

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE GUARATINGUETÁ

DANIEL KENDY HORIKAWA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SUBESTAÇÕES AO TEMPO E
SUBESTAÇÕES ISOLADAS A GÁS**

Guaratinguetá
2013

DANIEL KENDY HORIKAWA

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE SUBESTAÇÕES AO TEMPO E
SUBESTAÇÃO ISOLADA A GÁS**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga

Guaratinguetá
2013

H811e Horikawa, Daniel Kendy
Estudo Comparativo Entre Subestações ao Tempo e Subestações
Isoladas a Gás / Daniel Kendy Horikawa – Guaratinguetá : [s.n], 2013.
56 f : il.
Bibliografia: f. 55

Trabalho de Graduação em Engenharia Elétrica – Universidade
Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.
Orientador: Prof. Dr. Oscar Armando Maldonado Astorga

1. Energia elétrica 2. Subestações elétricas I. Título

CDU 621.316

DANIEL KENDY HORIKAWA


ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA


Prof. Dr. LEONARDO MESQUITA

Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. OSCAR ARMANDO MALDONADO ASTORGA
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. DURVAL LUIZ S. RICCIULLI
UNESP-FEG


Prof. Dr. JOMAR ESTEVES BUENO
UNESP-CTIG

DADOS CURRICULARES

DANIEL KENDY HORIKAWA

NASCIMENTO	29.06.1989 – SÃO PAULO / SP
FILIAÇÃO	Carlos Seidi Horikawa Márcia Arakaki Horikawa
2008/2013	Curso de Graduação Engenharia Elétrica – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – Campus de Guaratinguetá

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Carlos e Márcia, e às minhas irmãs Chayana e Nathâni por me proporcionarem todo incentivo e suporte para chegar à conclusão deste curso.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus.

Ao meu orientador *Oscar Armando Maldonado Astorga* que me deu todo o suporte para a realização deste trabalho de graduação.

Agradeço também a minha família, meus pais *Carlos* e *Márcia*, e minhas irmãs *Chayana* e *Nathâni*, por me proporcionarem todo o suporte e incentivo em toda a minha vida até hoje. Estiveram sempre ao meu lado em todos os momentos de felicidade e dificuldades para me acolherem e aconselharem quais as melhores escolhas a serem tomadas.

Os meus amigos de república, *Labyrintho*, onde pude crescer, aprender e me desenvolver. Nesses 6 anos obtive um grande crescimento pessoal, com certeza, com a contribuição de todos.

Os meus amigos de moradia em Jundiaí, que com toda a certeza me apoiaram em todos os momentos, de felicidade, de tristeza, de stress, decisivos em meu crescimento.

Ao meu gestor *Indaléssio*, e também aos meus orientadores no trabalho, *Rafael* e *Luis Melges*, os quais me proporcionaram um grande crescimento profissional, e sempre estiveram dispostos a me ajudar.

EPÍGRAFE

“Acredite em si próprio e chegará
um dia em que os outros não terão
outra escolha senão acreditar em
você.”

Cynthia Kersey

HORIKAWA, D. K. **Estudo Comparativo entre subestação ao tempo (AIS) e subestação isolada a gás (GIS)**, 2013 56 f. – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

Neste trabalho são comparadas duas metodologias de implantação de subestações de energia elétrica, do tipo convencional, quando instaladas ao tempo (“*Air Isolated Switchgear*” – AIS), e compactas, isoladas a gás (“*Gas Insulated Switchgear*” – GIS) quando instaladas dentro de edificações. Com a expansão de centros urbanos, áreas disponíveis para implantação de subestações convencionais tornam-se cada vez mais difíceis de serem encontradas nestes locais. Também devido à especulação imobiliária em zonas urbanas, torna-se viável a instalação de Subestações Isoladas a Gás. Este trabalho apresenta e avalia critérios apresentando vantagens e desvantagens para aplicação das duas metodologias, tendo como objetivo auxiliar no momento de tomada de decisão de escolha na implantação de Subestações de Energia Elétrica em dois cenários. Espera-se que ao final deste trabalho, os critérios avaliados auxiliem nessa tomada de decisão.

PALAVRAS-CHAVE: Energia elétrica; subestação de energia elétrica; subestação convencional; subestação isolada a gás.

HORIKAWA, D. K. **Comparative Study on Air Isolated Swtichgear (AIS) and Gas Insulated Switchgear (GIS)**, 2013 56 p - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

ABSTRACT

In this paper are compared two methods of deploying electrical substations, conventional type, when installed at open areas ("Air Insulated Switchgear" - AIS), and compact gas-insulated ("Gas Insulated Switchgear" - GIS) when installed inside buildings. With the expansion of urban centers, areas available for deployment of conventional substations become increasingly difficult to find in these locations. Also due to speculation in urban areas, it becomes feasible to install Gas Insulated Switchgear. This paper presents and evaluates criteria with advantages and disadvantages for application of the two methodologies, aiming to assist in decision-making moment of choice in deployment of Electric Power Substations in two scenarios. It is expected that at the end of this work, the criteria evaluated assist in this decision making.

KEYWORDS: Electricity, electricity substation; conventional substation, gas insulated substation.

LISTA DE TERMOS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AIS – *Air Insulated Switchgear* – Subestação ao tempo

ANEEL – Agência nacional de Energia Elétrica

ANSI – *American National Standards Institute* – Instituto Nacional Americano de Padrões

AT – Alta tensão

EAT – Extra alta tensão

GIS – *Gas Insulated Switchgear* – Subestação Isolada a Gás

SE - Subestação

SF6 – Hexafluoreto de Enxofre

SEE – Sistema de Energia Elétrica

TC – Transformador de corrente

TP – Transformador de potencial

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - SE Serra do Falcão.....	17
Figura 2 - Diagrama Unifilar SE Indústria.....	19
Figura 3 - Planta baixa da SE Indústria.....	22
Figura 4 – Corte 1 SE Industria	24
Figura 5 – Corte 2 SE Industria	25
Figura 6 - Planta e Situação SE Indústria.....	26
Figura 7 - Representação física e elétrica de um módulo completo de um GIS.	29
Figura 8 - Subestação isolada a gás.	30
Figura 9 - Diagrama Unifilar SE Cidade.....	32
Figura 10 - Planta do andar inferior SE Cidade.....	34
Figura 11 - Planta andar superior SE Cidade	34
Figura 12 - Cortes Transversais SE Cidade.....	35
Figura 13 - Planta Situação SE Cidade	36
Figura 14 - Subestação Anaheim instalada do subsolo do Parque Roosevelt nos EUA. 42	
Figura 15 - Planta da SE Anaheim.....	43
Figura 16 - Novo Layout SE Industria.....	49

SUMÁRIO

1.	SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA.....	13
1.1	Equipamentos de uma subestação.	15
2	SUBESTAÇÕES AO TEMPO	16
2.1	PROJETO AIS	18
2.1.1	Descrição.....	18
2.1.2	Diagrama unifilar	18
2.1.3	Especificação técnica dos equipamentos de alta e média tensão	19
2.1.4	Arranjo físico, plantas e cortes.....	21
2.1.5	Custos	26
2.1.6	Período médio de manutenção	27
3	SUBESTAÇÕES ISOLADAS A GÁS.....	28
3.1	Projeto GIS.....	31
3.1.1	Descrição.....	31
3.1.2	Diagrama Unifilar.....	31
3.1.3	Especificação técnica dos equipamentos	32
3.1.4	Arranjo físico, plantas e cortes.....	33
3.1.5	Custos	36
3.1.6	Período de manutenção	37
4	PREMISSAS UTILIZADAS ANÁLISE COMPARATIVA.....	38
4.1	Área Disponível.....	41
4.2	Segurança	43
4.3	Custo.....	44
4.4	Viabilidade Técnica.....	45
4.5	Impacto Socioambiental	46
4.6	Exemplo Cenário I – Zonas Rurais	47
4.7	Exemplo Cenário II – Centros Urbanos.....	52
5	CONCLUSÕES.....	54
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA

As equipes de Planejamento de Expansão, responsáveis pela definição das obras que serão implantadas no Sistema de Energia Elétrica (SEE), a fim de garantir o atendimento do mercado futuro, procuram a melhor solução técnico-econômica para os problemas identificados no horizonte de planejamento. A obra escolhida para execução deve garantir, além da solução dos problemas identificados, o reconhecimento dos investimentos pelo órgão regulador e, ao mesmo tempo, a minimização dos impactos na tarifa de energia (ANEEL 10), bem como os impactos sociais e ambientais.

As Subestações de energia elétrica tem a função de um ponto de convergência de linhas de transmissão e/ou distribuição, além de ser responsável por toda parte de controle, proteção e fluxo energético pela rede, garantindo a operação correta tanto para consumidores como para geradores de energia elétrica.

Uma Subestação (SE) é um conjunto de instalações elétricas em média ou alta tensão que agrupa os equipamentos, condutores e acessórios, destinados à proteção, medição, manobra e transformação de grandezas elétricas (PRODIST).

A principal função de uma subestação no Sistema de Energia Elétrica (SEE) é prover um ponto onde são instalados os equipamentos de transformação de níveis de tensão, manobra e de proteção. Os equipamentos de transformação permitem a conexão de circuitos com níveis de tensão diferenciados, os equipamentos de manobra são responsáveis pela distribuição do fluxo de potência através dos diversos circuitos conectados à subestação e os equipamentos de proteção tem a função de garantir a segurança de pessoas e equipamentos e restringir a abrangência da área afetada do SEE em situações de falha. (ELETROBRÁS, 1982)

As subestações podem ser classificadas em relação a sua função no SEE, nível de tensão de operação, tipos de instalação e tipos construtivos.

Classificação quanto a sua função

- Geração – controla o fluxo de potencia fornecido ao SEE.
- Transformação – eleva ou abaixa o nível de tensão.

- Manobra – conecta e desconecta circuitos, inserindo ou retirando cargas de alimentação.
- Conversão – podendo ser do tipo Retificadora, convertendo correntes alternadas em diretas, ou Inversoras, realizando a conversão inversa a anterior.

Nível de tensão de operação

- Baixa tensão (BT) – tensões até 1000 V;
- Média tensão (MT) – tensões de 1000 V a 35 kV;
- Alta Tensão (AT) – tensões de 35 kV a 230 kV;
- Extra alta tensão (EAT) – tensões de 230 kV a 800 kV;
- Ultra alta tensão (UAT) – tensões acima de 800 kV.

Tipos de instalação

- Desabrigada ou ao tempo – subestações instaladas ao ar livre
- Abrigada – instalada em edificações;
- Móvel – instalada em um veículo que permite a sua locomoção.

Tipos construtivo

- Convencional – instaladas ao tempo onde a isolação elétrica entre os equipamentos é realizada pelo ar.
- Isoladas a gás – instaladas em edificações onde a isolação entre os equipamentos é realizada pelo gás SF₆ (Hexafluoreto de Enxofre);
- Híbridas – onde há presença de ambos os tipos de isolação de equipamentos.

Neste trabalho são estudados dois tipos de Subestações (SE`s) :

- Subestações ao tempo, AIS, que são descritas no capítulo 2;
- Subestações isoladas a gás, GIS que são descritas no capítulo 3.

1.1 EQUIPAMENTOS DE UMA SUBESTAÇÃO.

Os principais equipamentos de uma SE podem ser divididos nos seguintes grupos: equipamentos de interrupção, de transformação e proteção.

Os primeiros possuem a função de interrupção de correntes, bem como realização de seccionamento e isolamento dos circuitos. Podem ser representados, em geral, nas instalações de Subestações, através de Disjuntores e Chaves Seccionadoras.

Os Disjuntores têm por sua principal função a interrupção e desligamentos dos circuitos em condições anormais, como em situações de ocorrência de correntes de falta, garantido a proteção dos circuitos seguintes. Esses equipamentos são fabricados e especificados para a atuação sobre carga.

Já as Chaves Seccionadoras operam com intuito de isolar os equipamentos e circuitos para a realização de manutenções em segurança. São responsáveis pelas manobras de transferência ou seccionamento somente sem carga. Em circuitos de alta tensão, as mesmas possuem intertravamento juntamente com os Disjuntores, pois somente podem ser acionadas, caso o disjuntor esteja aberto, garantindo o sua operação em situações sem carga.

Os equipamentos de Transformação podem ser representados pelos transformadores de força, transformadores de corrente, e transformadores de potencial indutivos e capacitivos.

Os transformadores de potência são considerados os mais importantes nas instalações de subestações elétricas de potência, quando utilizados, por terem um alto valor de custo e também por possuírem a função de elevação e redução de tensão, especificadas de acordo com as necessidades de projeto. Além da função de transformação são responsáveis por isolar eletricamente circuitos de alta e média tensão.

Os transformadores de potencial (TP) e corrente (TC), chamados de transformadores de instrumentação, possuem a função de diminuir a tensão e corrente para níveis factíveis para a realização de medições e atuações em relés de proteção e controle.

Os equipamentos de proteção de uma SE de Alta potência podem ser resumidos em 3 grupos : Relés de proteção, Para-Raios, Fusíveis.

Os relés de proteção e controle compõe parte do Sistema de Proteção, Controle e Supervisão de uma SE. São responsáveis por detectar condições anormais de operação

através de informações enviadas pelos transformadores de instrumentação (TI), e atuar, através do envio de comandos de abertura (trip) para os disjuntores, em um tempo suficiente a fim de garantir a proteção de todo sistema.

Os Para-Raios são responsáveis pela proteção dos equipamentos e sistemas contra situações de sobretensão, que podem ser ocasionados por descargas atmosféricas ou por surtos transitórios devido a manobras de chaveamento.

Os Fusíveis tem a função de proteção contra correntes de curto circuito. Possuem uma atuação mais veloz em comparação aos Disjuntores, porém em sua atuação, é necessária a sua substituição.

2 SUBESTAÇÕES AO TEMPO

Subestações ao tempo, chamadas de Air Insulated Switchgear (AIS – Subestações Isoladas ao ar), são subestações onde o ar atmosférico é o responsável pela isolação elétrica entre os equipamentos de pátio. Todos os equipamentos, com exceção do Sistema de Proteção, Controle e Supervisão que se encontram dentro da Casa de Comando, são expostos a degradações ao ar livre.

Devido à isolação entre os equipamentos ser realizada pelo ar, níveis mínimos de distanciamentos entre as partes energizadas são padronizados pela ABNT, a fim de garantir o isolamento pelo ar. A Tabela 1, retirada da NBR 5459, apresenta os valores mínimos das distancias de afastamentos.

Tabela 1 - Afastamentos Elétricos em Subestações externas.

Afastamentos Elétricos em Subestações Externas											
Tensão Nominal (kV)	Tensão Máxima do Equipamento (kV)	Tensão Suportável de Impulso Atmosférico (kv crista)	Espaçamentos (m)				Espaçamento de Fases com Equipamento	Altura Mínima de Barramento Horizontal sobre o Solo (m)	Altura Mínima Recomendada sobre Estradas (m)		Nº Isoladores na cadeia
			Fase-Terra	Fase-Fase	Mesmo Circuito	Circuito Diferente			Secundária	de Serviços	
			Mínimo Metal-a-Metal								
13,8	15,0	110	0,20	0,30	---	---	3,0	---	6,0	2	
34,5	38,0	200	0,38	0,48	---	---	3,0	---	6,0	4	
69,0	72,5	350	0,69	0,79	2,0	3,0	3,0	4,55	6,0	6	
138,0	145,0	550	1,10	1,25	2,5	4,0	3,6	4,55	7,5	10	
138,0	145,0	650	1,30	1,45	3,5	5,0	3,6	5,60	7,5	10	
230,0	242,0	850	1,60	1,90	4,0	6,0	4,5	5,60	8,5	16	
230,0	242,0	950	1,70	2,10	4,0	8,0	4,5	5,60	8,5	16	
230,0	242,0	1050	1,90	2,30	4,0	8,0	4,5	5,60	8,5	16	

Além dos espaçamentos mínimos citados acima, devem ser previstas áreas para a circulação de pessoas e equipamentos. Portanto, em regiões internas a SE, as distâncias de segurança resultam da soma de dois valores:

- Distanciamento referente aos afastamentos mínimos necessários para a passagem de pedestres, veículos e equipamentos em áreas energizadas.
- Distanciamento referente aos afastamentos mínimos necessários para a realização de trabalho e manutenções por operadores, considerando as dimensões médias de uma pessoa..

A Figura 1 ilustra uma subestação ao tempo.

Figura 1 - SE Serra do Falcão



Fonte: (Arquivo Furnas, 2013).

A seguir, apresenta-se um projeto real de uma Subestação Isolada a Ar para levantamento de critérios de comparação com GIS, tendo como objetivo auxiliar na tomada de decisão da escolha de qual metodologia a ser aplicada.

2.1 PROJETO AIS

2.1.1 Descrição

Trata-se de uma Subestação ao tempo para o suprimento de energia de uma indústria de bebidas, doravante referenciada de SE Indústria, localizada às margens de uma rodovia no interior de Minas Gerais – Brasil.

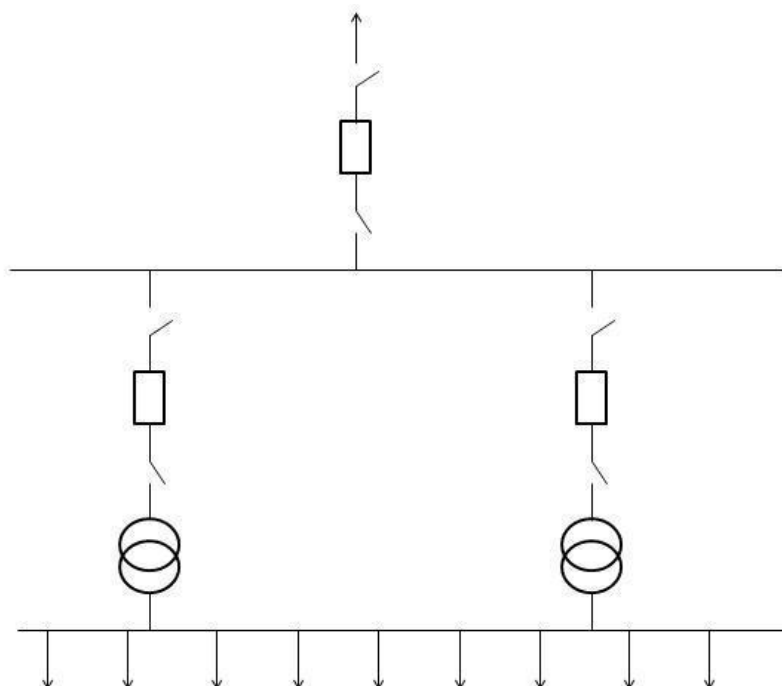
A implantação desse empreendimento consiste de uma SE com grandeza de transformação de 138/13,8 kV com dois transformadores de potência de 25 MVA, de arranjo Barra Simples, com dois barramentos de entrada 138 kV e um barramento de saída de 13,8 kV. O barramento de saída alimentará 8 cubículos de MT, onde 3 são futuros, sendo deixados para uma futura expansão.

O terreno da indústria tem aproximadamente 300 mil metros quadrados, onde a área destinada a implantação da SE é de 1900 m².

2.1.2 Diagrama unifilar

A Figura 2 apresenta o diagrama unifilar da SE Indústria, onde é observado o arranjo de Barra Simples com dois vãos (bays) de trafo, um bay de entrada de linha e os 9 cubículos alimentadores.

Figura 2 - Diagrama Unifilar SE Indústria



2.1.3 Especificação técnica dos equipamentos de alta e média tensão

Abaixo seguem as Tabelas 2, 3 e 4, onde representam os principais equipamentos de alta tensão (AT), média tensão (MT) e baixa tensão (BT) para a implantação de uma subestação de alta tensão ao tempo.

Tabela 2: Especificação técnica dos equipamentos de alta tensão

Descrição	Quantidade
Para raio tipo estação, monofásico, uso externo, invólucro porcelana, tensão nominal 120 kVdc, corrente nominal de descarga de 10 kA, com contador de descargas.	06
Chave seccionadora tripolar, tensão nominal 145 kV, abertura central com lâmina de terra e comando motorizado, corrente nominal de 1250 A, NBI 650 kV.	06
Disjuntor tripolar, tensão nominal 145 kV, isolado em SF6, corrente nominal de 1250 A, NBI 650 kV.	03

Transformador de corrente, monofásico, isolamento a óleo, classe de tensão 145 kV, corrente primária 100/200/300/400 A, corrente secundária 5 A, 2 enrolamentos de proteção com classe de exatidão 2x(10B800), 1 enrolamento de medição com classe de exatidão 1x(0,3C50) 03

Transformador de potencial indutivo, monofásico, isolamento a óleo, classe de tensão 145 kV, tensão primária 138/3 kV, tensão secundária, 115/115/3 V, 2 enrolamentos de proteção com classe de exatidão 2x(0,6P200), 1 enrolamento de medição com classe de exatidão 1x(0,3P200) 03

Transformador de potência com tensão de operação primária de 138 kV, tensão de operação secundária de 13,8 kV, potência 15/20/22 MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2), comutação de tapes em carga (OLTC) 02

Tabela 3: Especificação técnica dos equipamentos de média tensão

Descrição	Quantidade
Resistor de aterramento, tensão nominal de 13800/3 V, corrente nominal de 200 A, resistência de 40 ohms	02
Transformador de distribuição a seco, tensão de operação primária de 13,8 kV, tensão de operação secundária de 220 V, ONAN.	01
Painel de média tensão, 02 cubículos de entrada, 8 cubículos alimentadores, 02 cubículos de TIE (incluso acoplamento de barras), 1 cubículo de entrada da Cogeração.	01

Tabela 4: Especificação técnica dos equipamentos de baixa tensão

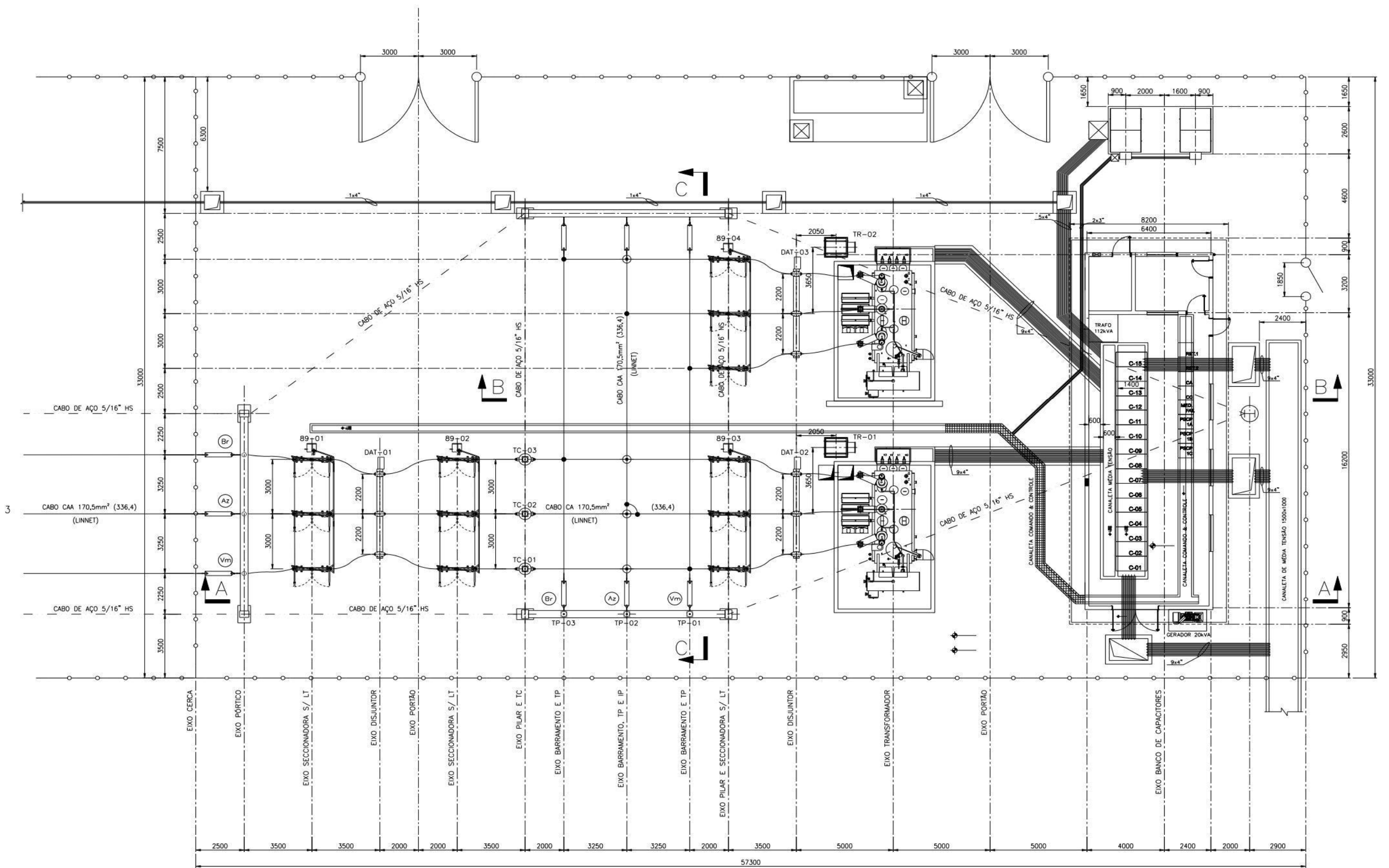
Descrição	Quantidade
Painel de proteção, supervisão, comando e controle	01
Quadro de serviços auxiliares 220/127 Vca	01
Quadro de serviços auxiliares 125 Vcc	01

Banco de baterias composto por 10 elementos de 12 Vcc, com capacidade de 200 Ah/10 h	02
Retificador / carregador de baterias bifásico, alimentação em 220 Vca e saída em 125 Vcc	02
Grupo motor-gerador, potência de 20 kVA, fator de potencia 0,8	01

2.1.4 Arranjo físico, plantas e cortes

A Figura 3 apresenta a planta baixa da subestação onde podem ser observadas as locações dos equipamentos, bem como a disposição dos mesmos no pátio da SE Indústria.

Figura 3 - Planta Baixa da SE Indústria



As Figuras 4 e 5 apresentam os cortes transversais da SE Industria. Já a Figura 6, a planta e situação da localização, onde pode ser observado toda área disponível para instalação da Indústria de bebidas, bem como locação da SE contornada em vermelho. Em caso de ampliação da mesma, comprova-se que não há espaço suficiente para o sua expansão ao seu redor. Todo o espaço destinado a SE é aproveitado com a disposição dos equipamentos.

Figura 5 - Corte 2 Subestação Indústria

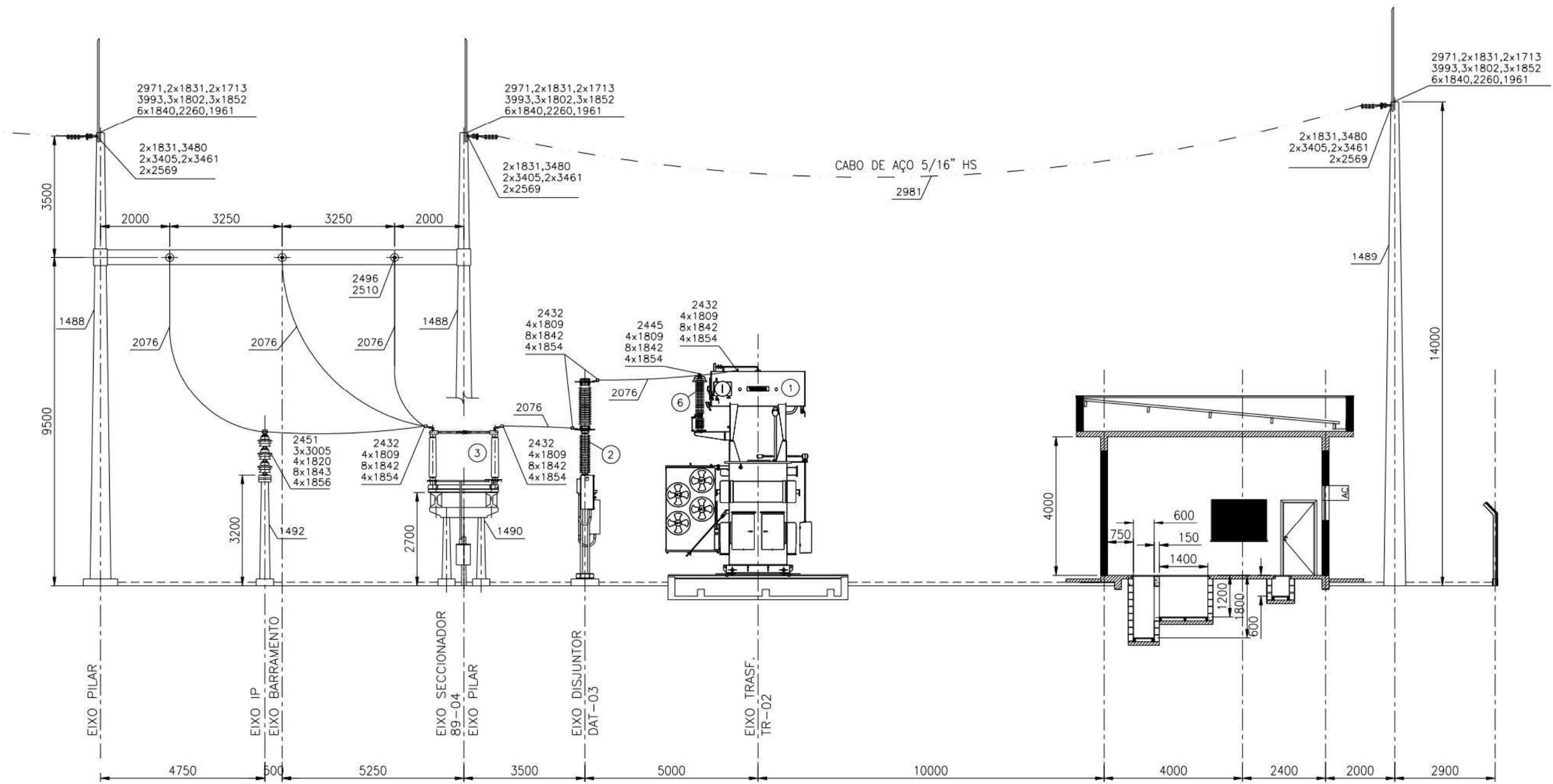
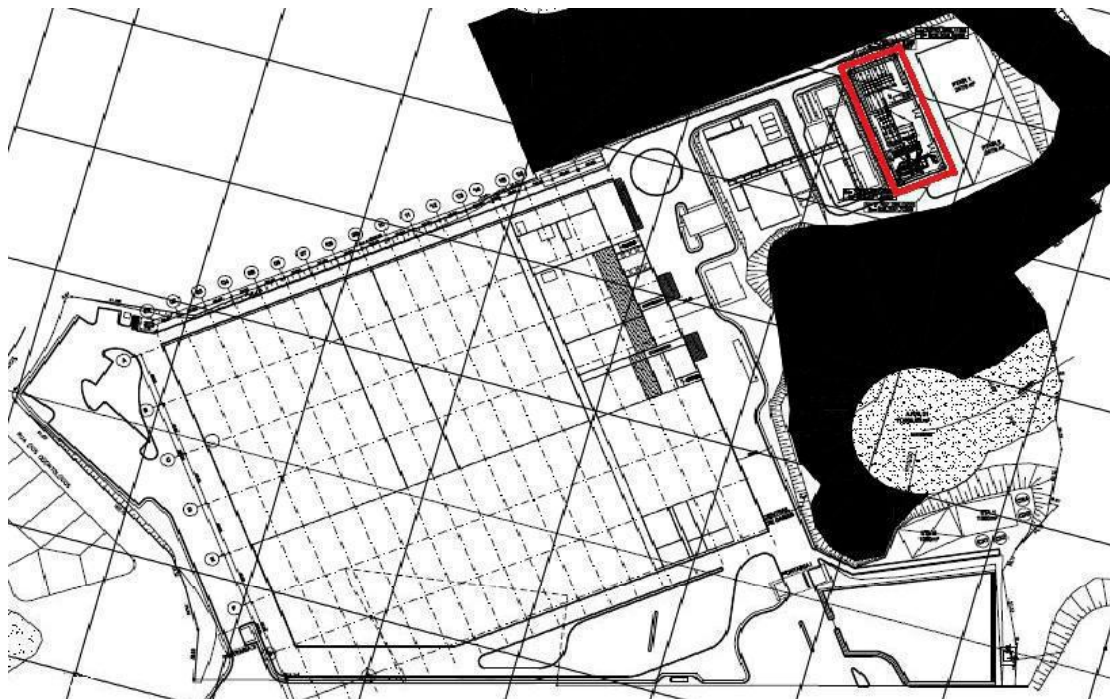


Figura 6 - Planta e Situação SE Indústria



2.1.5 Custos

Na implantação dessa SE, 40% dos custos é referente as Obras Civis e Montagens Eletromecânicas. Em alguns casos, com a complexidade do terreno (presença de grandes desníveis ou solo rochoso), essa parcela pode chegar a 60% do custo total de uma SE.

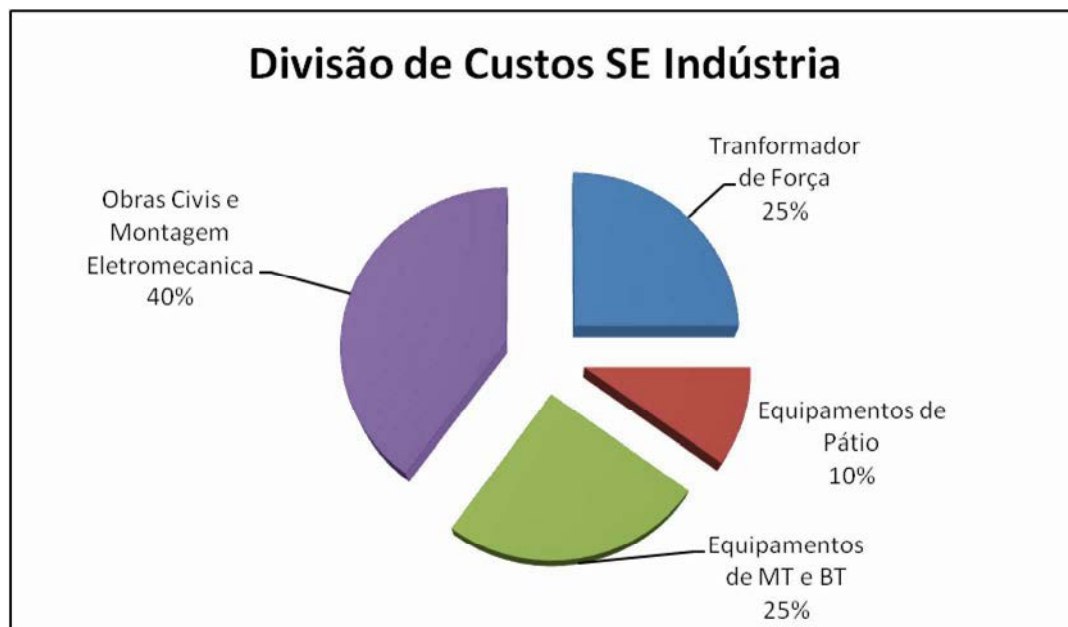
A divisão dos custos é apresentada pela Tabela 5, onde os valores são apresentados em porcentagem, proporcionalmente ao valor total do projeto.

Tabela 5: Divisão de custos da implantação da SE Indústria

Descrição	Porcentagem
Fornecimento do transformador de força	25%
Fornecimento de equipamentos de alta tensão, exceto transformador de força	10 %
Fornecimento de equipamentos de média e baixa tensão	25%
Obras civis e montagem eletromecânica	40%

Na forma de gráfico, tem-se as contribuições dos equipamentos em relação ao custo total da SE Indústria, apresentadas no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Divisão de Custos SE Indústria



Através do gráfico anterior, é constatado que grande parte do custo é destinada as obras, conforme citado anteriormente, e ao Transformador de Potência, o qual possui um valor muito maior em relação aos outros equipamentos.

2.1.6 Período médio de manutenção

O período de manutenção médio dos principais equipamentos de alta tensão de uma subestação ao tempo é apresentado pela Tabela 6. Por serem alocados ao ar livre, os equipamentos de pátio devem possuir um plano de manutenção com rotineiras vistorias, pois estão sujeitos a agressividade do ambiente. Neste caso específico, o ambiente não se torna tão agressivo, devido a estar em um local distante do mar. Em caso de locais próximos ao litoral, é necessária uma atenção especial em pinturas especiais para ambientes marítimos, visto que muitos materiais possuem em sua composição o elemento ferro, o qual sofre oxidação na presença de umidade, prejudicando a integridade dos equipamentos, assim como a sua funcionalidade e confiabilidade.

Tabela 6: Divisão de custos da implantação da SE Indústria

Descrição	Tempo (meses)
Transformador de Força	6
Disjuntor	12
Chave seccionadora	6
Transformador de potencial	12
Transformador de corrente	12

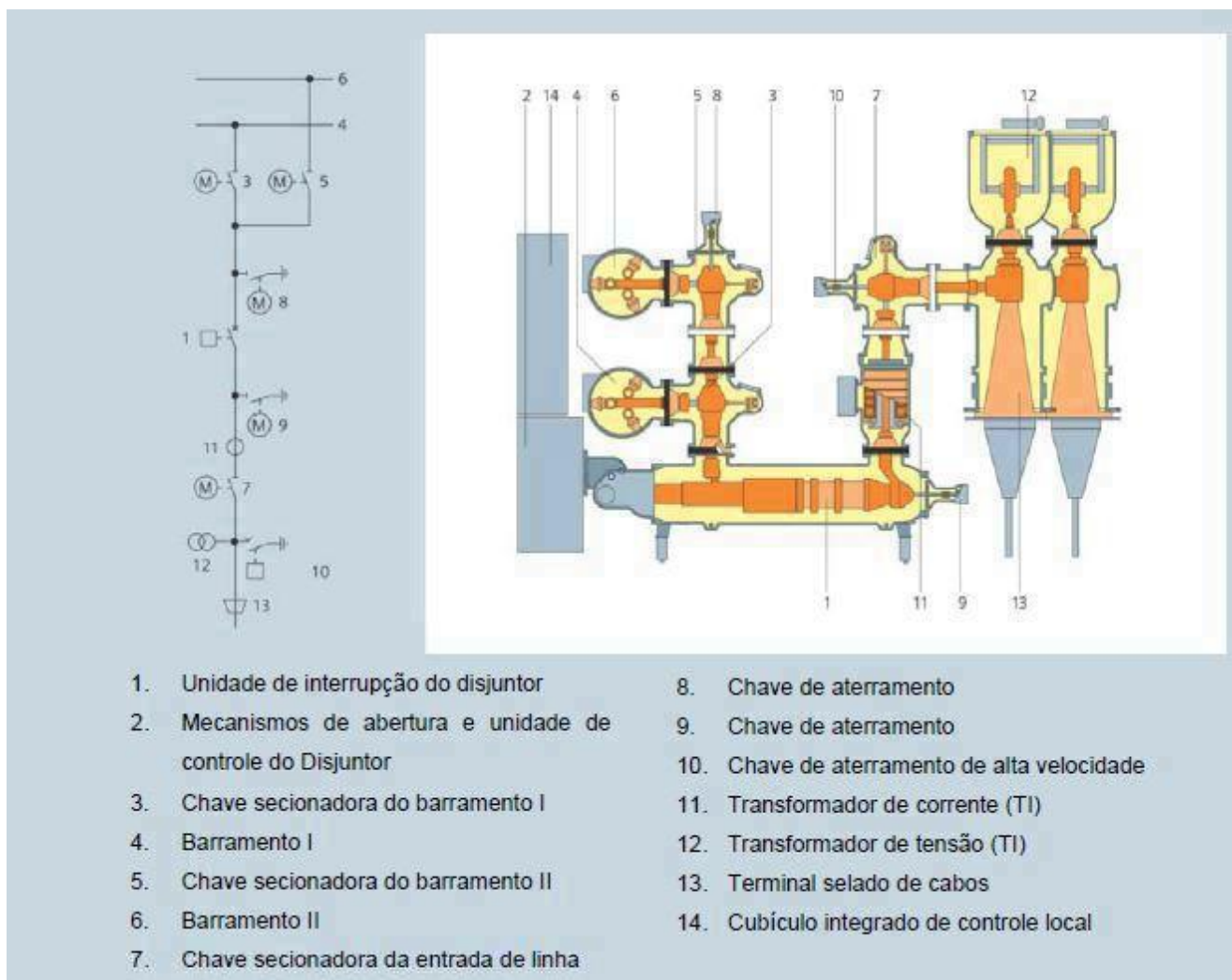
3 SUBESTAÇÕES ISOLADAS A GÁS

Essa configuração de instalações possui como principal princípio, o acoplamento dos equipamentos de alta tensão (disjuntor, seccionador, TC, TP, para-raios), exceto o transformador de força em módulos isolados a gás SF₆, diminuindo consideravelmente o espaço ocupado pelos equipamentos de pátio.

Todo o isolamento elétrico dos módulos de uma GIS é responsabilizado pelo gás SF₆. Este é um gás transparente, inodoro, não inflamável, quimicamente estável (devido a sua estrutura molecular octaédrica), não tóxico em sua composição pura onde pode ser inalado. O Hexafluoreto de Enxofre é uma substância muito pesada, onde sua densidade a temperatura de 20 graus Celsius é de aproximadamente 6,1 kg/m³, ou seja, aproximadamente 6 vezes a densidade do ar. Seu calor específico é de 3,7 vezes o do ar, grande vantagem em relação a redução de condições de superaquecimentos.

As GIS são fornecidas como um equipamento dividido em vários módulos isolados a gás, onde são acoplados de acordo a estrutura requerida em projeto. Na Figura 7 pode ser observada uma analogia entre o circuito elétrico de um bay e sua representação física, onde a parte amarela são os invólucros de SF₆ e as laranjas, zonas energizadas.

Figura 7 - Representação física e elétrica de um módulo completo de um GIS.



Fonte: (Arquivo Siemens)

Os espaçamentos mínimos elétricos para a implantação de uma subestação isolada a gás não possui qualquer padrão ou norma regulamentadora, visto que seus invólucros são totalmente desenergizados e aterrados. Porém, caso seja feita uma conexão entre GIS e AIS, devem ser obedecidos os critérios esclarecidos pelo item 2.

A ANSI e IEC padronizaram valores decorrentes ao isolamento para impulsos causados por descargas atmosféricas ou manobras. A Tabela 7 apresenta estes valores.

Tabela 7 - Níveis de isolamento para impulsos causados por manobras ou descargas atmosféricas.

Tensão Nominal do Sistema em rms (kV)	Nível de Isolamento a frequência industrial (kV)		Nível de isolamento a impulsos atmosféricos (kV)		Nível de isolamento a impulsos de manobra (kV)	
	IEC	ANSI	IEC	ANSI	IEC	ANSI
	245	395	425	950	900	-
362	450	500	1175	1050	950	825
420	520	-	1300	1050		-
525/550	620	615	1425	1550	1175	1240
765/800	830	860	1800	1800	1425	1425

Quando não há valor definido para o nível de isolamento para a classe de tensão especificada, adota-se o valor de classe de tensão maior.

Em caráter ilustrativo, a Figura 8 apresenta uma subestação isolada a gás.

Figura 8 - Subestação isolada a gás.



Fonte: (Arquivo Siemens, 2013).

A seguir, será descrito um projeto real de uma Subestação Isolada a Gás, para o levantamento de critérios de comparação com GIS, tendo como objetivo auxiliar na tomada de decisão da escolha de qual metodologia a ser aplicada.

3.1 PROJETO GIS

3.1.1 Descrição

Trata-se de uma Subestação isolada a gás, a partir de agora referenciada de SE Cidade, localizada na capital de um estado da região Sul do país, onde tem a função de atender ao aumento da demanda devido à expansão do centro urbano, assim como melhorar a qualidade de fornecimento de energia elétrica na região.

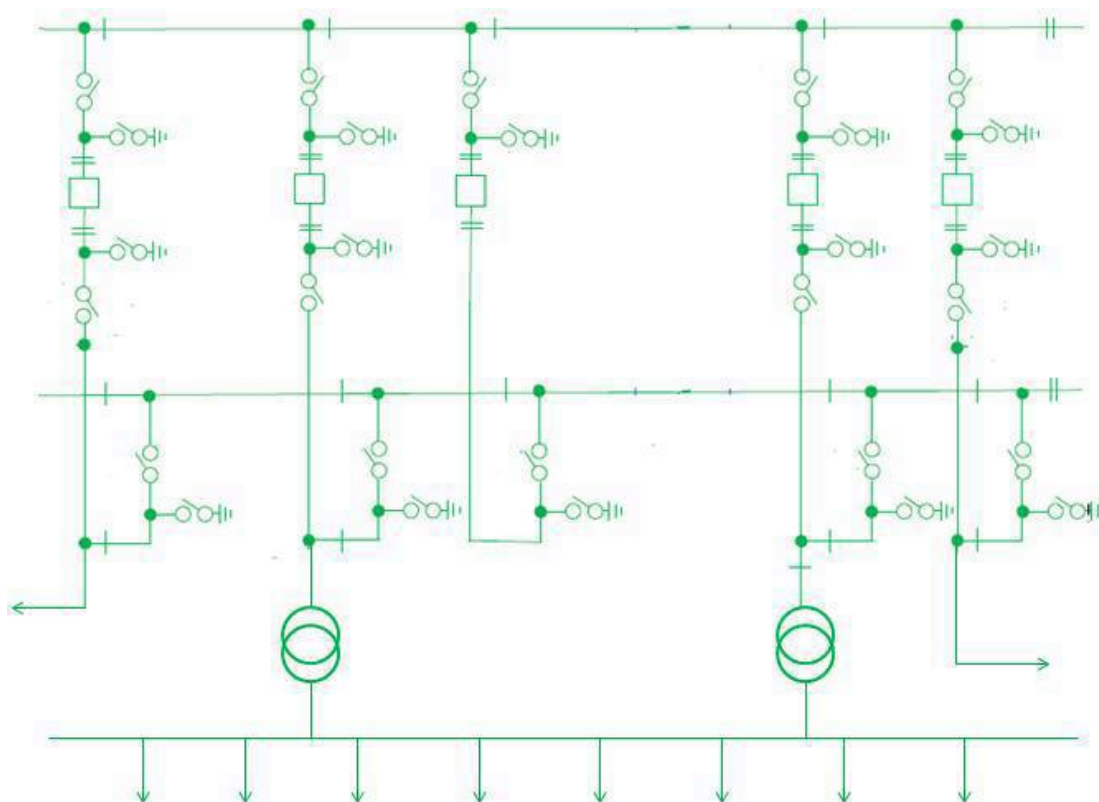
A implantação desse empreendimento consiste de uma SE abrigada em uma edificação, com grandeza de transformação de 69/13,8 kV e dois transformadores de potência de 25 MVA, de arranjo barra principal e transferência, com duas entradas de LT de 69 kV, sendo uma para futura expansão, e dois barramentos seccionados de saída de 13,8 kV. Os barramentos de baixa tensão terão no total, 8 alimentadores.

O terreno para implantação da SE Cidade tem 1.260 metros quadrados.

3.1.2 Diagrama Unifilar

A Figura 9 apresenta o diagrama unifilar da SE Cidade, onde é observado o arranjo de barra principal e transferência com dois bays de trafo, um bay de entrada de linha e os 8 cubículos alimentadores.

Figura 9 - Diagrama Unifilar SE Cidade



3.1.3 Especificação técnica dos equipamentos

A seguir tem-se as tabelas 8, 9 e 10, onde apresentam-se os principais equipamentos de alta tensão, média tensão e baixa tensão para a implantação de uma subestação de alta tensão isolada a gás, com suas especificações técnicas.

Tabela 8- Especificação técnica dos equipamentos de alta tensão

Descrição	Quantidade
Subestação Isolada a gás SF6 (GIS) composta por 2 módulos de LT, 1 módulo de transferência e 2 módulos de transformação.	01
Transformador de potência com tensão de operação primária de 69 kV, tensão de operação secundária de 13,8 kV, potência 15/20/25 MVA (ONAN/ONAF/ONAF), comutação de tapes em carga (OLTC)	02

Tabela 9: Especificação técnica dos equipamentos de média tensão

Descrição	Quantidade
Painel de média tensão, 04 cubículos de entrada, 8 cubículos alimentadores, 03 cubículos de TIE (incluso acoplamento de barras)	01

Tabela 10: Especificação técnica dos equipamentos de baixa tensão

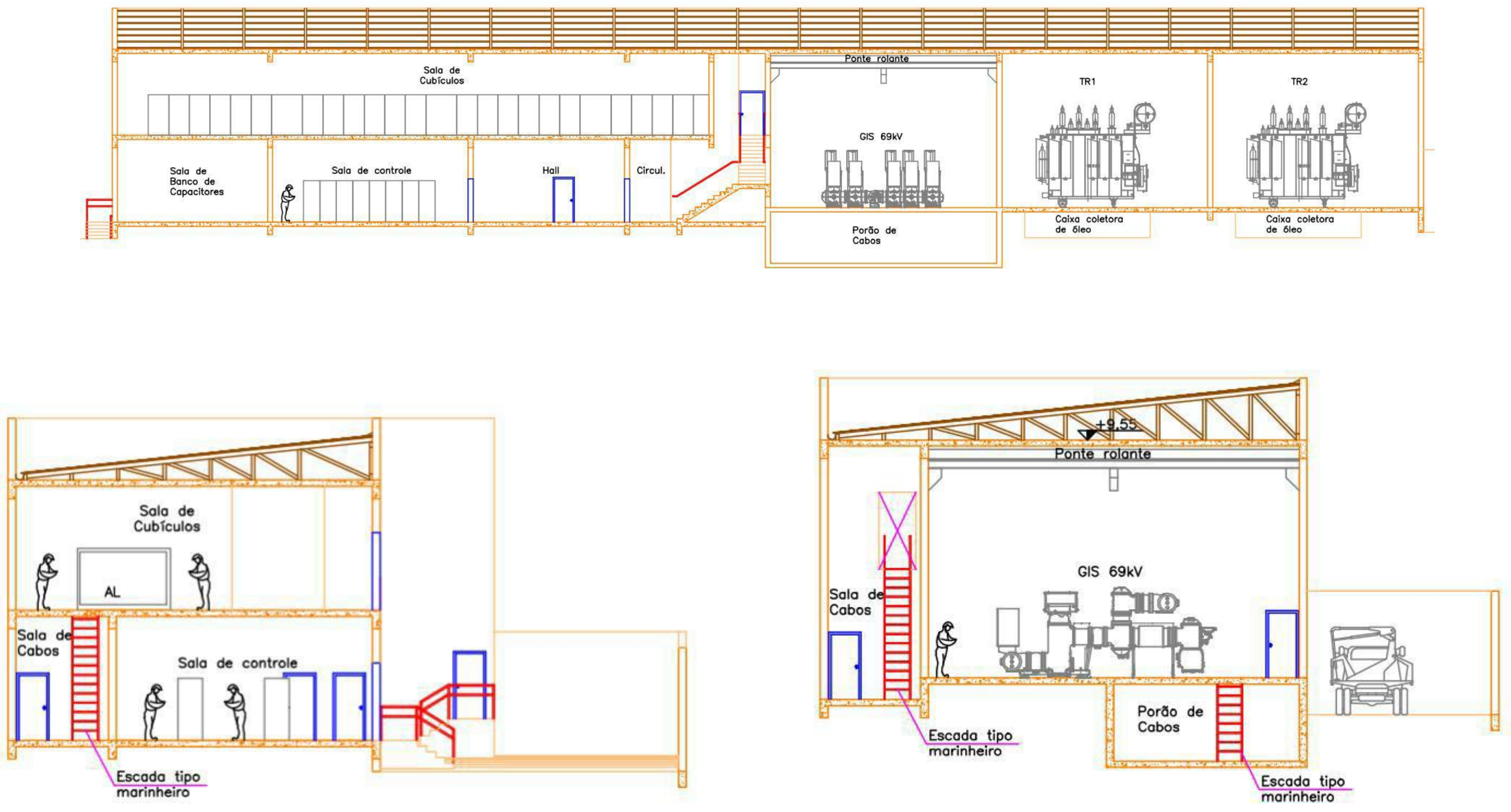
Descrição	Quantidade
Painel de proteção, supervisão, comando e controle	01
Quadro de serviços auxiliares 220/127 Vca	01
Quadro de serviços auxiliares 125 Vcc	01
Banco de baterias composto por 60 elementos, com capacidade de 260 Ah/10 h	02
Retificador / carregador de baterias bifásico, alimentação em 220 Vca e saída em 125 Vcc	02

3.1.4 Arranjo físico, plantas e cortes

A Figura 10, apresenta o arranjo físico – plantas e cortes da SE Cidade onde é observada a estrutura de construção do edifício, que possui dois pavimentos. No superior, estão alocados os cubículos de MT, já no inferior, todos os outros equipamentos.

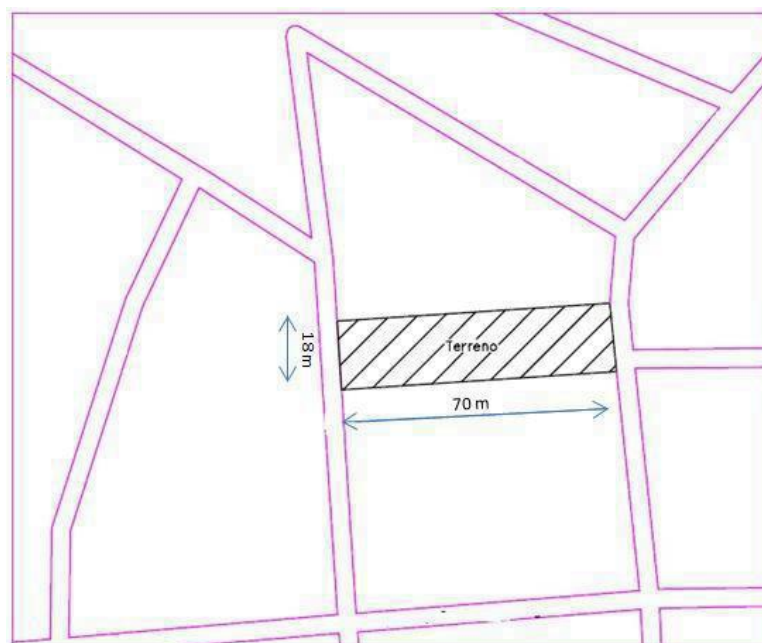
As Figuras 11 e 12 apresentam as plantas dos pisos superior e inferior respectivamente. Já a Figura 13 ilustra a Planta de Situação da Subestação.

Figura 12 - Cortes transversais da SE Cidade



Na figura 13, é exposta a localização do terreno, demonstrando as suas dimensões.

Figura 13 - Planta Situação SE Cidade



Ainda, outro ponto a ser analisado seria o de aproveitamento do terreno, onde o mesmo possui uma área total de 1.260 m², e a edificação aproximadamente 700 m², ou seja, representa 55% da área total.

3.1.5 Custos

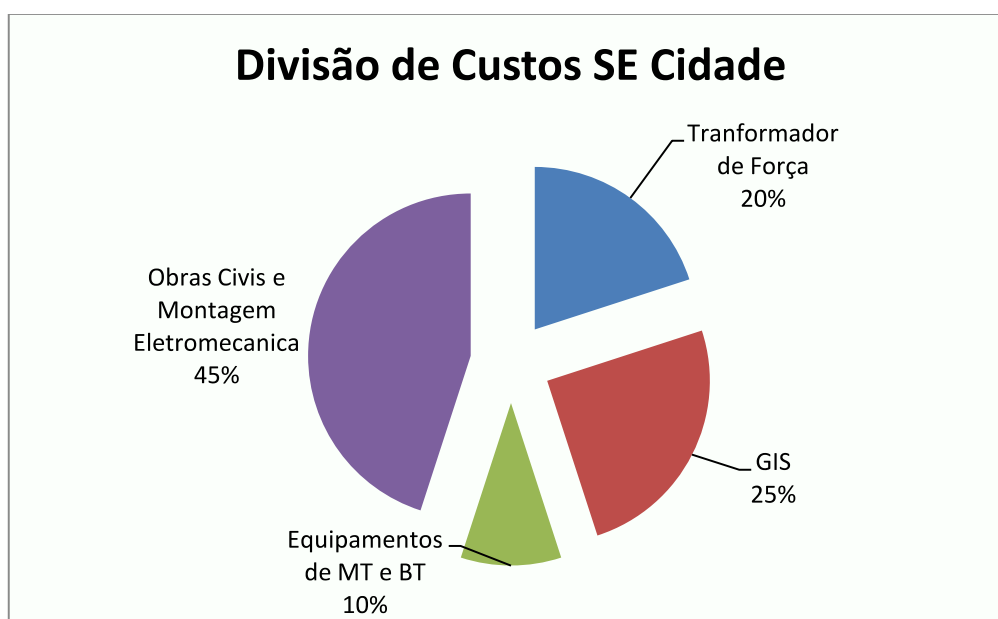
Os custos da implantação da SE Indústria podem ser observados na Tabela 11, que apresenta a divisão dos mesmos, proporcionalmente ao valor total do projeto.

Tabela 11: Divisão de custos da implantação da SE Indústria

Descrição	Porcentagem
Fornecimento do transformador de força	15%
Fornecimento da GIS	25 %
Fornecimento de equipamentos de média e baixa tensão	20%
Obras civis e montagem eletromecânica	40%

Na forma de gráfico, tem-se as contribuições dos equipamentos em relação ao custo total da SE Indústria. Neste caso observa-se custo elevado da GIS, onde é superior ao do transformador de potência, comumente o equipamento mais caro de uma SE. Além disso, pode-se notar a contribuição de obras civis e montagem eletromecânica de 45%, onde esse valor é justificado pela complexidade das bases e fundações do edifício que deve suportar todo o esforço referente ao peso de todos os equipamentos.

Gráfico 2 - Divisão de custos SE Cidade



3.1.6 Período de manutenção

O período de manutenção médio dos principais equipamentos de alta tensão de uma subestação isolado a gás é apresentado pela Tabela 12.

Tabela 12: Período de manutenção SE Cidade

Descrição	Tempo
Transformador de Força	6 meses
GIS	
<ul style="list-style-type: none"> Inspeção Visual – A subestação permanece em operação, os bays necessitam ser isolados um por um. Os compartimentos isolados pelo gás não necessitam ser abertos. 	5 anos
<ul style="list-style-type: none"> Inspeção Visual – após 3000 ciclos de operação dos disjuntores. A 	10 anos

subestação permanece em operação, os bays necessitam ser isolados um por um. Após 6000 ciclos de comutação mecânicos (desconectores, chaves de aterramento). Os compartimentos isolados pelo gás não necessitam ser abertos

- Revisão principal – após 6000 operações dos disjuntores. A subestação necessita ficar fora de operação. Após 10000 ciclos de comutação mecânicos (desconectores, chaves de aterramento). Os compartimentos isolados a gás são abertos.

25 anos

4 PREMISSAS UTILIZADAS ANÁLISE COMPARATIVA

Para realizar a análise comparativa são utilizadas premissas a fim de alcançar o objetivo deste trabalho, auxiliar na tomada de decisão de implantação de SE de energia elétrica de alta potência. Os critérios de comparação são os seguintes: área disponível, segurança, custo, viabilidade técnica e impacto socioambiental.

Estes critérios, nem sempre podem ser analisados isoladamente, e estão, em muitos casos, inter-relacionados e dependendo de cada situação, tornam-se o fator mais relevante e preponderante na tomada de decisão. Com o intuito de auxiliar na tomada de decisão na escolha de qual metodologia a ser utilizada, são adotados 2 cenários :

- Cenário I – Implantação de SE Zonas Rurais;
- Cenário II – Implantação de SE Centros Urbanos.

Os cenários foram criados com base no Programa de Desenvolvimento Energético 2021 (PDE2021) realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras. (<http://www.epe.gov.br/QUEMSOMOS/Paginas/default.aspx> - Acesso em 10/11/13).

Segundo as projeções realizadas pelo PDE 2021, é previsto um aumento no consumo dos setores industriais, residenciais, assim como também na geração e transmissão de energia elétrica no país.

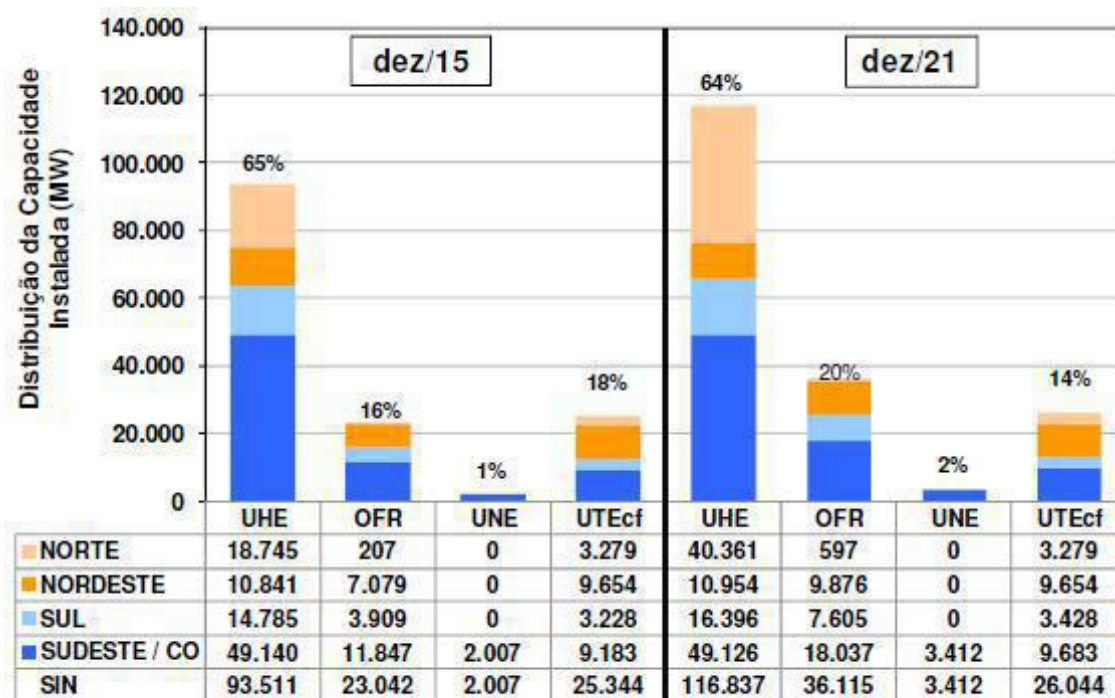
De acordo com o PDE 2021, a Tabela 13 apresenta a projeção do consumo de energia elétrica no período de 2012 a 2021. Já a Gráfico 3 apresenta a projeção de geração de energia dividida por tipos de fontes de energia, do final de 2015 ao final de 2021.

Tabela 13 - Brasil: Consumo de eletricidade na rede por classe (GWh)

Ano	Residencial	Industrial	Comercial	Outros	Total
2012	117.088	192.206	77.388	62.985	449.668
2016	140.053	225.262	96.617	72.609	534.541
2021	173.706	266.546	128.876	86.962	656.090
Período	Variação (% a.a.)				
2011-2016	4,6	4,2	5,6	2,6	4,3
2016-2021	4,4	3,4	5,9	3,7	4,2
2011-2021	4,5	3,8	5,8	3,1	4,2

Fonte: (EPE)

Gráfico 3 - Participação das fontes de produção ao final de 2015 e de 2021 (MW)



Legenda: UHE-usinas hidrelétricas; OFR-outras fontes renováveis; UNE-usinas nucleares; UTEcf-usinas termelétricas

Fonte: (EPE)

Essas projeções apresentadas impactam diretamente na necessidade da implantação de SE de energia elétrica, visando à expansão da transmissão dos sistemas para um correto desempenho do SIN, atendendo a todos consumidores. O PDE 2021 também apresenta os empreendimentos, inseridos na Rede Básica (tensões de 230 kV ou maior), necessários para a se concretizar tal expansão. A Tabela 14 apresenta os empreendimentos referentes ao estado do Paraná e a Tabela 15, do Rio Grande do Norte.

Tabela 14 - Programa de obras - subestações - Paraná

DESCRIÇÃO DA OBRA		DATA PREVISTA
SE 230 kV Santa Quitéria – SF6 (nova)	1º e 2º TR 50 MVA 230/13,8 kV	2012
SE 500 kV Curitiba Leste (nova)	3+1 AT 525/230 – 13,8 kV 200 MVA	2012
SE 230 kV Cascavel Norte (nova)	AT 230/138 kV, 2 x 150 MVA	2013
SE Figueira 230kV	Entrada de Linha – LT 230kV Londrina – Figueira C2	2015
SE Foz do Chopim 230kV	Entrada de linha – LT 230kV Salto Osório – Foz do Chopim C2	2015
SE Salto Osório 230kV	Entrada de linha – LT 230kV Salto Osório – Foz do Chopim C2	2015
SE Londrina 525/230kV	Entrada de linha – LT 230kV Londrina – Figueira C2	2015
SE Bateias525/230kV	Entrada de linha – LT 525kV Itatiba - Bateias	2015
	Conexão de Capacitor Série	2015
SE Curitiba Norte 230 kV	Secc.LT 230kV Pilarzinho - CPRB	2018
SE Curitiba Sul 230 kV	Secc.LT 230kV Uberaba - Umbará C1	2018
SE Capanema 230/138kV - SF6 (nova)	1º e 2º AT 230/138kV – 13,8, 2 x 150MVA	2018
SE Capanema 230/138kV - SF6 (nova)	1º e 2º TR 230/13,8kV, 2 x 50MVA	2018
SE Curitiba Norte 230/138kV (nova)	1º AT 230/138 – 13,8kV, 1 x 150MVA	2018
SE Curitiba Sul 230/138kV (nova)	1º AT 230/138 – 13,8kV, 1 x 150MVA	2018

Fonte: (EPE)

Tabela 15 - Programa de obras - subestações - Rio Grande do Norte

DESCRIÇÃO DA OBRA		DATA PREVISITA
SE Extremoz II 230/69 kV (nova)	1º e 2º TR (2 x 150) MVA	2013
SE João Câmara 230/69 kV (nova)	1º e 2º TR – 2 x 180 MVA	2013
SE Natal III 230/69 kV	3º TR – (1x150) MVA	2013
SE Mossoró II 230/69 kV	4º TR – (1 x 100) MVA	2013
SE Mossoró II 230 kV	Reator de barra, trifásico, 230 kV, 20 Mvar	2013
SE Currais Novos II 230/69kV (nova)	1º e 2º TR(2 x 100) MVA	2013
SE Açú II 230/138 kV	Substituição do TR de 55 MVA pelo 2º TR – (1x100) MVA	2014
SE Lagoa Nova 230/69 kV	1º e 2º TR (2 x 150) MVA	2014
SE Touros 230/69 kV (nova)	1º TR(1x 150) MVA	2014
SE Açú III 500/230 kV (nova)	1º AT (3 +1) x 300 MVA	2014
SE Mossoró IV 230/69 kV (nova)	1º TR(1x 100) MVA	2014
SE João Câmara II 500/138 kV	1º e 2º AT (6 +1) x 150 MVA	2015
SE Campina Grande III 500/230 kV	1º AT (3 +1) x 200 MVA	2015
SE Ceará-Mirim 500/230 kV	1º e 2º AT (6 +1) x 150 MVA e Compensador Estático - 75/+150 Mvar, 230 kV	2015
SE Paraíso 230/138 kV	2º TR – (1x100) MVA	2017
SE Natal III 500/230 kV	1º AT (3 +1) x 200 MVA	2019
SE Açú II 230/69 kV	3º TR – (1x100) MVA	2019
SE Paraíso 230/138 kV	3º TR(1 x 100) MVA	2020

Fonte: (EPE)

Com o aumento da demanda de energia de consumo e geração apresentada pela Tabela 13 e Gráfico 3, haverá a necessidade de implantações de novas subestações para suprir esses aumentos. As Figuras 14 e 15 apresentam somente uma parte das subestações que serão construídas ou expandidas, conforme as projeções citadas, onde se pode observar regiões de Zonas Rurais e Centros Urbanos, justificando os dois Cenários.

4.1 ÁREA DISPONÍVEL

A área disponível foi denominada um critério de comparação, pois dependendo do tamanho do terreno, torna-se inviável a instalação de AIS. Esta que demanda uma grande área, pois a isolação elétrica entre os equipamentos de pátio são garantidas pelo ar respeitando as normas conforme Tabela 1 no Capítulo 2.

Segundo (PEIXOTO, 2005) e (ESON, 2009) , GIS ocupam de 20% a 30% da área necessária para implantação de uma AIS. Esses valores podem chegar a 15%, obtendo uma grande economia em relação ao custo do terreno.

Analisando-se as duas metodologias, GIS possuem grandes vantagens em relação a AIS. Além das primeiras demandarem uma área muito menor de instalação,

podem ser construídas em ambientes hostis, sendo implantadas em solos, diminuindo os riscos de falhas primárias, devido a poluição ambiental, ou animais. Ainda garantem uma maior proteção contra roubos e diminuem os problemas relacionados a ruídos, não prejudicando a população local.

As Figuras 15 e 16 apresentam uma solução implantada na cidade de Anaheim, nos EUA. Devido não possuir uma localização ao tempo para a construção da subestação, foi desenvolvido um projeto para a instalação de uma GIS abaixo do Park Roosevelt, sendo exemplo do Cenário II previsto. Neste cenário, de centros urbanos, o fator área disponível é de extrema relevância, visto que há poucos ambientes livres e desimpedidos para a construção de uma SE. Logo, neste caso, GIS possuem vantagem sobre AIS.

Figura 14 - Subestação Anaheim instalada do subsolo do Parque Roosevelt nos EUA



Fonte: (Arquivo Siemens, 2008)

Figura 15 - Planta da SE Anaheim



Fonte: (Arquivo Siemens, 2008)

4.2 SEGURANÇA

O fator Segurança trás vantagens as subestações isoladas a gás, visto que as mesmas possuem baixos riscos de explosões.

Caso haja um superaquecimento da GIS, a pressão dos módulos isolados a gás aumenta devido à expansão do gás SF₆, porém quando a pressão alcança o valor limite, válvulas de escape atuam, liberando o gás, diminuindo a pressão. Portanto o risco de explosão é baixo.

Já no caso de AIS os equipamentos ficam expostos ao tempo, sendo submetidos a degradação do ambiente. Os riscos de explosões são maiores devido aos equipamentos serem habitualmente isolados a óleo mineral. Em caso de superaquecimento, os equipamentos estão sujeitos a vazamento do óleo, havendo riscos de incêndios e até mesmo explosões caso não seja realizada uma manutenção adequada nos equipamentos. Além disso, AIS possuem o risco de acidentes decorrentes de desastres ambientais, podendo ser causados por tempestades, vendavais. Estes riscos são diminuídos na

implantação de GIS, pois são construídas dentro de edifícios totalmente fechados, controlados e monitorados.

Em GIS, o risco por manobras erradas por terceiros também é menor, pois como observado no item 3.1.5, a quantidade de manutenções são muito menores em relação a AIS e não há atuação direta nos equipamentos, visto que ficam isolados nos módulos a gás.

Analisando o primeiro Cenário, em Centros Urbanos, a implantação de GIS é favorecida devido a grande circulação de pessoas, automóveis, logo a SE a ser construída necessita ter extrema segurança em relação aos fatores externos.

4.3 CUSTO

Segundo (JACOBSEN, 2002) o custo de implantação de uma GIS é em média de 60% a 70% maior em relação a AIS, devido a sua alta complexidade tecnológica.

Porém nessa comparação não está contemplado o valor do m² do terreno. Quando se trata de um terreno em um centro urbano, Cenário II, o preço do m² pode ser elevado, quando localizados em regiões valorizadas, justificando a implantação de GIS. Desconsiderando este cenário de centros urbanos com elevado preço do m² do terreno, AIS possuem grande vantagem em relação aos custos totais de implantação de um SE.

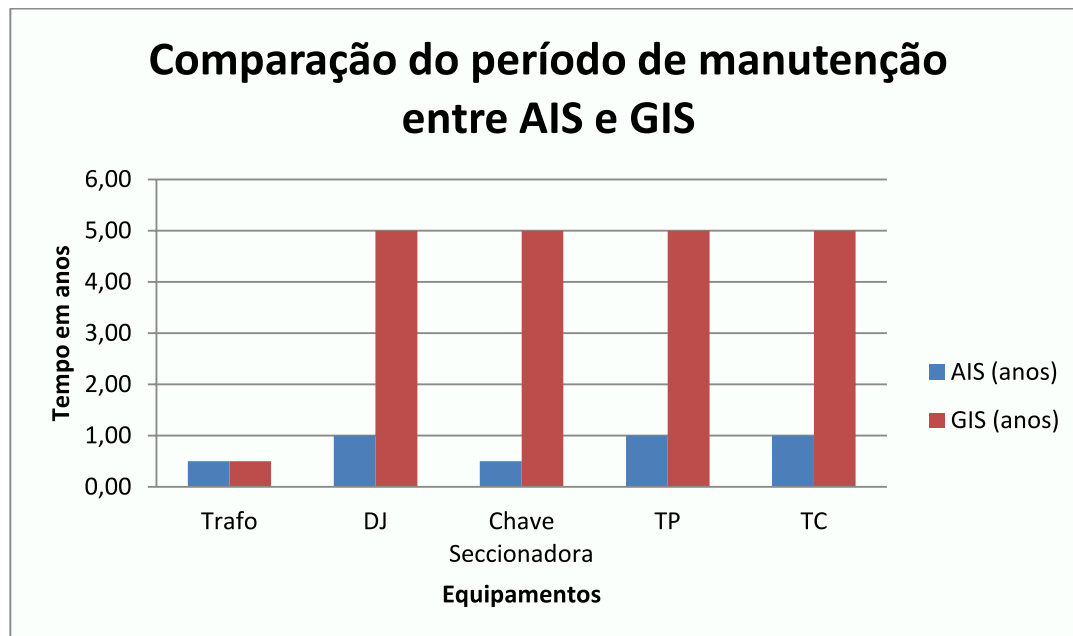
Existem casos em que foram realizadas substituições de AIS existentes por GIS, onde a venda do terreno ajudou nos custos de investimentos. Trata-se de duas subestações, uma localizada no bairro Leblon do Rio de Janeiro, e outra em Copacabana, também na mesma cidade. Vide a seguir parte da notícia do site da ABB de 23 de Julho de 2003.

Antes, os equipamentos das subestações estavam instalados a céu aberto e ocupavam grandes áreas em regiões nobres da cidade. Agora, estão sendo instaladas ao longo dos vários andares de prédios construídos especialmente para abrigar as subestações, liberando o restante dos terrenos para serem comercializados pela concessionária e minimizar os custos desta modernização. (Arquivo ABB, 2003)

Os custos de manutenção de uma GIS contemplam cerca de 10% a 20% em relação às AIS, pois conforme apresentado no item 3.1.5 possui um período de manutenção muito maior comparando-se a AIS.

O Gráfico 4 apresenta essa comparação onde pode-se observar a diferença do período de manutenção.

Gráfico 4 - Comparação período de manutenção AIS x GIS



4.4 VIABILIDADE TÉCNICA

Para se comparar as duas soluções em relação à viabilidade técnica, são expostos 4 pontos : Confiabilidade, Obras civis, Montagem eletromecânica e Previsão de ampliação. Considerando-se o grau de complexidade e configuração de arranjos e topologias, ambas as soluções apresentam requisitos qualitativos idênticos.

- Confiabilidade – por estarem isolados ao gás SF₆, GIS possuem um nível de degradação muito baixo, tendo um aumento da confiabilidade em relação as AIS, que estão totalmente expostas as degradações do meio ambiente, logo uma falha de funcionamento devido a problemas de manutenção é maior.
- Obras civis – esse fator encontra-se diretamente ligado ao tipo de solo do terreno disponível para implantação da SE. É imprescindível uma profunda análise e estudos dos solos, visto que podem ocorrer riscos de inviabilidade de construções em caso de serem encontrados sítios arqueológicos. Dependendo do tipo do terreno, pode haver um aumento

da complexidade da realização de terraplanagem da SE. Em terrenos rochosos e desnivelados, AIS possuem a dificuldade em implantações, devido à construção de fundações de equipamentos e pórticos, sistema de drenagem, bacias de coleta de óleo de transformadores e implantação da malha de terra da SE. Porém também há problemas para implantações de GIS nesses tipos de terreno, pois as mesmas necessitam de profundas fundações para a construção dos edifícios que devem suportar todos os esforços mecânicos, sejam devido ao peso dos equipamentos e as tensões de ancoragens dos cabos.

- Montagens eletromecânicas – por serem fornecidos como um sistema completo e saírem montados de fábrica, GIS possuem uma menor complexidade na montagem, logo um menor um tempo para realização do serviço.
- Previsão de ampliação – GIS possuem a possibilidade da verticalização, logo podem se expandir sem o aumento da área do terreno. Já nos casos de AIS, para uma futura expansão é necessário o aumento do terreno existente, ou na sua construção, já considerá-la, deixando parte do terreno preparado para a futura instalação.

4.5 IMPACTO SOCIOAMBIENTAL

Os fatores que impactam nesse critério são a obtenção da Licença Ambiental e do alvará de liberação da construção do empreendimento elaborado pela prefeitura da cidade.

Essa análise depende da região que a SE será implantada. Quando se trata de uma região no interior do país, localizada em reservas ambientais, dificuldades podem ser encontradas na obtenção de Licenças Ambientais. Já no caso da SE ser localizada em centros urbanos, o problema torna-se devido à necessidade de desapropriações, em caso de instalações em regiões residenciais. No caso de liberação pela prefeitura, diversos fatores podem influenciar na liberação ou não, e são eles: impacto visual, leis de verticalização de edifícios e desapropriações em áreas urbanas, geração de ruídos, áreas de interferência eletromagnética.

Além disso, têm-se também fatores como o nível de umidade e poluição do ambiente que a SE será instalada. No caso de ambientes com muita poluição juntamente com a umidade do ar, podem resultar em redução do nível de isolamento dos equipamentos, onde GIS possuem vantagem devido aos equipamentos serem encapsulados e instalados em ambientes fechados. AIS possuem desvantagem, pois os equipamentos ficam expostos ao ar livre e agressividade do ambiente, necessitando de limpezas e inspeções visuais periódicas.

4.6 EXEMPLO CENÁRIO I – ZONAS RURAIS

O projeto da implantação de uma AIS apresentado no Capítulo 2 se enquadra neste cenário, devido ser um empreendimento de uma Indústria localizada em uma Zona Rural.

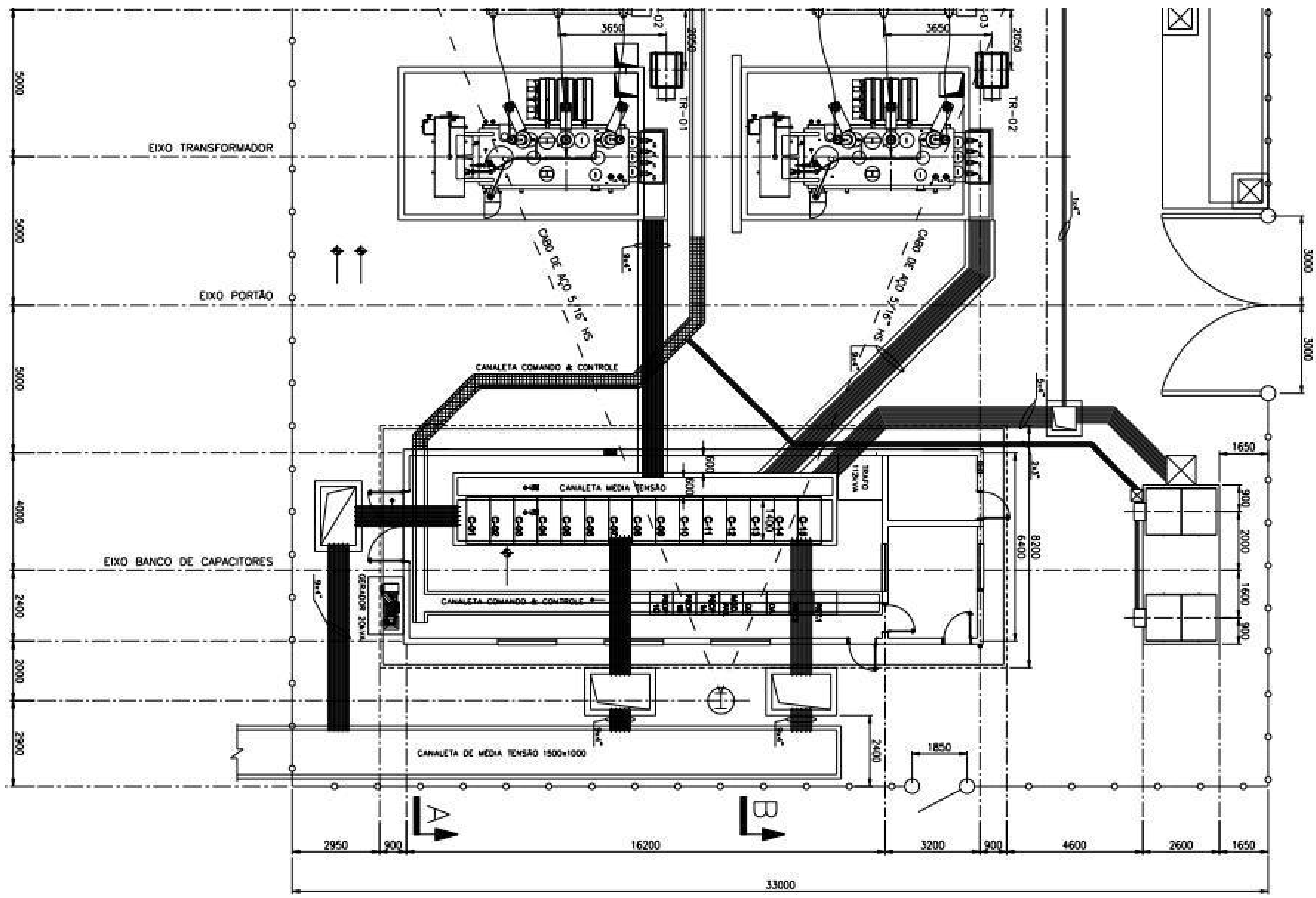
Por se tratar de uma indústria em uma zona rural, não foi necessária a realização de desapropriações e não houveram impactos diretos em relação a população local, visto que a SE fica em um local isolado no interior do terreno da indústria. Também por estar dentro de uma propriedade privada, sendo monitorado e controlado, permitindo a entrada somente de pessoas credenciadas, o fator segurança deixa de ser um fator preponderante para a necessidade de aplicação de uma GIS.

Analisando o fator da viabilidade técnica, quando se pensar em uma futura expansão, pode-se observar que a SE não terá área disponível para onde expandir. Por outro lado, esse tempo de uma possível expansão foi um item estudado, visto que a SE possui 3 cubículos de MT alimentando cargas futuras, já prevendo uma possível expansão, além de utilizar um cubículo de entrada de energia originada da Cogeração, no barramento de baixa.

Na SE Indústria seria plenamente possível à instalação de uma GIS. Ainda haveria uma boa economia de terreno, porém, neste caso, o terreno total da SE Indústria possui 300 mil m² e o destinado a SE, 1900 m², ou seja, a SE contribui com somente 0,63 % do total do terreno, conforme observado na figura 6 do item 2.1.4, tornando a área disponível um fator de alta relevância para a implantação de uma AIS.

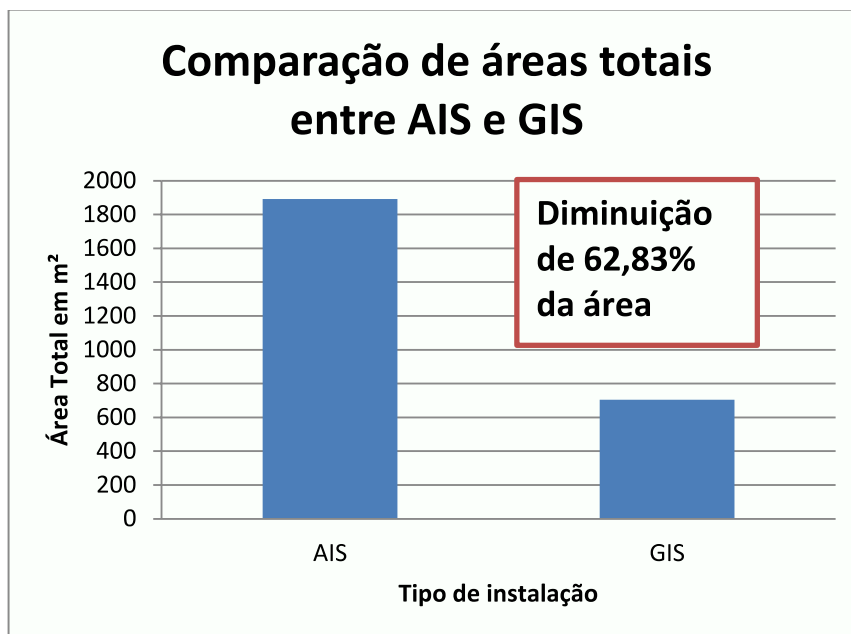
Caso fosse adotada a instalação de uma GIS ao invés de uma AIS, considerando a verticalização da Casa de Comando para a alocação dos módulos isolados a gás, e os transformadores alocados no mesmo local, o lay-out da subestação poderia ser diminuído conforme a Figura 16.

Figura 1 - Novo Layout SE Industria



Através dessa mudança de escolha da metodologia a ser implantada haveria uma diminuição da área em 62,83%. O gráfico 5 compara os valores das áreas para uma solução de AIS e GIS.

Gráfico 5 - Áreas necessárias para a implantação de AIS e GIS.



Contudo, com a aplicação de uma GIS haveria uma elevação do custo. Considerando os valores médios do mercado atual e com base nos custos no projeto apresentado nos itens 2.1.5 e 3.1.5, o gráfico 6 apresenta essa elevação e o gráfico 7 a divisão proporcional dos custos.

Gráfico 6 – Custos de AIS e GIS

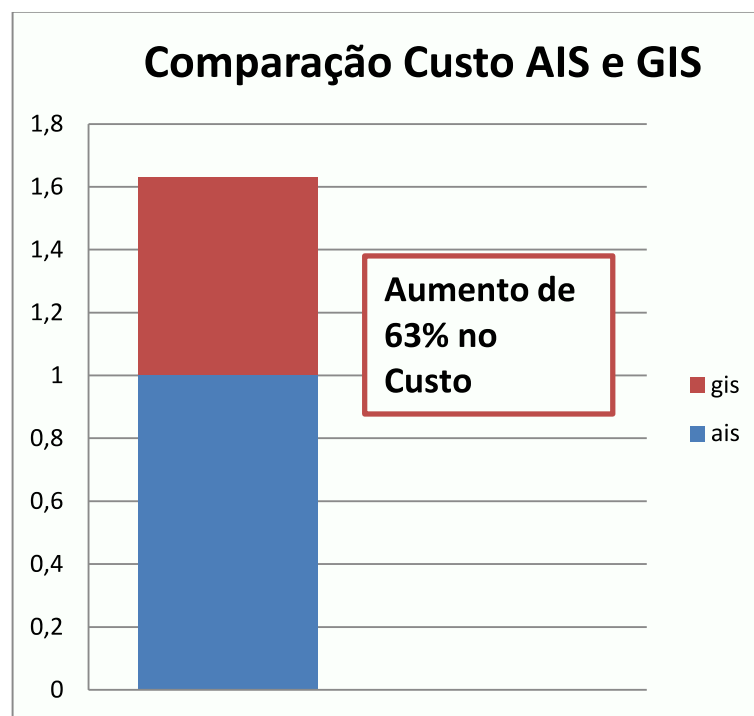
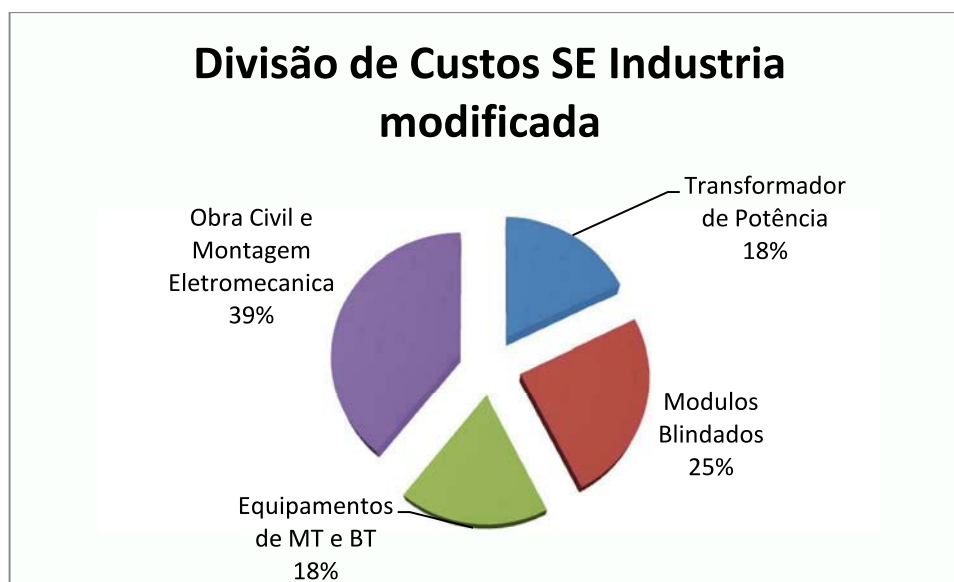


Gráfico 7 - Divisão de custos SE Industria após modificação para GIS



Comparando-se os gráficos 1 e 6, referente a antiga e nova divisões de custo da implantação da SE Industria, pode-se observar que os custos são elevados pelo valor dos módulos blindados e obras civis e montagens eletromecânicas. A tabela abaixo mostra esses valores.

Tabela 16 - Divisão de Custos solução AIS e GIS

	Transformadores de Potência	Modulos Blindados (GIS)/ Equipamentos de Pátio (AIS)	Equipamentos de MT e BT	Obras Cívicas e Montagens Eletromecânicas
AIS	25%	10%	25%	40%
GIS	18%	25%	18%	39%

O aumento de 63% no custo para a implantação de uma GIS ao invés de uma AIS é considerado alto, e também visto que não há falta de espaço no terreno para implantação de uma AIS, esta foi a opção de escolha. Foram os dois fatores que mais influenciaram no momento dessa escolha.

4.7 EXEMPLO CENÁRIO II – CENTROS URBANOS

Analisando a SE Cidade, no terreno disponível, é impossível a implantação de uma SE ao tempo com suas especificações de projeto. Tratando de centros urbanos, e contando com as futuras ampliações e aumento de demanda, GIS possuem vantagem em relação a área disponível. Com este cenário, o fator área disponível possui alta relevância no momento de escolha, favorecendo a aplicação de GIS.

Outro fator que também possuiu grande contribuição no momento de tomada de decisão de escolha da metodologia a ser adotada foram os impactos socioambientais. Neste caso, a SE será localizada em uma região urbana de uma capital de um estado do sul. Possui uma vizinhança tanto residencial como comercial. Fatores como necessidade de desapropriações, geração de ruídos e interferências eletromagnéticas, assim como impactos visuais contribuíram para a implantação de uma GIS, visto que necessitam de uma área muito menor em relação a AIS e é construída dentro de uma edificação.

Já no caso da análise dos custos, para atender os requisitos de projeto e atender a expansão da demanda no local, foi necessário disponibilizar uma maior verba para a implantação do empreendimento visando os requisitos a serem atendidos.

Em relação aos impactos ambientais, por se tratar de um centro urbano, não houve restrições com desmatamento ou acesso de reservas ambientais.

Após a descrição do Projeto de GIS, inserido no Cenário II, o fator área disponível foi o determinante para a aplicação desta metodologia.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentados e avaliados critérios apresentando vantagens e desvantagens para aplicação de subestações de energia elétrica instaladas ao tempo e isoladas a gás, tendo como objetivo auxiliar no momento de tomada de decisão de escolha de sua implantação em dois cenários.

No primeiro cenário, apontou-se como os fatores de relevância para a implantação a área disponível, bem como o menor custo total do empreendimento, visto que AIS possuem um menor valor na sua implantação.

Já no segundo cenário, por se tratar de um centro urbano, os fatores preponderantes estão diretamente ligados à área disponível, custo do m² do terreno a ser adquirido, bem como aos impactos sociais, como questões de desapropriações, geração de ruídos, impactos visuais e segurança. Em decorrência da expansão dos centros urbanos, do aumento da demanda de consumo de energia, visando à melhoria na qualidade de fornecimento de energia elétrica, subestações isoladas a gás são favorecidas nestas localidades, porém não se descarta a aplicação de AIS.

Após análise dos dois cenários, verifica-se que área disponível é o fator mais relevante visto que está presente como um dos fatores preponderantes nos dois cenários.

Por final, após a exposição e análise dos critérios referentes a duas propostas de instalação de subestação de energia elétrica, este trabalho dispõe de informações que auxiliam no momento de tomada de decisão na escolha de qual metodologia aplicar, AIS e GIS.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABB. Jul 23 - Light moderniza e compacta subestações de energia e abre espaço para reurbanização de áreas em grandes centros urbanos. Disponível em: <<http://www02.abb.com/global/brabb/brabb151.nsf!OpenDatabase&db=/global/brabb/brabb155.nsf&v=1D9E&e=pt&c=8F68473738CE9BE203256D6C00492889>>. Acesso em: 19 out. 2013

ALMEIDA, Antonio Tadeu Lyrio de; PAULINO, Marcelo Eduardo de Carvalho. Manutenção em equipamento elétricos. Disponível em: <<ftp://ftp.cefetes.br/cursos/Elerotecnica/Cassoli/Manuten%E7%E3o%20El%E9trica/artigos%20tecnicos/artigo%20-%20Manutencao%20em%20equipamentos%20eletricos.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2013.

ARAÚJO, Carlos André S. et al. Proteção de Sistemas Elétricos: Light. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

D'AJUZ, Ary et al. Equipamentos Elétricos: especificação e aplicação em subestações de alta tensão. Rio de Janeiro: Furnas, 1985.

D'AJUZ, Ary et al. Transitórios Elétricos e Coordenação de Isolamento: aplicação em sistemas de potência de alta-tensão. Rio de Janeiro: Furnas, 1985.

DUAILIBE, Paulo. Subestações: Tipo, Equipamentos e Proteção. Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckon da Fonseca: Ltc, 1999.

ELETROBRAS, Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – Diretrizes Básicas para Projeto de Subestações de Tipo Convencional Aberto, Volume 1, Subestações de Alta Tensão (138 e 230 kV), 1982.

ESON, Hans-erik Olovs; LEJDEBY, Ven-anders. Evolução das subestações. Disponível em: <<http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/58-artigos-e-materias-relacionadas/98-evolucao-das-subestacoes.html>>. Acesso em: 19 out. 2013.

<http://www.epe.gov.br/QUEMSOMOS/Paginas/default.aspx> - Acesso em 03/11/13.

LEAO, Ruth. GTD – Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica. Disponível em:

<<http://www.clubedaeletronica.com.br/Eletricidade/PDF/Livro%20GTD.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2013.

MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. Proteção de Sistemas Elétricos de Potência. Rio de Janeiro: Ltc, 2011.

MAMEDE, J. FILHO – Manual de Equipamentos Elétricos – Aparecida, SO – Editora Santuário, 1994.

PEIXOTO, Gilton R.. Gestão e Planejamento Energético: Compactação de Subestações. Disponível em: <www.tec.abinee.org.br/2005/arquivos/s501.pdf>. Acesso em: 19 out. 2013.

PIFIFNER. Transformador de Corrente Tipo Janela. Disponível em: <http://www.pfiffner.com.br/db/daten/dokumente/10%20Downloads/MS-RINGKERN_PT.pdf>. Acesso em: 20 out. 2013.

STRASSBURGER, Bert; GLAUBITZ, Peter. Modern Subterranean Substations in GIS Technology – Challenges and Opportunities in Managing Demographic Change and Infrastructure Requirements. Disponível em: <<http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/energy-topics/pdfs/en/gas-turbines-power-plants/Modern-Subterranean-Substationsin-GIS-Technology.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2013.