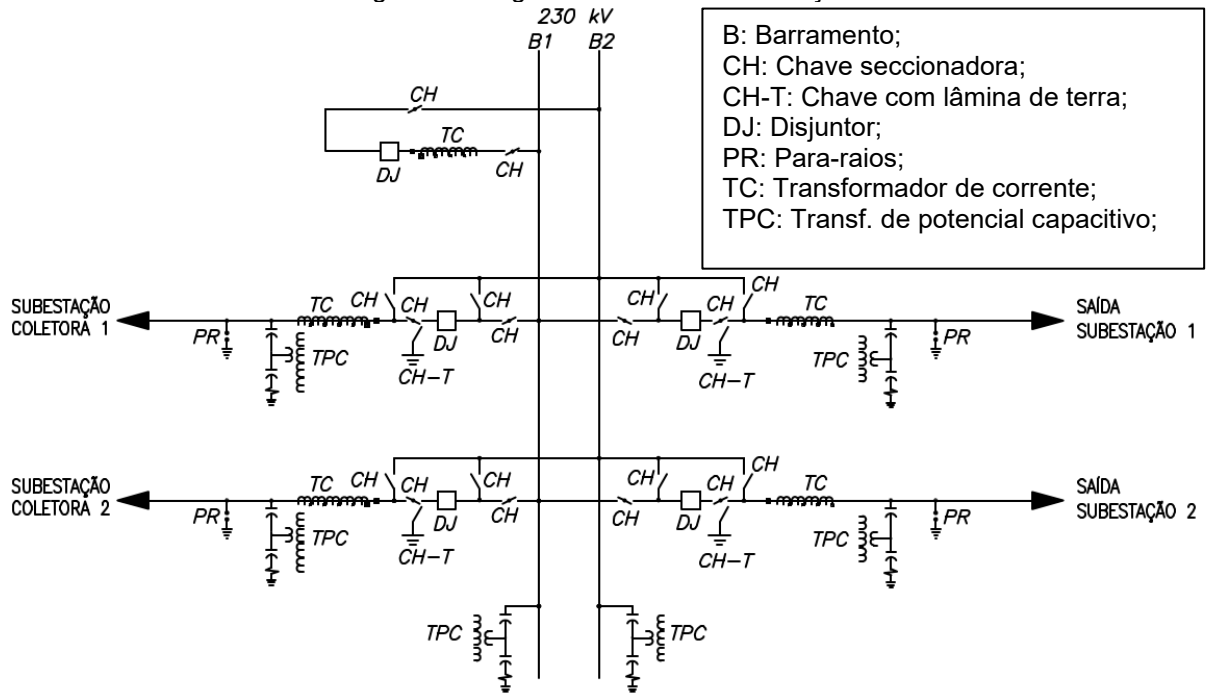
4.1 DIAGRAMAS UNIFILARES

A subestação escolhida para esta análise é uma subestação seccionadora, que, devido à sua característica, opera com apenas um nível de tensão, neste caso, 230 kV. É mostrado na figura 6 o diagrama unifilar da subestação, permitindo a análise do tipo de barramento e na disposição dos equipamentos ao longo do pátio.

O arranjo de barras da subestação consiste em um barramento duplo a quatro chaves. Essa configuração aumenta significativamente a confiabilidade da subestação. Mesmo em caso de defeito em um dos barramentos, as cargas podem ser transferidas para o segundo barramento, mantendo a subestação em operação. Isso assegura maior continuidade operacional, tornando a subestação mais confiável. Contudo, essa configuração requer um investimento consideravelmente alto, por isso é utilizada mais frequentemente em subestações de 138 kV e 230 kV (FRONTIN, 2013). Esse tipo de barramento é exigido pelo ONS, por meio de seu procedimento de rede submódulo 2.6, para utilização em subestações de 230 kV (ONS, 2022).

Por meio da figura 6 é possível identificar que a subestação recebe duas linhas de transmissão provenientes de subestações coletoras, bem como duas linhas que saem para outras duas subestações. Ao todo, a subestação apresenta cinco vãos, sendo quatro vãos de linha e um vão de interligação de barras (que também atua como vão de transferência).

Figura 6 - Diagrama unifilar da subestação.

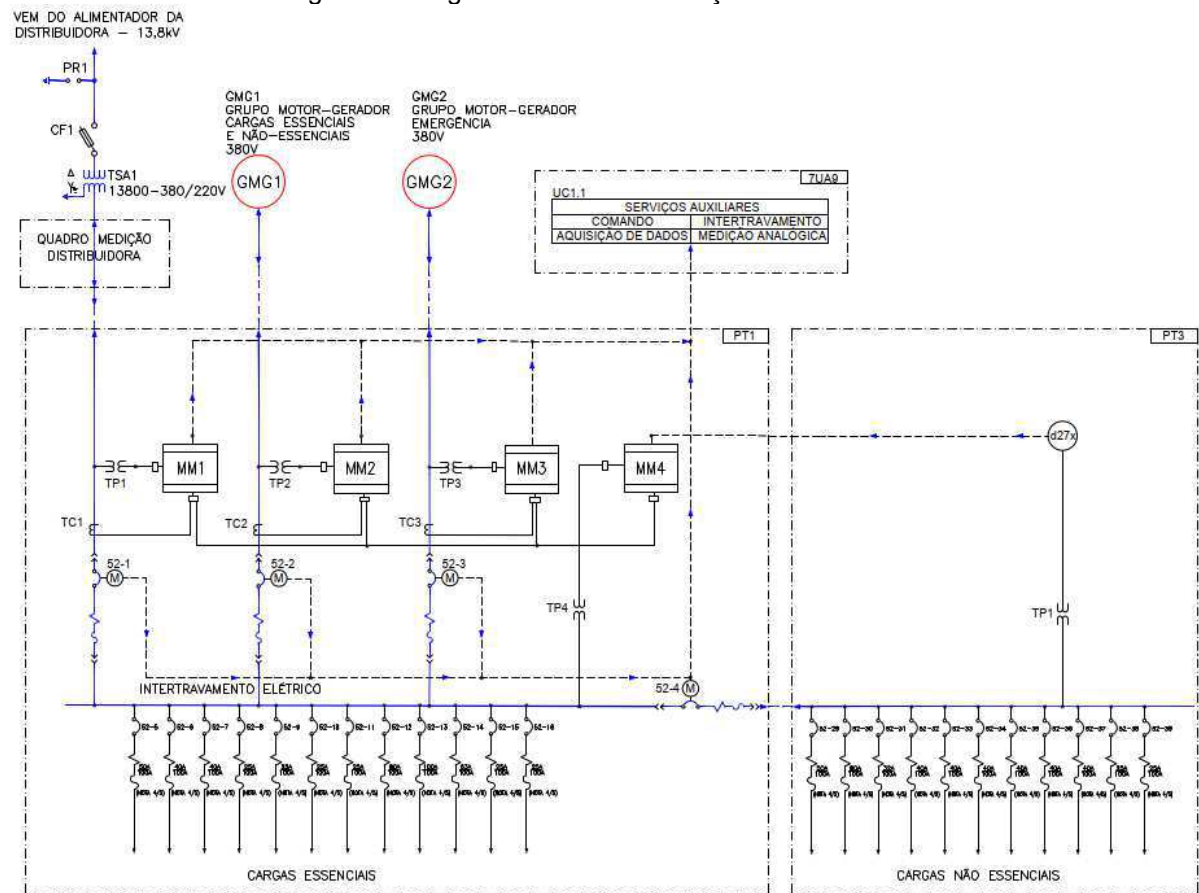


Fonte: Autoria própria.

4.1.1 Fontes de alimentação e cargas dos serviços auxiliares CA

Os serviços auxiliares CA da subestação operam com tensões de 380/220 V. Seu diagrama unifilar é ilustrado na figura 7. Nele, nota-se a presença de três fontes de alimentação: um TSA e dois GMGs. O TSA (primeira fonte principal) é alimentando pela concessionária distribuidora de energia elétrica. Os GMGs têm aplicações distintas: o primeiro funciona como um GMG prime, atuando como a segunda fonte principal, enquanto o segundo opera como GMG standby, sendo acionado apenas em situações emergenciais.

Figura 7 - Diagrama unifilar de serviços auxiliares CA.

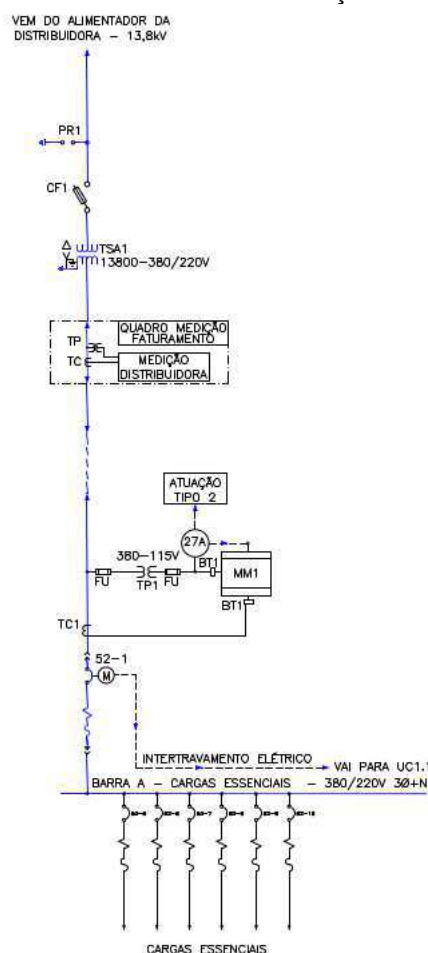


Fonte: Autoria própria.

Como a subestação não possui unidade transformadora de potência, a solução apresentada ao ONS foi a utilização de um GMG como segunda fonte principal para a alimentação dos serviços auxiliares. Dessa forma, a subestação atende aos critérios estabelecidos pelo ONS para fontes de alimentação CA e para a alimentação das cargas essenciais em situações de emergência, conforme definido no item 3.3.1 deste trabalho.

É contido na figura 8 maiores detalhes da alimentação a partir da distribuidora de energia. O TSA utilizado é dimensionado com tensão compatível com a fornecida pela distribuidora, que, nesse caso, é de 13800 V, atuando como um transformador abaixador para fornecer a tensão de 380/220 V. Como a concessionária fornece a energia, é necessário que ela realize a medição para faturamento, o que é de sua responsabilidade.

Figura 8 - Detalhes da alimentação do TSA.



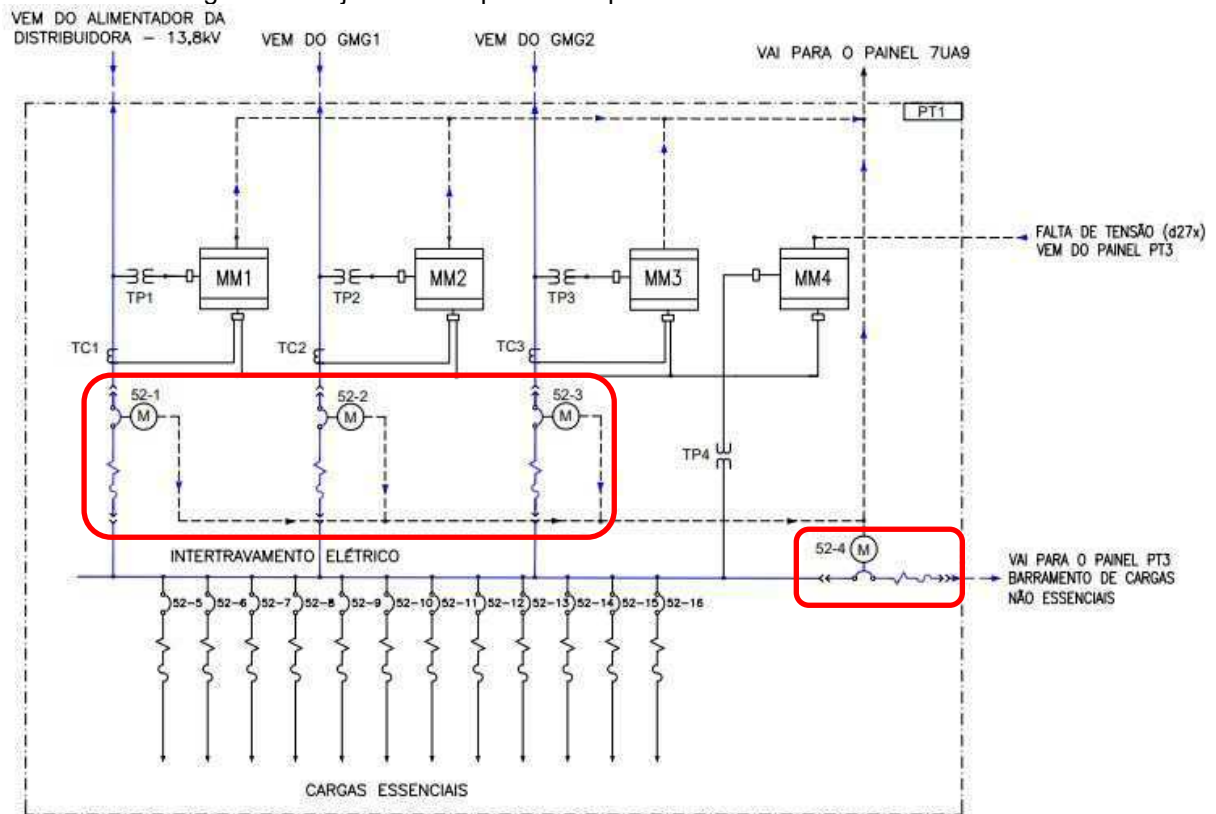
Fonte: Autoria própria.

Após passar pela medição de faturamento, a alimentação chega ao painel de distribuição de cargas essenciais (PT1). Nesse painel, são utilizados transformadores de instrumento para que um multimedidor (MM) faça a medição dos principais parâmetros, como tensão, corrente, frequência e potência. Essas informações são então transmitidas para a unidade de controle (UC1.1) dos serviços auxiliares CA, que é responsável pela aquisição de dados, recebimento das medições analógicas, execução dos comandos e gerenciamento do intertravamento das fontes.

Da mesma forma que ocorre para o TSA, a alimentação proveniente dos GMGs também é direcionada ao PT1, mas sem a necessidade de passar por um quadro de medição para faturamento, uma vez que, a energia é gerada por fontes internas da subestação. Para que o painel de distribuição de cargas não essenciais (PT3 – figura 7) seja alimentado, é necessário que o disjuntor 52-4 esteja fechado, pois ele é responsável pelo seccionamento do barramento de alimentação das cargas CA, separando as cargas essenciais das não essenciais.

Por meio do monitoramento do sistema e do intertravamento das fontes (tabela 1), a UC1.1 consegue manter a alimentação através de uma única fonte e transferir as cargas de uma fonte para outra quando necessário. Dessa forma, a subestação atende a mais um critério estabelecido pelo ONS (contemplado no item 3.3.1 deste trabalho) para os serviços auxiliares, que exige a realização da transferência automática das cargas para a outra fonte de alimentação em caso de falta de tensão ou falha em uma das fontes. É destacado na figura 9 os disjuntores que são utilizados para realizar o intertravamento das fontes, os quais, dependendo das condições presentes na tabela 1, irão alimentar todas as cargas ou apenas as cargas essenciais.

Figura 9 - Disjuntores responsáveis pelo intertravamento das fontes CA.



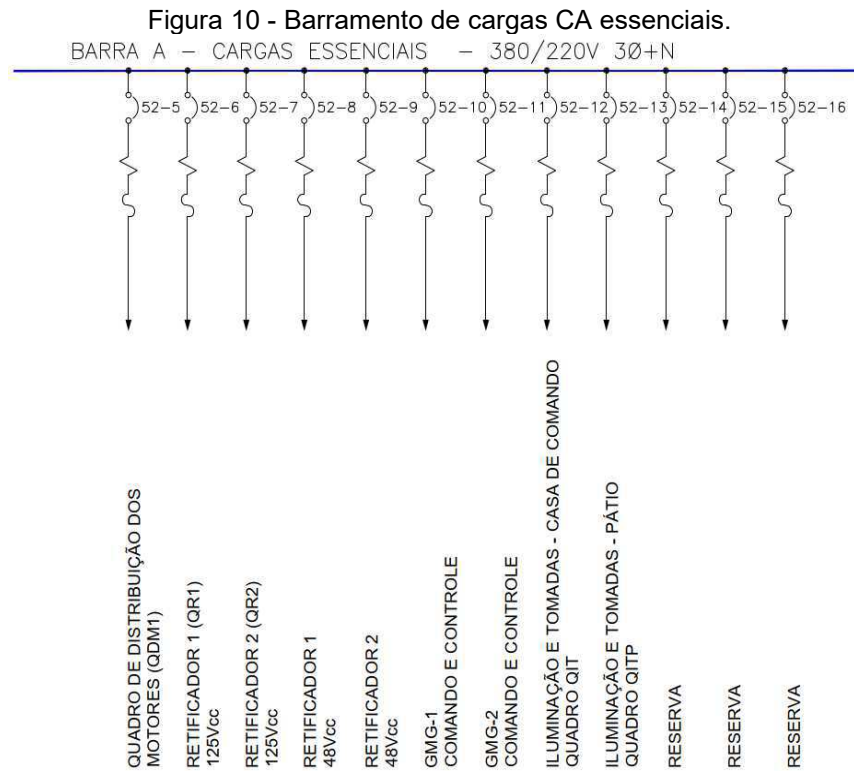
Fonte: Autoria própria.

Tabela 1 - Intertravamento dos disjuntores das fontes de serviços auxiliares CA.

Disjuntor	TSA (condição normal)	GMG1 (condição secundária)	GMG2 (condição emergencial)
52-1	Fechado	Aberto	Aberto
52-2	Aberto	Fechado	Aberto
52-3	Aberto	Aberto	Fechado
52-4	Fechado	Fechado	Aberto

Fonte: Autoria própria.

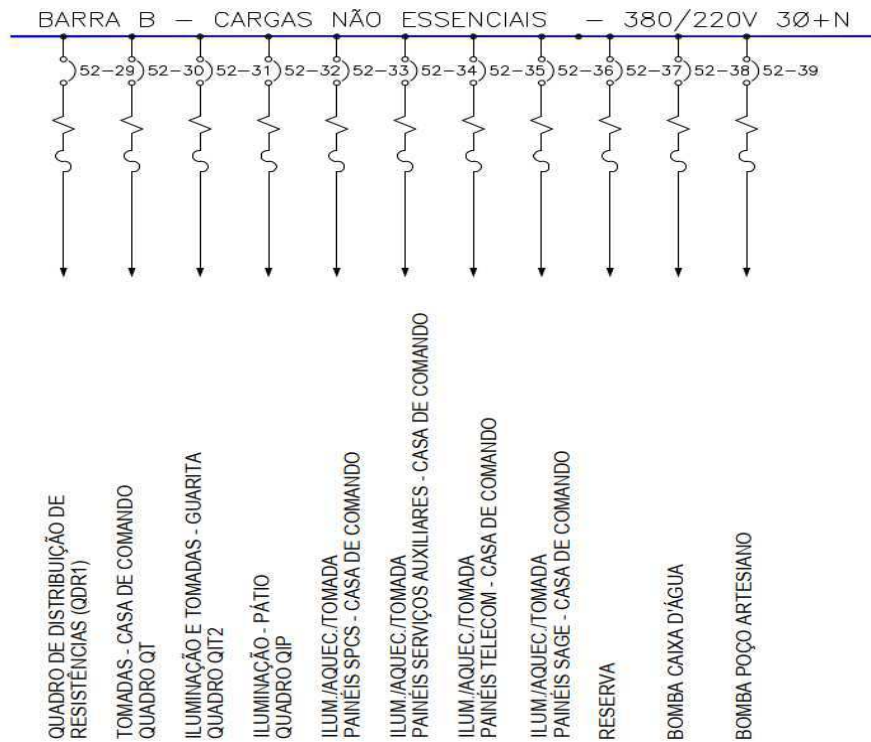
As cargas essenciais alimentadas pelos serviços auxiliares CA da subestação incluem o quadro de distribuição dos motores (responsáveis pelas manobras dos disjuntores e seccionadoras do pátio), carregadores/retificadores, quadros de comando e controle do GMG, além da iluminação e tomadas da casa de comando e do pátio. É mostrado na figura 10 maiores detalhes dessas cargas que compõem o barramento de CA das cargas essenciais.



Fonte: Autoria própria.

As cargas não essenciais nos serviços auxiliares de CA da subestação incluem o quadro de distribuição de resistência (usado para iluminação e aquecimento dos painéis dos equipamentos de pátio, como disjuntores e seccionadoras), as tomadas e iluminação de edificações, a iluminação, aquecimento e tomadas dos painéis de SPCS e dos serviços auxiliares. É apresentado na figura 11 a composição dessas cargas conectadas ao barramento CA de cargas não essenciais.

Figura 11 - Barramento de cargas CA não essenciais.

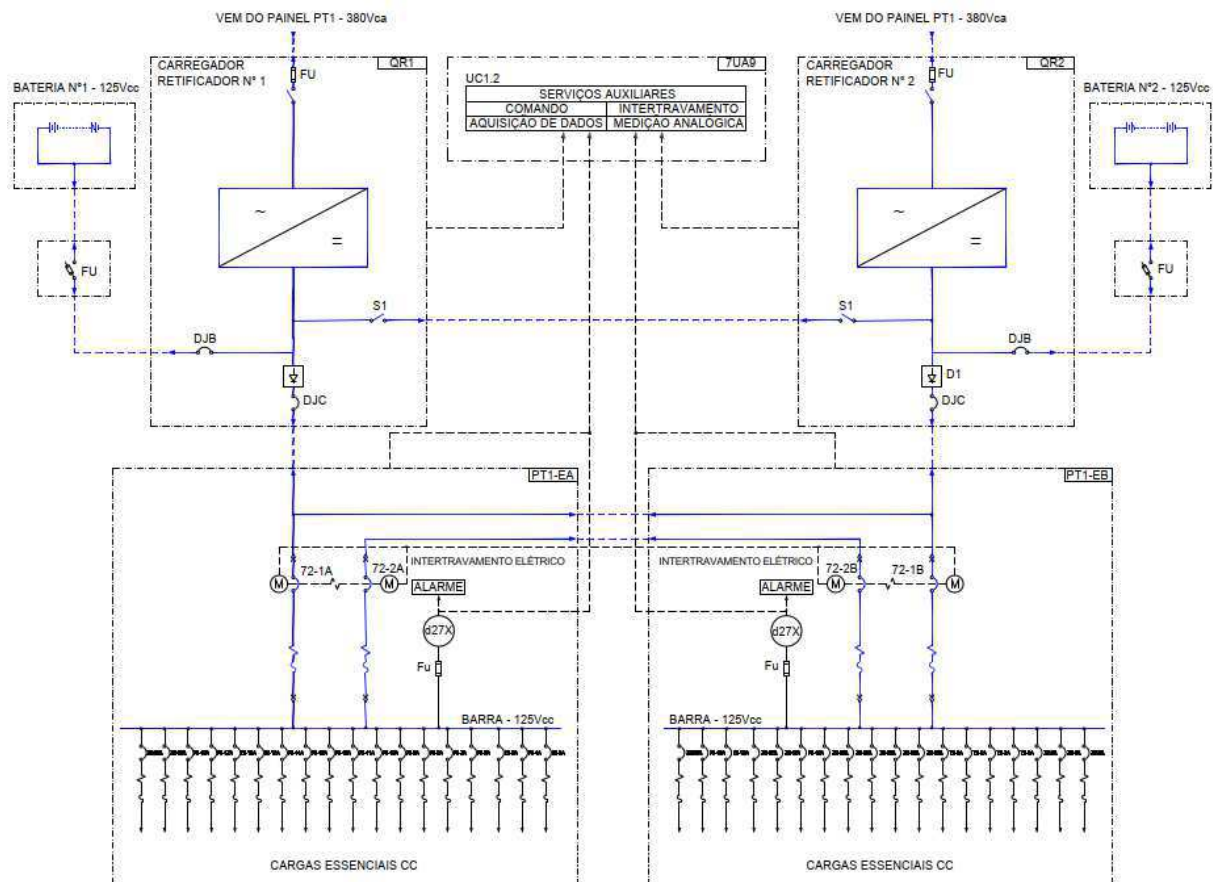


Fonte: Autoria própria.

4.1.2 Fontes de alimentação e cargas dos serviços auxiliares CC

Os serviços auxiliares CC operam com tensão 125 Vcc. Contam com dois conjuntos independentes de banco de baterias e carregadores/retificadores, projetados para atender as cargas essenciais tanto durante a operação normal quanto na recomposição da subestação em condições de emergência, de acordo com os critérios estabelecidos pelo ONS, descritos no item 3.3.2 deste trabalho. É ilustrado na figura 12 o diagrama unifilar dos serviços auxiliares CC.

Figura 12 - Diagrama unifilar serviços auxiliares em 125 Vcc.

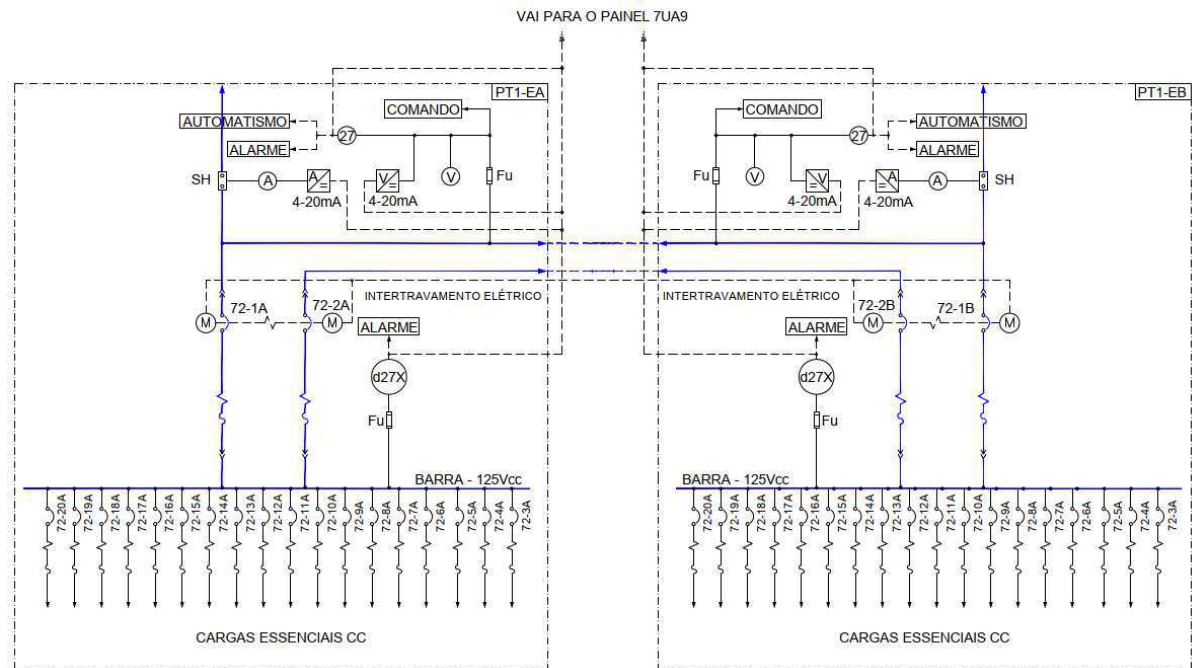


Fonte: Autoria própria.

A alimentação dos quadros dos carregadores/retificadores (QR1 e QR2) é fornecida pelo painel de distribuição de cargas essenciais (PT1). A partir daí, os quadros QR1 e QR2 distribuem a energia para carregar os bancos de baterias e alimentar as cargas CC. Essas cargas podem ser alimentadas por dois painéis distintos (PT1-EA e PT1-EB), como mostra a figura 13.

Os painéis PT1-EA e PT1-EB são painéis de serviços auxiliares em 125 Vcc, cada um com um barramento para alimentar as mesmas cargas, mas através de conjuntos de carregadores/retificadores e banco de baterias distintos, atendendo ao critério estabelecido pela ONS, conforme apresentado no item 3.3.2 deste trabalho, o qual especifica a necessidade de alimentação independente.

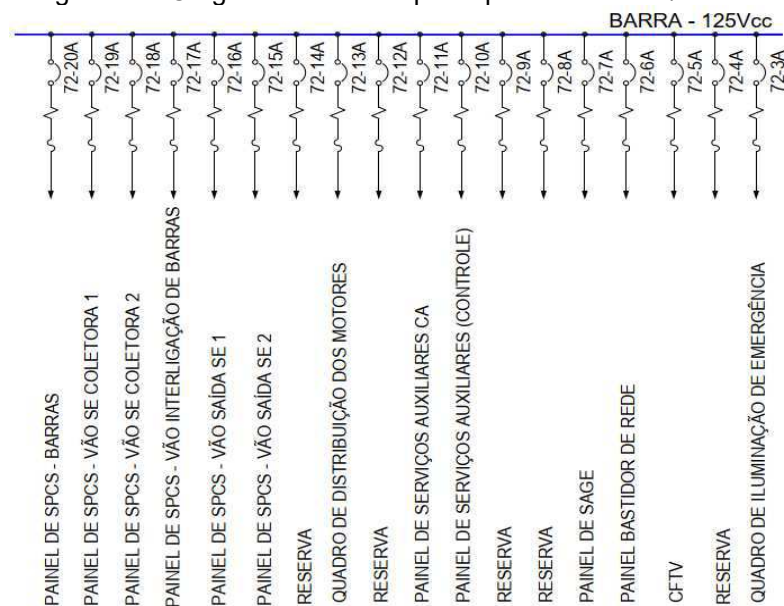
Figura 13 - Painéis de serviços auxiliares 125 Vcc.



Fonte: Autoria própria.

Algumas das cargas essenciais alimentadas pelos painéis de serviços auxiliares em 125 Vcc incluem: o quadro de distribuição dos motores, o painel de serviços auxiliares CA, o painel das unidades de controle dos serviços auxiliares, o painel do SAGE (supervisão do sistema elétrico da subestação), o quadro de iluminação de emergência da casa de comando e os painéis do SPCS dos vãos e de barras. Os circuitos de alimentação do barramento CC são detalhados na figura 14.

Figura 14 - Cargas alimentadas pelos painéis PT1-EA/PT1-EB.

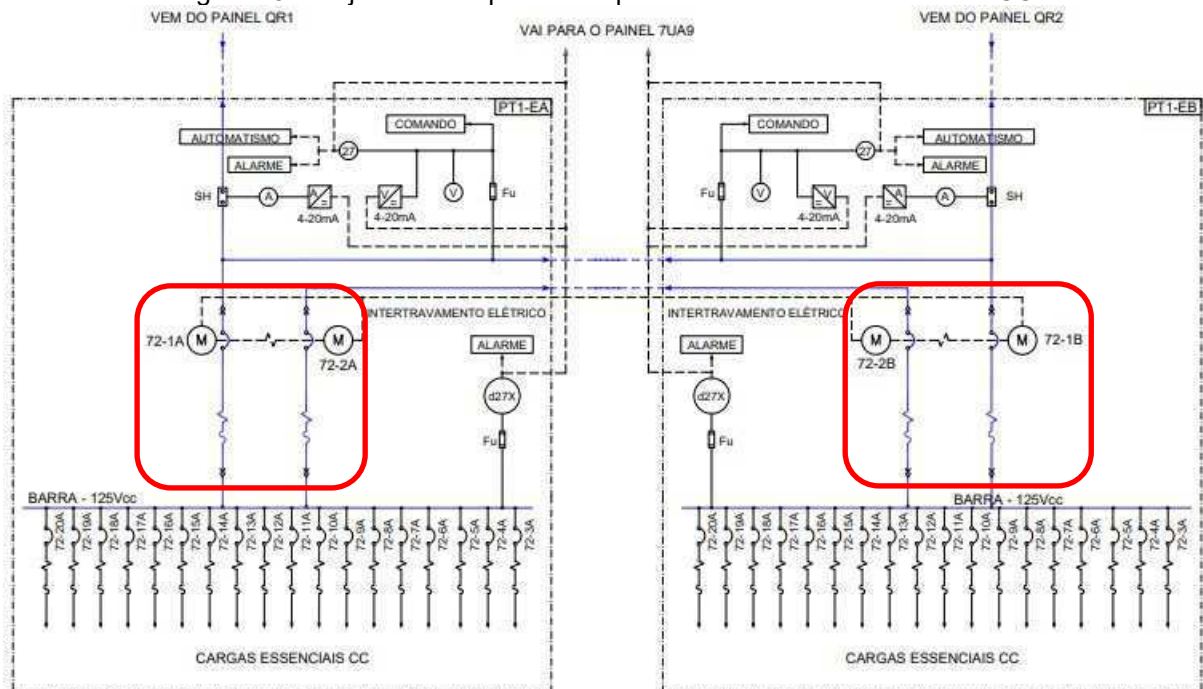


Fonte: Autoria própria.

Os painéis dos serviços auxiliares CC (PT1-EA e PT1-EB), assim como os quadros QR1 e QR2, possuem indicadores de grandezas, algumas funções de proteção, como subtensão (27) e falta de tensão (d27x), além de transdutores que recebem tensões e correntes e enviam sinais elétricos para a unidade de controle UC1.2. Essa UC é responsável pela aquisição de dados, medição analógica, execução dos comandos necessários para o funcionamento do sistema, e o gerenciamento do intertravamento das fontes CC.

O intertravamento das fontes CC impede que dois conjuntos de banco de baterias e carregador/retificador operem simultaneamente por um período maior que o necessário para evitar a reinicialização de computadores e sistemas digitais, cumprindo mais um critério estabelecido pelo ONS, conforme apontado no item 3.3.2 deste trabalho. A tabela 2 contém a posição dos disjuntores para a seleção de cada conjunto. É destacado na figura 15 os disjuntores que são empregados para realizar o intertravamento.

Figura 15 - Disjuntores responsáveis pelo intertravamento das fontes CC.



Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 - Intertravamento dos disjuntores para alimentação das cargas CC.

Disjuntor	Conjunto 1	Conjunto 2	Conjuntos 1 e 2
72-1A	Fechado	Aberto	Fechado
72-2A	Aberto	Fechado	Aberto
72-2B	Fechado	Aberto	Aberto
72-1B	Aberto	Fechado	Fechado

Fonte: Autoria própria.

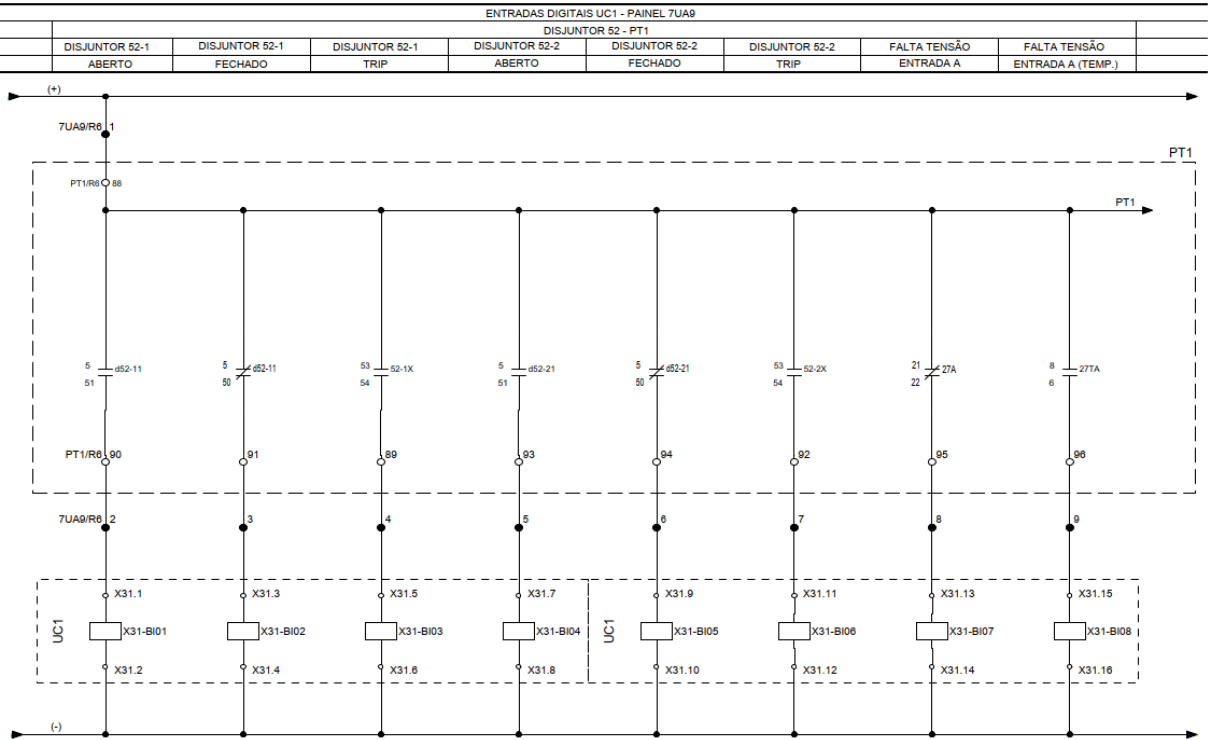
4.2 DIAGRAMA FUNCIONAL

Todas as conexões entre os equipamentos e os painéis dos serviços auxiliares estão documentadas nos diagramas funcionais. Um desses cadernos detalha as ligações do painel de controle dos serviços auxiliares CA/CC (painel 7UA9), que abriga as duas unidades de controle (UC1.1 e UC1.2), responsáveis pelos serviços auxiliares CA e CC. No diagrama funcional, são indicadas as conexões feitas para as entradas digitais dessas UCs.

As entradas digitais da UC1.1 recebem diversos sinais para o monitoramento do sistema de serviços auxiliares. Esses sinais são originados de disjuntores, quadros de motores e de resistências, GMGs e painéis de SPCS. Para a transmissão das informações dos parâmetros analisados, são utilizados contatos auxiliares, normalmente fechados (NF) ou normalmente abertos (NA), além de relés auxiliares para verificar e informar as condições do sistema.

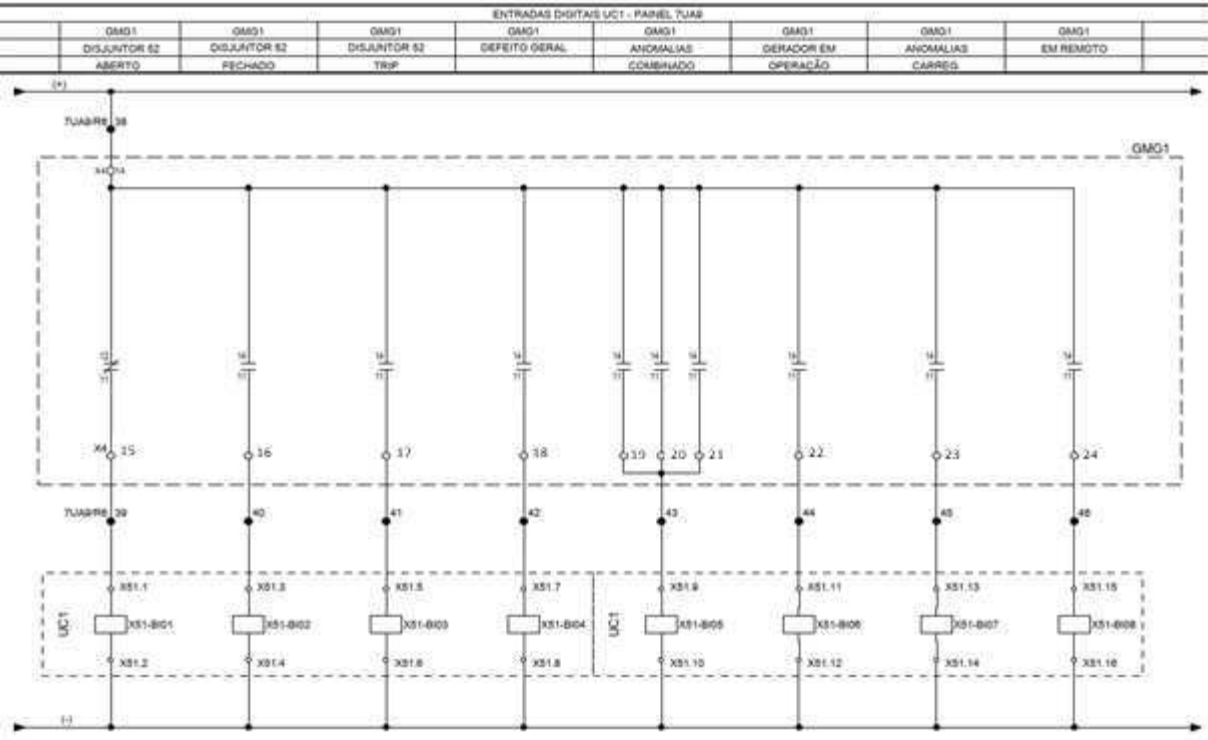
Um exemplo das fiações e interligações que levam sinais dos disjuntores CA para as entradas digitais da UC1.1 é mostrado na figura 16. Pode-se observar que a UC recebe parâmetros como a posição do disjuntor (aberto ou fechado), sinal de trip para abertura e falta de tensão de alimentação. No caso do GMG, as informações transmitidas para a UC incluem a posição do disjuntor que conecta o GMG para alimentação das cargas, sinal de trip desse mesmo disjuntor, defeitos e anomalias de funcionamento, status de operação do GMG, entre outros. Exemplos dessas ligações entre o GMG e a UC são mostrados na figura 17.

Figura 16 – Entradas Digitais UC1.1: parâmetros dos disjuntores.



Fonte: Autoria própria.

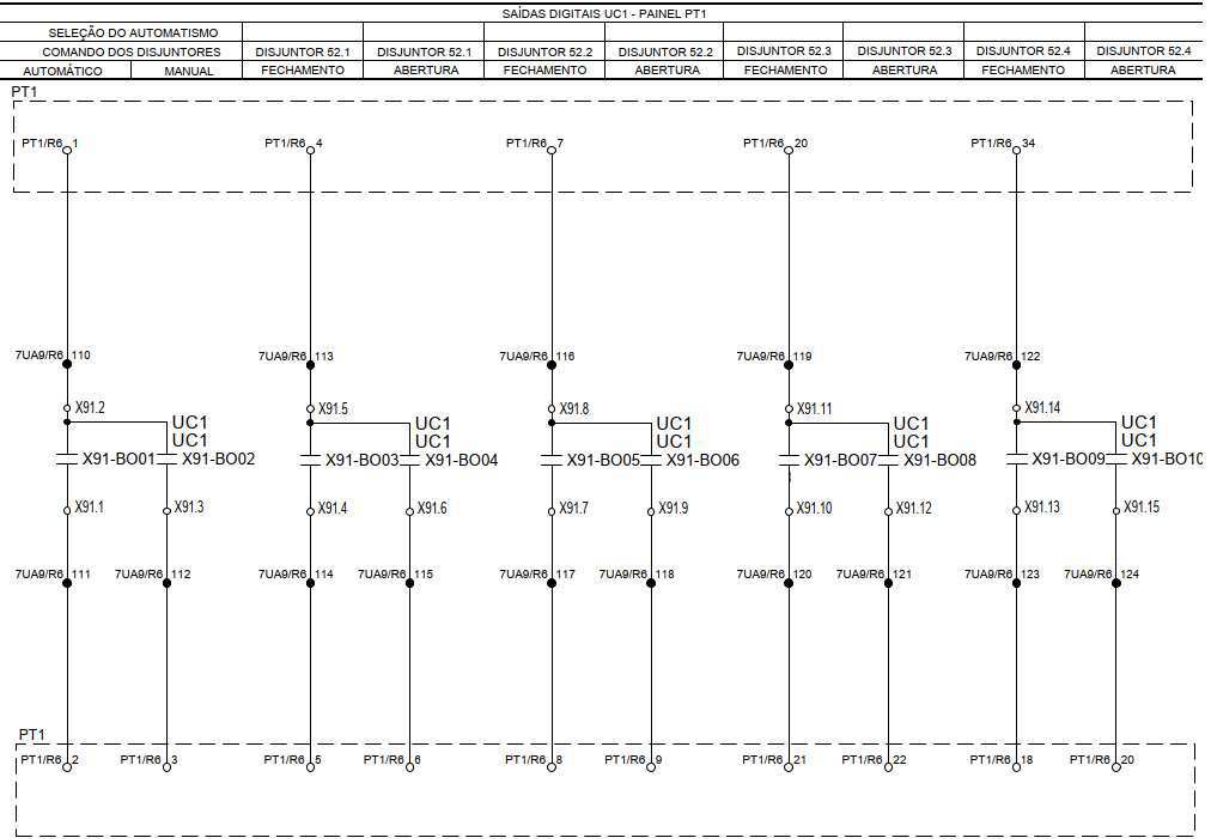
Figura 17 – Entradas Digitais UC1.1: parâmetros dos GMGs.



Fonte: Autoria própria.

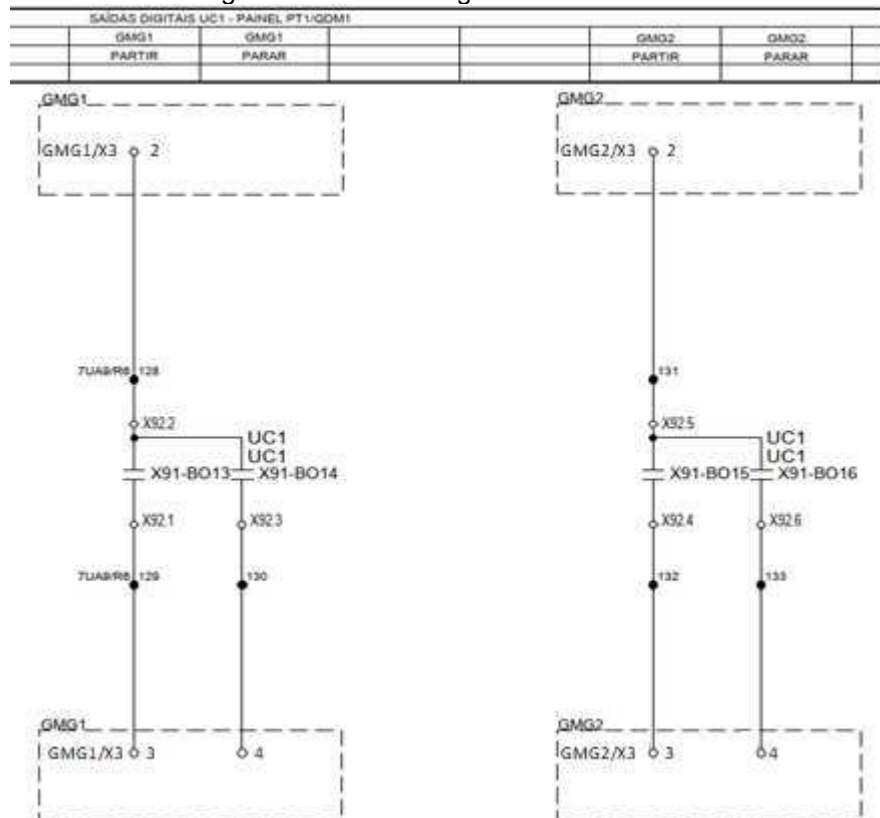
Além das entradas digitais, o diagrama funcional também apresenta as saídas digitais das UCs, que incluem comandos de abertura e fechamento de disjuntores, seleção de modo de operação dos disjuntores (automático ou manual) e acionamento e parada dos GMGs, conforme mostrado nas figuras 18 e 19.

Figura 18 – Saídas Digitais UC1.1: disjuntores.



Fonte: Autoria própria.

Figura 19 – Saídas Digitais UC1.1: GMGs.



Fonte: Autoria própria.

Para a unidade de controle UC1.2, as construções no diagrama funcional são semelhantes, porém envolvem os equipamentos, seus parâmetros, e componentes do sistema de serviços auxiliares em CC, como os retificadores.

4.3 DIAGRAMA LÓGICO

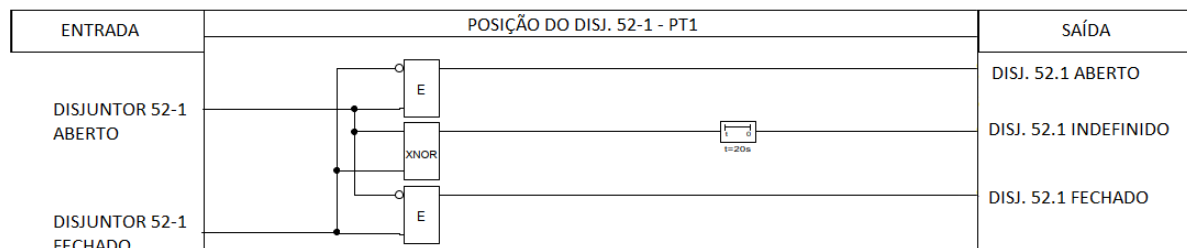
Dentro dos diagramas funcionais, também podem estar contidos os diagramas lógicos, que apresentam as lógicas as quais devem ser programadas e implementadas nas UCs para realizar comandos, intertravamentos e outras aplicações. É mostrado na figura 20 a lógica para determinar a posição do disjuntor, onde as informações de entrada (disjuntor aberto e/ou fechado) são recebidas por meio dos contatos auxiliares, que enviam o sinal para a entrada digital da UC. Essas informações são processadas por portas lógicas, resultando em um sinal de saída que expressa o estado do disjuntor.

Ao analisar a figura 20, pode-se exemplificar o funcionamento da lógica de um disjuntor aberto. Nessa lógica, dois sinais de entrada são utilizados: um indicando se o disjuntor está aberto e outro se está fechado. Para que o sinal de saída indique que

o disjuntor está aberto, é necessário que a entrada "aberto" receba um sinal lógico 1, confirmando a abertura do disjuntor, e que a entrada "fechado" receba um sinal lógico 0, indicando que o disjuntor não está fechado.

Além disso, o sinal de saída pode incluir informações como disjuntor fechado ou indefinido, quando passa o tempo necessário para o processo de abertura ou fechamento e a ação não é concluída, seja por algum defeito ou por levar um tempo maior para realizar a manobra. Por isso, é necessário a utilização de um temporizador na energização desse sinal, para que não haja sinalização de forma indevida em momentos que ação leve mais tempo que o comum.

Figura 20 – Lógica para detecção da posição do disjuntor.

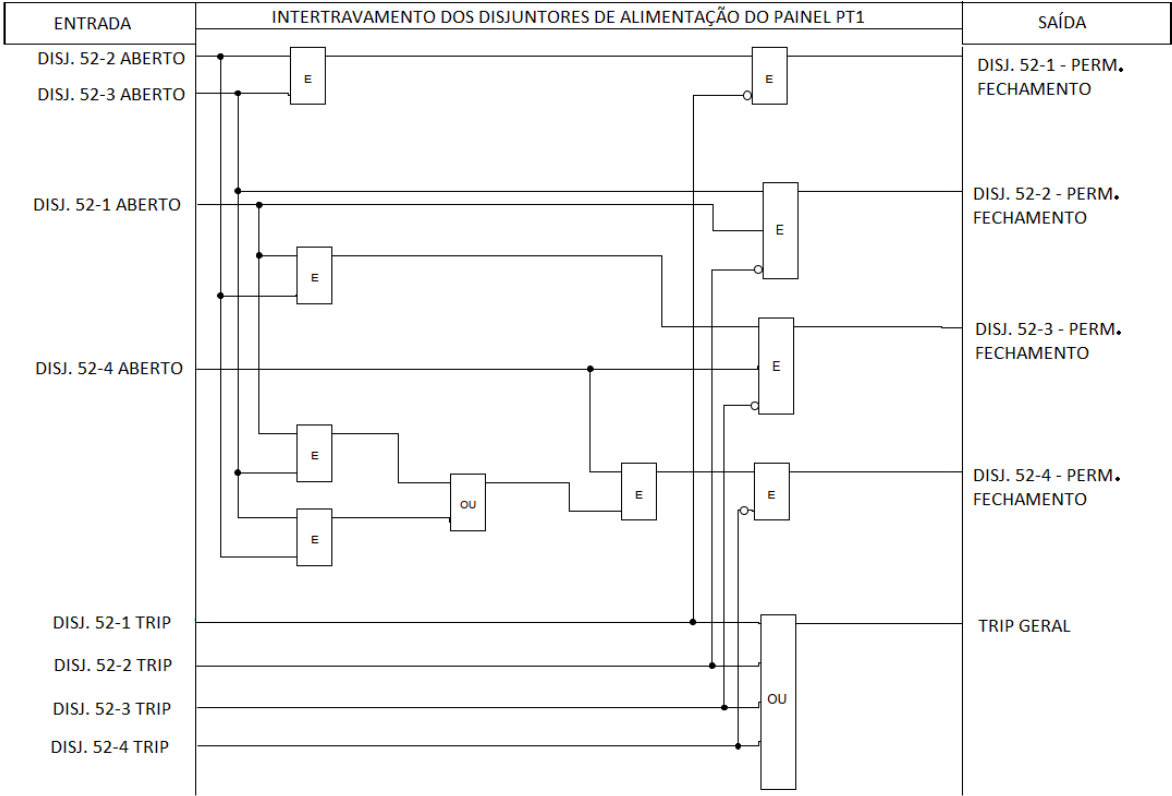


Fonte: Autoria própria.

Outra lógica presente nesse diagrama é o intertravamento dos disjuntores de alimentação do painel de cargas CA essenciais (PT1), conforme ilustrado na figura 21. Através da posição dos disjuntores, a UC processa as informações do circuito lógico e gera a saída com a permissão para fechamento do disjuntor responsável pela alimentação dessas cargas, conforme indicado na tabela 1.

Na figura 21, percebe-se que, para a UC permitir o fechamento do disjuntor 52-1 (associado à alimentação dos serviços auxiliares pelo TSA), os disjuntores 52-2 (GMG1) e 52-3 (GMG2) devem estar abertos, além de não haver comando de trip para o disjuntor 52-1. Para os demais disjuntores, o raciocínio é semelhante, exceto para o disjuntor 52-4 (responsável pela separação do barramento de cargas CA essenciais das não essenciais). Nesse caso, é necessário que os disjuntores 52-1 e 52-3, ou 52-2 e 52-3, estejam abertos, além de o próprio 52-4 estar aberto e não haver comando de trip para ele.

Figura 21 – Lógica para intertravamento dos disjuntores das fontes de alimentação CA.

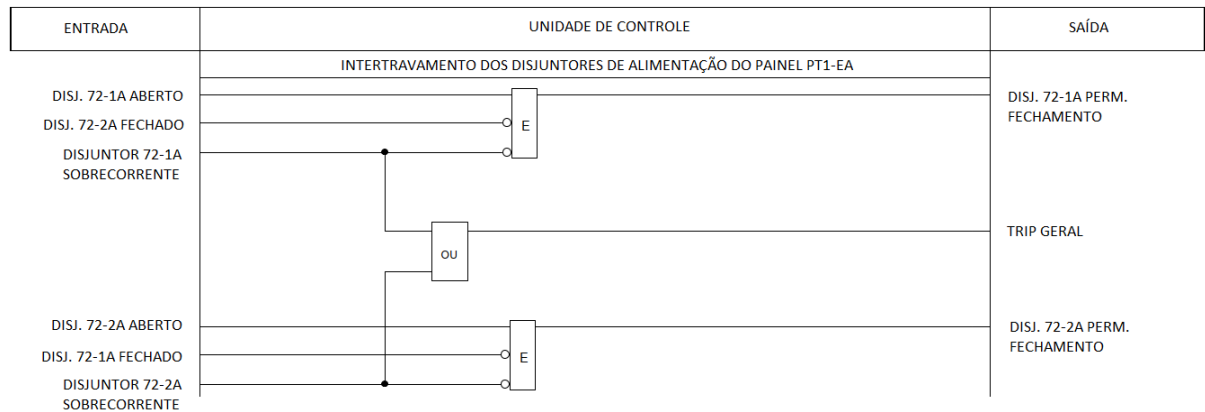


Fonte: Autoria própria.

Os painéis PT1-EA e PT1-EB possuem dois disjuntores cada, intertravados de forma que apenas um conjunto de carregador/retificador e banco de baterias alimente o painel por vez. A lógica de seleção do conjunto de alimentação é ilustrada na figura 22. Os disjuntores 72-1A e 72-2A correspondem, respectivamente, ao conjunto 1 e ao conjunto 2 para o painel PT1-EA.

Para que o disjuntor 72-1A tenha permissão de fechamento, é necessário que ele próprio esteja enviando um sinal indicando que está aberto, que o disjuntor 72-2A não esteja fechado, e que o disjuntor 72-1A não esteja em sobrecorrente. A lógica para permitir o fechamento do disjuntor 72-2A segue os mesmos princípios, mas com os parâmetros inversos: o disjuntor 72-2A deve enviar um sinal de que está aberto e não estar em sobrecorrente, além de o disjuntor 72-1A não estar fechado. A lógica de intertravamento dos disjuntores no painel PT1-EB é idêntica.

Figura 22 – Lógica para intertravamento dos disjuntores das fontes de alimentação CC.

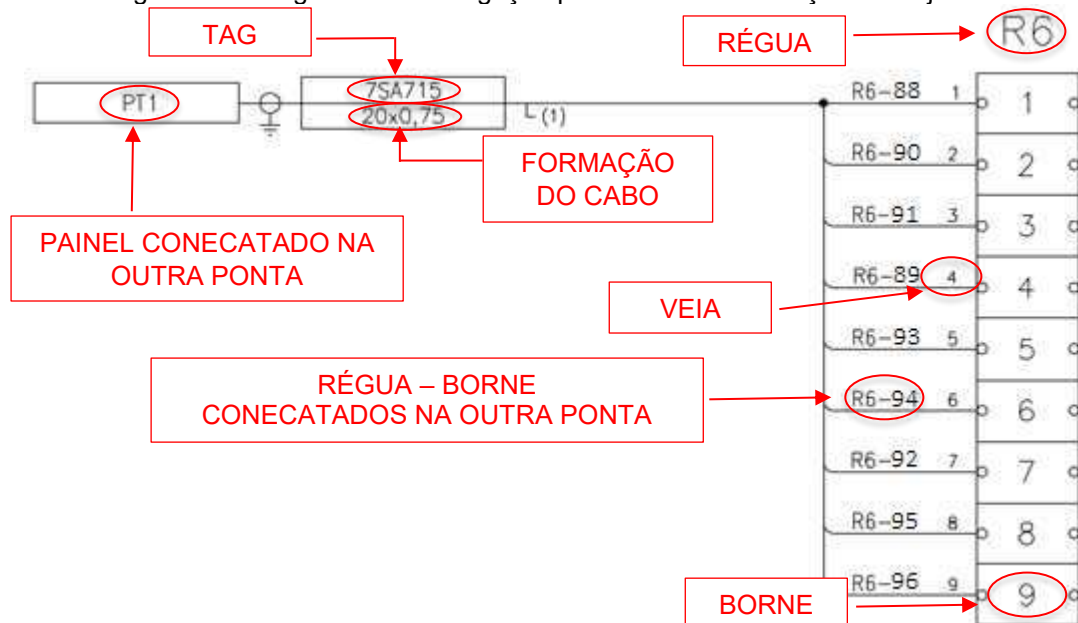


Fonte: Autoria própria.

4.4 DIAGRAMA DE INTERLIGAÇÃO

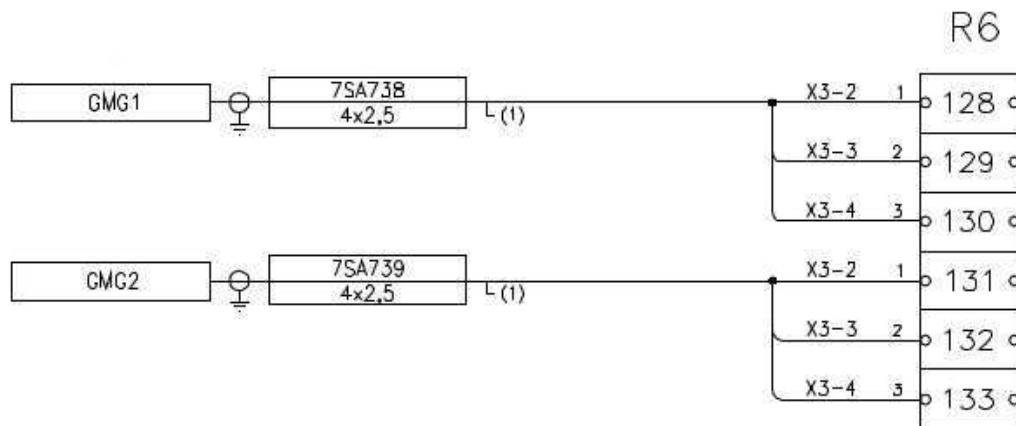
A partir do diagrama funcional, é possível extrair as interligações que compõem o diagrama de interligação. As figuras 23 e 24 exemplificam como esses cadernos são construídos, mostrando as interligações presentes nas figuras 16 e 19, que se referem, respectivamente, aos parâmetros do disjuntor e à saída digital da unidade de controle. Essas interligações, apresentadas nas figuras 23 e 24, pertencem ao painel 7UA9, o qual contém a régua de bornes (R6) que aparece em ambos os diagramas.

Figura 23 – Diagrama de interligação painel 7UA9: sinalização do disjuntor.



Fonte: Autoria própria.

Figura 24 – Diagrama de interligação painel 7UA9: saídas digitais da UC1.1 para o GMG.



Fonte: Autoria própria.

A numeração da régua indica o borne ao qual a veia do cabo está conectada. Os painéis, como PT1, GMG1 e GMG2, são os destinos onde a outra ponta do cabo está ligada. As tags, como 7SA715, 7SA738 e 7SA739 (figuras 23 e 24), referem-se à nomenclatura do cabo, sendo que cada cabo tem sua tag e uma formação específica. A formação é definida por duas características: o número de veias e a seção transversal de cada veia. Por exemplo, o cabo 7SA715 (figura 23) possui a formação 20x0,75, ou seja, trata-se de um cabo multipolar com 20 veias, cada uma com seção transversal de 0,75 mm².

Ao lado da numeração dos bornes, é indicado o número da veia conectada, bem como a régua e o borne aos quais essa veia está ligada no outro painel. Por exemplo, o cabo 7SA738 (figura 24) tem sua veia 1 conectada ao painel 7UA9 através do borne 128, enquanto a outra ponta é conectada ao painel GMG1 no borne 2 da régua X3.

4.5 VALORES DAS FONTES DOS SERVIÇOS AUXILIARES

Para garantir a confiabilidade e o bom funcionamento dos serviços auxiliares da subestação, é essencial realizar o dimensionamento adequado dos equipamentos que os compõem, como o TSA, GMG, banco de baterias e carregador/retificador. Para isso, deve-se elaborar uma memória de cálculos detalhada, contendo o dimensionamento desses componentes. No caso da subestação analisada neste trabalho, seguiram-se os critérios, conceitos e etapas apresentados no trabalho de SILVA, (2024) para o seu dimensionamento. As tabelas 3 e 4 mostram os valores determinados para esses equipamentos.

Tabela 3 - Valores das fontes de alimentação CA.

Fontes CA	
TSA	112,5 kVA
GMG1 (prime)	180 kVA
GMG2 (standby)	150 kVA

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4 - Valores das fontes de alimentação CC.

Fontes CC	
Bancos de Baterias	400Ah/10h
Carregadores/Retificadores	100A e 16,3 kVA

Fonte: Autoria própria.

5. CONCLUSÃO

Essa pesquisa contribui para uma maior compreensão a respeito dos serviços auxiliares das subestações, em especial aqueles que são regidos pelos procedimentos estabelecidos pelo ONS. O projeto reforçou a necessidade de um bom planejamento e uma estruturação adequada para os projetos de serviços auxiliares de subestações, para que seja possível garantir um funcionamento eficiente dos diversos componentes do sistema. Além de apresentar uma visão prática dos conceitos a respeito dos serviços auxiliares e auxiliar na elaboração e desenvolvimento de projetos.

Apesar disso, este trabalho apresenta uma limitação, pois o projeto analisado contém apenas uma subestação, o que delimita um único cenário de aplicação dentro de diversas possibilidades. Dessa forma, sugere-se que nos próximos trabalhos seja realizado, uma análise mais diversificada envolvendo uma maior quantidade de subestações, como também a comparação entre os critérios que regem as subestações da rede básica e as que não pertencem a essas instalações.

REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR 15254**: Acumulador chumbo-ácido estacionário - Diretrizes para dimensionamento. Rio de Janeiro, 2005.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA ANEEL Nº 1.017, DE 19 DE ABRIL DE 2022**. 2022. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20221017.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2024.

BRASIL. **LEI Nº 9.648, DE 27 DE MAIO DE 1998**. BrasíliaDF: Presidência da República, 1998. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/CCivil_03/LEIS/L9648cons.htm>. Acesso em: 17 jul. 2024.

CAMPOS, L. F. G. DE; ESTEVAM, G. P. **A atuação das subestações no Sistema Elétrico de Potência**. 2020. Disponível em: <https://unisalesiano.com.br/aracatuba/wp-content/uploads/2021/03/07_A-atuacao-das-subestacoes_130_141.pdf>. Acesso em: 26 set. 2024.

CARVALHO JÚNIOR, R. DE. **Instalações elétricas e o projeto de arquitetura**. 10. ed. São Paulo: [s.n.].

CAVALCANTI, M. DE M. **Estudos de melhorias no suprimento energético dos sistemas auxiliares de subestações conectadas à Rede Básica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) — Recife: Universidade de Pernambuco, 2023.

CHESF. **IT-DEEC-009/2010**: critérios para dimensionamento dos transformadores de serviços auxiliares e grupo motor gerador diesel de emergência. 2014a.

CHESF. **IT-DEEC-010/2010**: critérios de dimensionamento para banco de baterias e carregador/retificador. 2014b.

FRAZÃO, J. L. M.; PEDROSA FILHO, M. H. DE O. **Armazenamento de energia em clientes do grupo A com microgeração FV**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, 2023.

FRONTIN, S. DE O. **Equipamentos de alta tensão**: prospecção e hierarquização de inovações tecnológicas. 1. ed. Brasília: Teixeira, 2013.

GOMES, L. A. **Análise de arranjos de barramentos de subestações de distribuição, transmissão e industrial**. 2023. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/handle/1/31487>>. Acesso em: 26 set. 2024.

GONÇALVES, R. M. **Guia de projeto para subestações de alta tensão**. Trabalho de Conclusão de Curso — São Carlos: Universidade de São Paulo, 2012.

MAMEDE FILHO, J. **Subestações de alta tensão**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

MME; EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026**. 2017. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2024.

MONTEIRO, P. R. D. **Subestações industriais**. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.13140/RG.2.2.20597.99041>>. Acesso em: 26 set. 2024.

MONTEIRO, P. R. D. **Introdução à subestação e seus principais equipamentos**. [s.l.] Seven Editora, 2024.

MONTEIRO, P. R. D.; MIRANDA, J. M. **Arranjo de subestação: um estudo de revisão bibliográfica**. Research, Society and Development, v. 10, n. 14, p. e287101421805, 1 nov. 2021.

ONS. **Procedimento de Rede Submódulo 1.1**: O Operador Nacional do Sistema Elétrico e os Procedimentos de Rede: visão geral. Brasília, 2008. Disponível em: <<https://www.ons.org.br>>. Acesso em: 17 jul. 2024.

ONS. **Procedimento de Rede Submódulo 2.6**: Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos. Brasília, 2022. Disponível em: <<https://www.ons.org.br>>. Acesso em: 17 jul. 2024.

ONS. **Procedimento de Rede Submódulo 1.2**: Glossário dos procedimentos de rede. Brasília, 2024a. Disponível em: <<https://www.ons.org.br>>. Acesso em: 17 jul. 2024.

ONS. **Procedimento de Rede Submódulo 2.11**: Requisitos mínimos para os sistemas de proteção, de registro de perturbações e de teleproteção. Brasília, 2024b. Disponível em: <<https://www.ons.org.br>>. Acesso em: 17 jul. 2024.

PESENTI, G. R. **Medição remota como estratégia de monitoramento de baterias estacionárias**: estudo de caso em uma subestação de energia elétrica. Dissertação (Mestrado em Metrologia) — Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012.

SILVA, T. C. DA. **Memória de cálculo em subestações para fontes dos serviços auxiliares, cabos e disparadores**. Trabalho de Conclusão de Curso — Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2024.

STEMAC. **O que são grupos geradores**. Disponível em: <<http://www.blogstemac.com.br/artigos-tecnicos/o-que-sao-grupos-geradores/>>. Acesso em: 19 ago. 2024.