

USINAS HIDRELÉTRICAS

Aplicações Práticas dos Cálculos de Engenharia Elétrica

Nota de Revisão (R0):

Revisão de consistência técnica realizada pelo autor, sem alteração da metodologia ou dos resultados. Corrigido o número documento.

ÍNDICE	PÁG.
1 - OBJETIVO	4
2 - DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	4
2.1 - Informativos Técnicos	4
2.2 - Planilhas.....	4
2.3 - Publicações	4
3 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	4
4 - DEFINIÇÕES	5
4.1 - Configuração do Sistema	5
4.2 - Arranjo Físico da Usina	5
4.3 - Sistema de Alta Tensão	6
4.4 - Fonte Externa	7
4.5 - Média Tensão.....	7
4.6 - Unidades Geradoras	7
4.7 - Transformadores Elevadores.....	7
4.8 - Transformadores de Serviços Auxiliares.....	7
4.9 - Grupo Diesel Gerador de Emergência.....	7
4.10 - Alternador do Grupo Diesel Gerador de Emergência	7
4.11 - Sistema de Baixa Tensão	8
4.12 - Equipamentos em Geral	8
4.13 - Motores Trifásicos.....	8
4.14 - Transformadores de Controle	8
4.15 - Contatores e Relés Auxiliares.....	8
4.16 - Cargas Constantes.....	8
4.17 - Cargas Variáveis.....	9
4.18 - Carga Máxima da Usina	9
4.19 - Carga Máxima em Emergência.....	9
5 - APLICAÇÕES	9
5.1 - Tensão nos Transformadores	10
5.1.1 - Potência Nominal do Transformador	10
5.1.2 - Impedância Nominal Transformador	11
5.1.3 - Tensões Nominais dos Transformadores.....	11
5.1.4 - Derivação do Enrolamento de Alta Tensão	11
5.1.5 - Tensão da Alimentação do Transformador	12
5.1.6 - Quedas de Tensão	15
5.2 - Grupo Diesel Gerador de Emergência.....	18
5.3 - Correntes de Curto Circuito	20
5.3.1 - Sistema de 138kV	20

5.3.2 - Sistema de 13,8kV	22
5.3.3 - Sistema de 480V	23
5.3.4 - Conclusão	25
5.4 - Alimentadores	25
5.4.1 - Capacidade de Condução de Corrente	26
5.4.1.1 - Transformadores de Serviços Auxiliares	27
5.4.1.2 - Grupo Diesel Gerador de Emergência	27
5.4.1.3 - Quadros Gerais	28
5.4.1.4 - Centros de Cargas	28
5.4.2 - Queda de Tensão.....	30
5.4.2.1 - Premissas.....	30
5.4.2.2 - Resistência e Reatância dos Cabos.....	31
5.4.2.3 - Estimativa Rápida.....	31
5.4.2.4 - Grupo Diesel Gerador de Emergência	34
5.4.2.5 - Quadros Gerais	38
5.4.2.6 - Centros de Cargas	41
5.4.2.7 - Avaliação dos Resultados	50
5.4.2.8 - Alternativas Aplicáveis.....	50
5.4.2.9 - Conclusão	52
5.4.3 - Curto Circuito	52
5.4.3.1 - Grupo Diesel Gerador de Emergência	53
5.4.3.2 - Quadros Gerais	53
5.4.3.3 - Centros de Cargas	54
6 - AVALIAÇÕES RELEVANTES.....	56
7 - APLICAÇÃO DE CÁLCULOS APROXIMADOS	57
7.1 - Análise dos Cálculos Aproximados.....	57
7.1.1 - Cálculo Aproximado da Tensão na Carga.....	57
7.1.2 - Cálculo Aproximado da Tensão na Fonte	58
7.2 - Problema e Solução	59

1 - OBJETIVO

O objetivo deste documento é apresentar exemplos de aplicações das planilhas, com base nos informativos técnicos e teóricos, relacionados nos documentos de referência.

2 - DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA**2.1 - Informativos Técnicos**

IT.EL.SA.CA.01 Tensões Nominais e Variações de Tensão

IT.EL.SA.CA.02 Transformadores de Potência e Grupos Diesel Geradores de Emergência – Dimensionamento

IT.EL.SA.CA.03 Curto Circuito - Cálculo das Correntes

IT.EL.SA.CA.05 Usinas Hidrelétricas - Tensões Nominais e Variações de Tensão

IT.EL.SA.CC.01 Sistemas de Corrente Contínua

TE.EL.SA.AC.01 Transformadores de Potência - Cálculo da Tensão nos Terminais

TE.EL.SA.CA.02 Grupos Diesel Geradores - Cálculo da Reatância Transitória e Tensão nos Terminais

TE.EL.SA.CA.03 Usina Hidrelétrica - Cálculo da Tensão da Geração

TE.EL.SA.CA.04 Alimentadores - Cálculo da Tensão na Carga e na Fonte

TE.EL.SA.CA.05 Alimentadores - Critérios para Dimensionamento

2.2 - Planilhas

PL.EL.SA.AC.01 Transformadores de Potência - Cálculo da Tensão nos Terminais

PL.EL.SA.CA.02 Grupos Diesel Geradores - Cálculo da Reatância Transitória

PL.EL.SA.CA.03 Grupos Diesel Geradores - Cálculo da Tensão nos Terminais

PL.EL.SA.CA.04 Alimentadores - Cálculo da Tensão na Carga

PL.EL.SA.CA.05 Alimentadores - Cálculo da Tensão na Fonte

PL.EL.SA.CA.06 Usina Hidrelétrica - Cálculo da Tensão da Geração

PL.SA.EL.CA.06 Alimentadores - Critérios para Dimensionamento

2.3 - Publicações

IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-10 March/April 1974 - Short Circuit ABC - Learn It in an Hour (Moon H. Yuen)

3 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

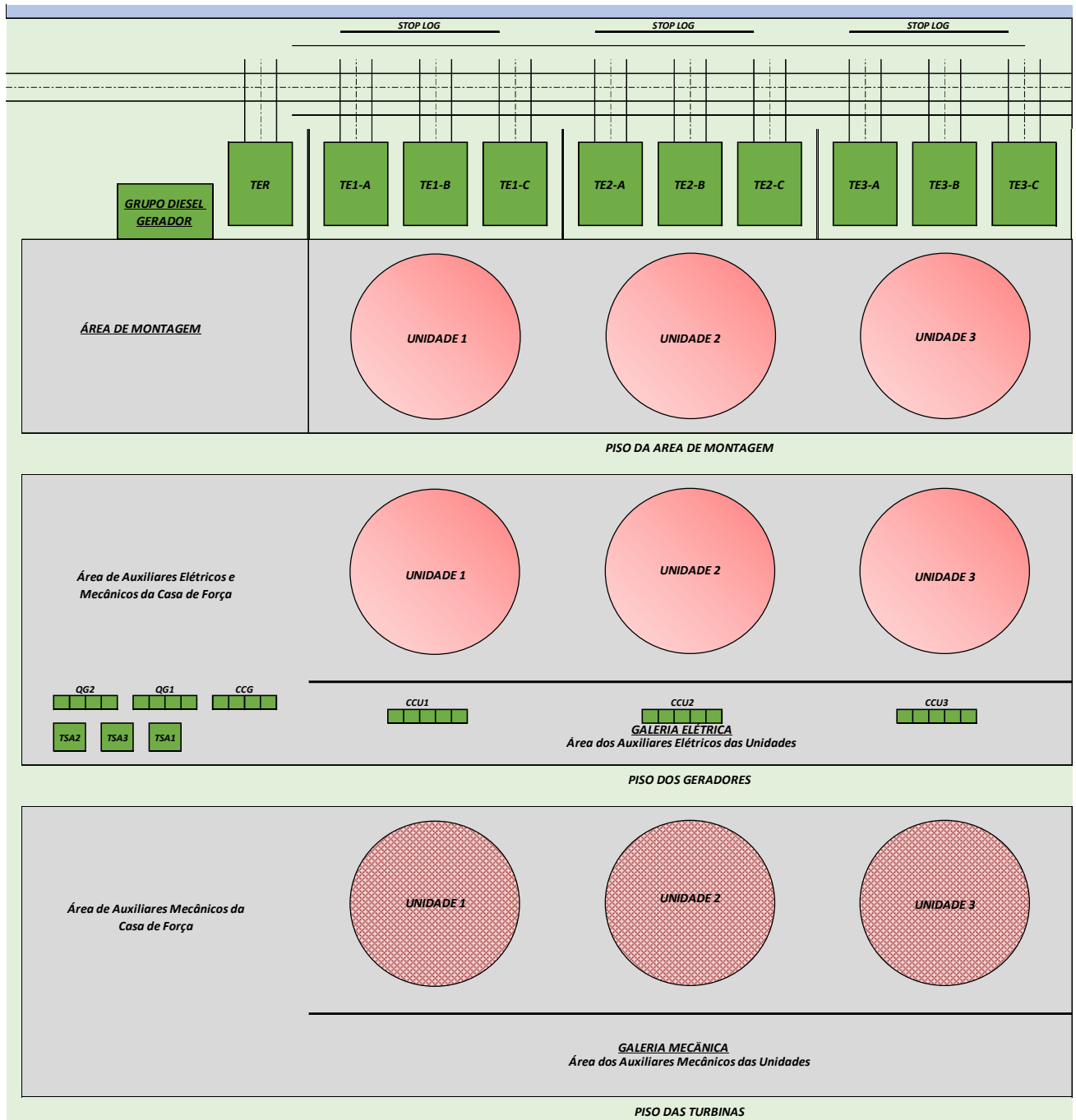
As aplicações não têm a finalidade de abranger todas as possibilidades, mas permitir que o usuário possa, com base nos exemplos dessas aplicações, resolver os problemas que envolvam suas necessidades, explorando alternativas e/ou aprofundando as apresentadas. Portanto, não se pretende, neste informativo, definir um critério geral para definir o sistema de serviços auxiliares.

Como este informativo não é a memória de cálculo completa de um projeto, não foram feitos os cálculos para definir todos os alimentadores, mas as ferramentas necessárias foram utilizadas e os principais conceitos foram aplicados.

Para os sistemas e equipamentos, as informações definidas são apenas as necessárias para resolver os exemplos das aplicações consideradas.

As informações da configuração do sistema, dados das cargas e potências dos transformadores de serviços auxiliares, transformadores elevadores, unidades geradoras e grupo diesel gerador de emergência são fictícias e serão consideradas como sendo as utilizadas e calculadas no dimensionamento do Informativo Técnico IT.EL.SA.CA.02 (Transformadores de Potência e Grupos Diesel Geradores de Emergência - Dimensionamento).

O arranjo físico da Casa de Força, de forma esquemática, para atender os objetivos deste informativo, é o indicado nas figuras a seguir:



4.3 - Sistema de Alta Tensão

O sistema de alta tensão não é objeto dos estudos, mas para efeito dos exemplos deste documento, a potência de curto circuito do sistema de 138kV será considerada como sendo 5000MVA.

A faixa de operação da tensão no sistema de 138kV será considerada dentro dos valores definidos na tabela a seguir:

Tabela 2 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,95TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,95TR$ ou $1,05TR < TL \leq 1,07TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,07TR$

4.4 - Fonte Externa

A tensão nominal da fonte externa, que alimenta o transformador de serviços auxiliares TSA3, será considerada como 13,8kV. Supondo que a potência de curto circuito da fonte externa seja desconhecida, será considerada infinita.

4.5 - Média Tensão

A tensão nominal do sistema de média tensão será 13,8kV e a faixa de operação de tensão da geração da usina pode ser calculada conforme definido no informativo TE.EL.SA.CA.03 Usina Hidrelétrica - Cálculo da Tensão da Geração e auxílio da Planilha PL.EL.SA.CA.06 Usina Hidrelétrica - Cálculo da Tensão da Geração. Entretanto, para efeito dos exemplos deste informativo, a faixa de operação de tensão do sistema, tanto da geração como da fonte externa de 13,8kV, será considerada a definida na Tabela 3 da ANEEL.

Tabela 3 – Pontos de conexão em Tensão Nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV

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

4.6 - Unidades Geradoras

As unidades geradoras G1, G2 e G3 serão consideradas com potência nominal de 100MVA, e reatância subtransitória $X''_d=20\%$.

4.7 - Transformadores Elevadores

Os transformadores elevadores TE1, TE2 e TE3 serão considerados com potência nominal de 60/80/100MVA (ONAN/ONAF1/ONAF2), 13,8kV – 138kV ($\pm 2 \times 2,5\%$) e impedância de 10% referida a potência de 60MVA. Entretanto, fisicamente, no arranjo será indicado que são três transformadores monofásicos de 20/26,66/33,33MVA.

4.8 - Transformadores de Serviços Auxiliares

Os transformadores de serviços auxiliares TSA1, TSA2 e TSA3 serão considerados com as seguintes características:

Tipo: Trifásico Seco (ANAN)

Potência Nominal: 1000kVA

Tensões Nominais: 13,8kV ($\pm 2 \times 2,5\%$) - 480V

Frequência Nominal: 60Hz

Impedância Nominal: 6%

Ligações dos Enrolamentos: Dyn

4.9 - Grupo Diesel Gerador de Emergência

Tensão Nominal: 480V

Frequência Nominal: 60Hz

Número de Polos: 4

Potência Nominal Contínua (Prime): 360kVA

Potência de Emergência (Stand By): 396kVA

Reatância Transitória: 8,71%

Tensão de Operação: 506V

4.10 - Alternador do Grupo Diesel Gerador de Emergência

Fabricante: WEG

Modelo: 280MI40AI

Potência Nominal: 605kVA

Tensão Nominal: 480V

Frequência Nominal: 60Hz

Tensão de Operação: 506V

Reatância Transitória em 480V: 11,60%

Reatância Subtransitória em 480V: 8,41%

4.11 - Sistema de Baixa Tensão

As características do sistema de baixa tensão serão consideradas como sendo:

Tensão Nominal: 480V, $\pm 10\%$

Sistema Trifásico: Estrela Solidamente Aterrado

Frequência Nominal: 60Hz

4.12 - Equipamentos em Geral

Os equipamentos em geral (resistores de aquecimento, carregadores de baterias, pórticos etc.) terão as seguintes características nominais:

Tensão Nominal: 480V

Frequência Nominal: 60Hz

Tensão Máxima: 528V (480V, +10%)

Tensão Mínima: 432V (480V, -10%)

Tensão Mínima Excepcional: 408V (480V, -15%)

4.13 - Motores Trifásicos

Os motores de indução trifásicos terão as seguintes características:

Tensão Nominal: 460V

Frequência Nominal: 60Hz

Tensão Máxima: 506V (460V, +10%)

Tensão Mínima Normal: 437V (460V, -5%)

Tensão Mínima Excepcional: 414V (460V, -10%)

Tensão Mínima na Partida: 391V (460V, -15%)

Classe de Isolamento: F com elevação de temperatura de 80°C (classe B). Esta característica permitirá que os motores possam operar com tensões superiores ou inferiores às normalmente especificadas,

As correntes nominais dos motores serão as indicadas na tabela a seguir, para a tensão nominal de 460; as correntes de partida 8 vezes a corrente nominal (exceto o motor de 100hp que será 1054A), com fator de potência 0,85. Em operação o fator de potência de todos os motores será considerado 0,85.

Potência (hp)	0,5	0,75	1	1,5	3	5	7,5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	100
In (A)	1,1	1,6	2,1	3,0	4,8	7,6	11	14	21	27	34	40	52	65	77	96	124
Ip (A)	8,8	12,8	16,8	24,0	38,4	60,8	88	112	168	216	272	320	416	520	616	768	1054

4.14 - Transformadores de Controle

Relação: 480-120V

Relação Nominal: 460-115V

4.15 - Contatores e Relés Auxiliares

Tensão Nominal: 115V

Variação de Tensão: +10% (126,5V), -15% (97,75V)

4.16 - Cargas Constantes

As cargas constantes são as cargas cujo consumo praticamente não se altera com a variação da tensão. Nestes casos se encontram os motores trifásicos de indução,

carregadores de baterias, sistemas de comunicação etc. Para a realização dos cálculos das quedas de tensão, os dados destas cargas serão considerados como sendo:

Tensão Nominal: 460V

Fator de Potência: 0,85

Nota: A tensão nominal das cargas constantes está sendo considerada como 460V porque é a tensão nominal dos motores, que compõem a maior parte das cargas da usina. A tensão nominal dos carregadores de baterias é 480V, mas para efeito da queda de tensão, o valor da tensão nominal não será relevante. Entretanto, o fato de a tensão nominal de carregadores de baterias ser considerada 460V, nos cálculos da queda de tensão, não implicará em alterar suas demais características como, por exemplo, os limites de sobretensão.

4.17 - Cargas Variáveis

As cargas variáveis são as cargas cujo consumo se altera com a variação da tensão. Nestes casos se encontram cargas como resistores de aquecimento, cuja corrente varia com a variação de tensão. Para a realização dos cálculos das quedas de tensão, os dados destas cargas serão considerados como sendo:

Tensão Nominal: 480V

Fator de Potência: 0,90

Nota: No caso de existirem cargas consideradas variáveis, com tensões nominais diferentes, o valor total da potência de todas essas cargas deverá ser referido à mesma tensão nominal. Por exemplo, um resistor de aquecimento de 10kW, com tensão nominal de 440V, deverá ser considerado como 11,9kW em 480V, com fator de potência 1,0.

4.18 - Carga Máxima da Usina

Carga Constante: 650kVA, com fator de potência 0,85;

Cargas Gerais: 150kVA, com fator de potência 0,90;

4.19 - Carga Máxima em Emergência

Carga Constante: 310kVA, com fator de potência 0,85;

Cargas Gerais: 50kVA, com fator de potência 0,90;

5 - APLICAÇÕES

As aplicações têm a finalidade de utilizar, nos exemplos considerados, os informativos técnicos, teóricos e planilhas relacionadas nos documentos de referência.

A tendência de ser conservativos muitas vezes nos leva a superdimensionar os componentes da instalação e, outras vezes, aplicando a estrita redação das normas, a subdimensionar ou superdimensionar os sistemas e componentes.

Quando se elabora um projeto novo, a configuração do sistema é definida e as potências das cargas elétricas são estimadas com base em dados preliminares. Os equipamentos e componentes da instalação, principalmente cabos, dimensões de quadros e potências dos transformadores, vão sendo dimensionados e definidos, inicialmente, com essas informações preliminares. Ocorre que, durante o desenvolvimento do projeto, as cargas reais vão sendo definidas e é necessário verificar, continuamente, se, em função das novas informações, se faz necessário alterar ou adequar as definições adotadas. Normalmente, quando as cargas são definidas por profissionais experientes, somente é necessário adequar os circuitos específicos de alguns componentes, pois as potências estimadas das cargas são, em geral, muito próximas das reais, algumas um pouco acima ou pouco abaixo, mas em geral dentro da previsão inicial.

Como em todas as instalações sempre haverá redundância onde houver um transformador principal e outro reserva e, se cada transformador for dimensionado para atender todas as cargas nas mais severas condições de operação da instalação, a carga normalmente

aplicada a um dos transformadores será bem inferior a 50% da potência nominal do transformador.

Neste informativo, as aplicações se limitarão a efetuar cálculos de situações mais comuns, pois dimensionar detalhadamente todos os circuitos e analisar todas as condições de operação não é objetivo deste documento. Entretanto, para consolidar algumas definições, será necessário abordar alguns conceitos, que serão analisados com mais profundidade.

5.1 - Tensão nos Transformadores

Para calcular a tensão nos terminais do secundário de um transformador é necessário definir a potência nominal o transformador, a impedância nominal, as tensões primária e secundária nominais, o valor da tensão primária da fonte, as derivações do enrolamento de alta tensão, as cargas aplicadas e suas condições de operação.

5.1.1 - Potência Nominal do Transformador

A potência nominal do transformador de serviços auxiliares depende das cargas alimentadas e das suas condições de operação. Este aspecto foi abordado com detalhes no informativo IT.EL.SA.CA.02 - Transformadores de Potência e Grupo Diesel Gerador de Emergência – Dimensionamento.

Para transformadores com o mesmo valor de impedância, a utilização de potências superiores à calculada, pode trazer uma pequena vantagem com a redução da queda de tensão. Por exemplo, se considerarmos:

Potência nominal do transformador 1000kVA

Impedância nominal do transformador 6%

Tensões nominais: 13,8kV ($\pm 2 \times 2,5\%$) - 480V

Tensão considerada na fonte: 14,49kV (13,8kV, +5%)

Derivação utilizada: 13,8kV

Carga Constante: 650kVA, tensão nominal 460V, com fator de potência 0,85;

Cargas Variável: 150kVA, tensão nominal 480V, com fator de potência 0,9;

Como se pode verificar utilizando a planilha PL.EL.SA.AC.01 Transformadores de Potência - Cálculo da Tensão nos Terminais, a tensão nos terminais do transformador para a carga máxima da usina considerada, será 489,00V.

DADOS DO SISTEMA			
Transformador	V_{P_n}	Tensão Primária Nominal do Transformador (kV)	13,8
	V_{S_n}	Tensão Secundária Nominal do Transformador (V)	480
	P_{TF_n}	Potência Nominal do Transformador (kVA)	1000
	Z_n	Impedância Nominal do Transformador (%)	6
	R_n	Resistência Nominal do Transformador (%)	1
	V_P	Tensão no Primário do Transformador (kV)	14,49
	k	Tensão da Derivação Utilizada do Primário (pu)	1
Dados das Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	650
	$V_{C_{Kn}}$	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	150
	$V_{C_{Vn}}$	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	480
	FP_{C_V}	Fator de Potência da Carga Variável	0,9
	$V_{M_{Pn}}$	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	
	$I_{M_{Pn}}$	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	
	FP_{M_P}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	
V_{T_s} Tensão nos terminais do secundário do transformador (V)			489,00

Se, em vez de um transformador de 1000kVA utilizarmos um de 1500kVA, a tensão será 494,14V.

DADOS DO SISTEMA			
Transformador	V_{Pn}	Tensão Primária Nominal do Transformador (kV)	13,8
	V_{Sn}	Tensão Secundária Nominal do Transformador (V)	480
	P_{TFn}	Potência Nominal do Transformador (kVA)	1500
	Z_n	Impedância Nominal do Transformador (%)	6
	R_n	Resistência Nominal do Transformador (%)	1
	V_P	Tensão no Primário do Transformador (kV)	14,49
	k	Tensão da Derivação Utilizada do Primário (pu)	1
Dados das Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	650
	$V_{C_{Kn}}$	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	150
	$V_{C_{Vn}}$	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	480
	FP_{C_V}	Fator de Potência da Carga Variável	0,9
	$V_{M_{pn}}$	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	
	$I_{M_{pn}}$	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	
	FP_{M_p}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	
V_{T_s} Tensão nos terminais do secundário do transformador (V)			494,14

Para a mesmas condições, a tensão que era 489,00V (480V, +1,7%) para o transformador de 1000kVA, passará a ser 494,14V (480V, +2,9%) para o transformador de 1500kVA, que corresponde a uma diferença de 5,14V.

5.1.2 - Impedância Nominal Transformador

A impedância nominal dos transformadores é definida em função do tipo de transformador. Por exemplo, para os transformadores secos nas potências consideradas a impedância é de 6%, mas para transformadores em óleo pode ser 5%. A impedância exata é definida durante os ensaios de fábrica e são gravados na placa dos transformadores.

5.1.3 - Tensões Nominais dos Transformadores

As tensões nominais dos transformadores são definidas pelo projeto em função das informações do Cliente e das características da instalação.

5.1.4 - Derivação do Enrolamento de Alta Tensão

A derivação utilizada do enrolamento de alta tensão do transformador de serviços auxiliares deve ser objeto da avaliação do projeto. A princípio, esse valor deve garantir que a tensão máxima de qualquer carga não seja superior aos seus limites admissíveis.

A tensão nominal do secundário dos transformadores de controle é 115V e, para a relação 4:1, os transformadores de 460-115V, instalados em sistemas de 480V, operarão como 480-120V.

Considerando as tensões máximas admissíveis definidas para os equipamentos, a tensão máxima de 506V atenderá as tensões máximas de todos os componentes, conforme relacionado a seguir:

- Cargas em Geral: 528V (480V, +10%)
- Motores: 506V (460V, +10%)
- Transformadores de Controle: 506V, ou seja, 506V (460V, +10%) -126,5V(115V, +10%)
- Contatores e Relés Auxiliares: 126,5V (115V, +10%)

Para que a tensão máxima no secundário do transformador de serviços auxiliares seja 506V, com a tensão máxima do sistema de 13,8kV em 14,49kV ($1,05 \times 13,8\text{kV}$), a derivação a ser utilizada deverá ser a nominal, ou seja, a derivação correspondente a 13.800V.

A derivação a ser utilizada pode ser calculada pela fórmula:

$$Tap = V_{MMT} \times \frac{V_{NBT}}{V_{MBT}}$$

Onde:

Tap – Derivação do Enrolamento Primário do Transformador (V)

V_{MMT} – Tensão Máxima do Sistema de Média Tensão (V)

V_{NBT} – Tensão Nominal do Secundário do Transformador (V)

V_{MBT} – Tensão Máxima do Secundário do Transformador (V)

Calculando o valor da tensão da derivação do enrolamento primário temos:

$$Tap = 14.490 \times \frac{480}{506} = 13.745V$$

Como as derivações do enrolamento primário do transformador são 13.110V-13.455V-13.800V-14.145V-14.490V, a derivação mais próxima a 13.745V é a de 13.800V.

Utilizando a derivação de 13,800V do enrolamento primário, com a tensão máxima no primário de 14.490V, a tensão máxima no secundário do transformador, sem carga, será:

$$V_{MBT} = V_{MMT} \times \frac{V_{NBT}}{Tap}$$

Ou seja,

$$V_{MBT} = 14.490 \times \frac{480}{13.800} = 504V$$

A utilização de derivação diferente da recomendada pode ser definida se, com a carga mínima da instalação, se puder garantir que a tensão máxima dos equipamentos não será ultrapassada.

A derivação mais adequada também pode ser definida pelo pessoal da operação das instalações, em função das condições reais de operação das cargas e comportamento das tensões de alimentação dos transformadores.

5.1.5 - Tensão da Alimentação do Transformador

Se a alimentação for uma concessionária, que pode ser o caso da fonte externa, a tensão deve estar dentro dos limites definidos contratualmente.

Neste informativo, será utilizada a derivação de 13800V do enrolamento de alta tensão do transformador de serviços auxiliares. Entretanto, para definir com mais precisão a tensão da geração, que normalmente é utilizada para alimentar os serviços auxiliares, poderá ser utilizada a planilha PL.EL.SA.CA.06 Usina Hidrelétrica - Cálculo da Tensão da Geração, de acordo com o informativo técnico TE.EL.SA.CA.03 Usina Hidrelétrica - Cálculo da Tensão da Geração.

A seguir serão feitas algumas simulações considerando que cada unidade geradora fornece a potência de 100MVA com fator de potência 1,00, com a tensão na subestação de AT na faixa adequada de tensão, ou seja, de 95% (131,1kV) a 105% (144,9kV) da tensão nominal, para as derivações do transformador elevador em $138\text{kV} \pm 2,5\%$. Outros valores poderão ser simulados pelo usuário para definir a faixa de tensão mais provável de operação da geração, para definir a derivação a ser utilizada no enrolamento de alta tensão do transformador de serviços auxiliares.

Para a tensão de 131,1kV na subestação, e derivação do enrolamento de alta tensão do transformador elevador no tap de $138\text{kV} - 2,5\%$, a tensão na geração será:

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Geração, Subestação e Transformador Elevador	$V_{P_{TEn}}$	Tensão Nominal do Primário do Transformador (kV)	13,8
	$V_{S_{TEn}}$	Tensão Nominal do Secundário do Transformador (kV)	138
	P_{TEn}	Potência Nominal do Transformador (MVA)	60
	Z_n	Impedância Nominal do Transformador (%)	10
	R_n	Resistência Nominal do Transformador (%)	1
	k	Tensão da Derivação Utilizada do Secundário (pu)	0,975
	P_G	Potência Total Através do Transformador (MVA)	100
	FP	Fator de Potência da Geração Total	1
	V_{Gn}	Tensão Nominal de Geração (kV)	13,8
	V_{SE}	Tensão na Subestação Associada (kV)	131,1
	$V_G (kV)$		13,88
	$V_G (\%V_{Gn})$		100,60

Para a tensão de 131,1kV na subestação, e derivação do enrolamento de alta tensão do transformador elevador no tap de 138kV, a tensão na geração será:

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Geração, Subestação e Transformador Elevador	$V_{P_{TEn}}$	Tensão Nominal do Primário do Transformador (kV)	13,8
	$V_{S_{TEn}}$	Tensão Nominal do Secundário do Transformador (kV)	138
	P_{TEn}	Potência Nominal do Transformador (MVA)	60
	Z_n	Impedância Nominal do Transformador (%)	10
	R_n	Resistência Nominal do Transformador (%)	1
	k	Tensão da Derivação Utilizada do Secundário (pu)	1
	P_G	Potência Total Através do Transformador (MVA)	100
	FP	Fator de Potência da Geração Total	1
	V_{Gn}	Tensão Nominal de Geração (kV)	13,8
	V_{SE}	Tensão na Subestação Associada (kV)	131,1
	$V_G (kV)$		13,57
	$V_G (\%V_{Gn})$		98,32

Para a tensão de 131,1kV na subestação, e derivação do enrolamento de alta tensão do transformador elevador no tap de 138kV+2,5%, a tensão na geração será:

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Geração, Subestação e Transformador Elevador	$V_{P_{TEn}}$	Tensão Nominal do Primário do Transformador (kV)	13,8
	$V_{S_{TEn}}$	Tensão Nominal do Secundário do Transformador (kV)	138
	P_{TEn}	Potência Nominal do Transformador (MVA)	60
	Z_n	Impedância Nominal do Transformador (%)	10
	R_n	Resistência Nominal do Transformador (%)	1
	k	Tensão da Derivação Utilizada do Secundário (pu)	1,025
	P_G	Potência Total Através do Transformador (MVA)	100
	FP	Fator de Potência da Geração Total	1
	V_{Gn}	Tensão Nominal de Geração (kV)	13,8
	V_{SE}	Tensão na Subestação Associada (kV)	131,1
	$V_G (kV)$		13,27
	$V_G (\%V_{Gn})$		96,16

Para a tensão de 144,9kV na subestação, e derivação do enrolamento de alta tensão do transformador elevador no tap de 138kV-2,5%, a tensão na geração será:

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Geração, Subestação e Transformador Elevador	$V_{P_{TEn}}$	Tensão Nominal do Primário do Transformador (kV)	13,8
	$V_{S_{TEn}}$	Tensão Nominal do Secundário do Transformador (kV)	138
	P_{TEn}	Potência Nominal do Transformador (MVA)	60
	Z_n	Impedância Nominal do Transformador (%)	10
	R_n	Resistência Nominal do Transformador (%)	1
	k	Tensão da Derivação Utilizada do Secundário (pu)	0,975
	P_G	Potência Total Através do Transformador (MVA)	100
	FP	Fator de Potência da Geração Total	1
	V_{Gn}	Tensão Nominal de Geração (kV)	13,8
	V_{SE}	Tensão na Subestação Associada (kV)	144,9
	$V_G (kV)$		15,22
	$V_G (\%V_{Gn})$		110,32

Para a tensão de 144,9kV na subestação, e derivação do enrolamento de alta tensão do transformador elevador no tap de 138kV, a tensão na geração será:

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Geração, Subestação e Transformador Elevador	$V_{P_{TEn}}$	Tensão Nominal do Primário do Transformador (kV)	13,8
	$V_{S_{TEn}}$	Tensão Nominal do Secundário do Transformador (kV)	138
	P_{TEn}	Potência Nominal do Transformador (MVA)	60
	Z_n	Impedância Nominal do Transformador (%)	10
	R_n	Resistência Nominal do Transformador (%)	1
	k	Tensão da Derivação Utilizada do Secundário (pu)	1
	P_G	Potência Total Através do Transformador (MVA)	100
	FP	Fator de Potência da Geração Total	1
	V_{Gn}	Tensão Nominal de Geração (kV)	13,8
	V_{SE}	Tensão na Subestação Associada (kV)	144,9
	$V_G (kV)$		14,87
	$V_G (\%V_{Gn})$		107,75

Para a tensão de 144,9kV na subestação, e derivação do enrolamento de alta tensão do transformador elevador no tap de 138kV+2,5%, a tensão na geração será:

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Geração, Subestação e Transformador Elevador	$V_{P_{TEn}}$	Tensão Nominal do Primário do Transformador (kV)	13,8
	$V_{S_{TEn}}$	Tensão Nominal do Secundário do Transformador (kV)	138
	P_{TEn}	Potência Nominal do Transformador (MVA)	60
	Z_n	Impedância Nominal do Transformador (%)	10
	R_n	Resistência Nominal do Transformador (%)	1
	k	Tensão da Derivação Utilizada do Secundário (pu)	1,025
	P_G	Potência Total Através do Transformador (MVA)	100
	FP	Fator de Potência da Geração Total	1
	V_{Gn}	Tensão Nominal de Geração (kV)	13,8
	V_{SE}	Tensão na Subestação Associada (kV)	144,9
	$V_G (kV)$		14,53
	$V_G (\%V_{Gn})$		105,32

Com base em simulações como estas, com as informações dos valores de tensão esperados na subestação e definição do tap do enrolamento de alta tensão do transformador elevador, o usuário poderá definir com mais precisão o valor do tap do enrolamento do primário do transformador de serviços auxiliares.

Nas simulações acima as tensões na geração variaram de 13,27kV (96,16% de V_{Gn}) a 14,53kV (105,32% de V_{Gn}).

5.1.6 - Quedas de Tensão

As condições possíveis de operação dos transformadores de serviços auxiliares podem ser avaliadas com a utilização da planilha PL.EL.SA.CA.01 -Transformadores de Potência - Cálculo da Tensão nos Terminais. As demonstrações detalhadas, das fórmulas utilizadas para a elaboração das planilhas, estão no informativo técnico TE.EL.SA.CA.01 - Transformadores de Potência - Cálculo da Tensão nos Terminais.

Os cálculos deste informativo analisarão duas condições de operação dos transformadores, com duas condições de operação das cargas. A primeira, que será a condição normal de operação, considera que dois transformadores de serviços auxiliares alimentam todas as cargas da usina. A segunda, que é a condição crítica de operação, considera que apenas um único transformador alimenta todas as cargas da usina.

A condição de operação das cargas que será considerada, para as duas condições de operação dos transformadores, é a que considera que a última carga a ser aplicada será a partida de motor de 50cv (Bomba de Incêndio) ou 100cv (Bomba de Óleo do Regulador de Velocidade da Turbina).

A primeira condição de operação dos transformadores considera que a carga máxima constante da usina é de 650kVA (tensão nominal 460V, fator de potência 0,85) e a variável 150kVA (tensão nominal 480V, fator de potência 0,90); que a carga normalmente é alimentada por dois transformadores, ou seja, cada transformador alimenta, teoricamente, metade da carga. A carga constante que é de $650kVA/2 = 325kVA$ (tensão nominal 460V, fator de potência 0,85) e a carga variável que é de $150kVA/2 = 75kVA$ (tensão nominal 480V, fator de potência 0,90); que um transformador pode alimentar toda a carga da usina; que na condição mais severa, os motores de 100cv ou 50cv podem ser as últimas cargas a ser alimentadas.

A segunda condição de operação dos transformadores considera que a carga máxima constante da usina é de 650kVA (tensão nominal 460V, fator de potência 0,85) e a variável 150kVA (tensão nominal 480V, fator de potência 0,90); que a carga normalmente é alimentada por um único transformador, ou seja, o transformador alimenta a carga constante é de 650kVA (tensão nominal 460V, fator de potência 0,85) e a variável 150kVA (tensão nominal 480V, fator de potência 0,90); que na condição mais severa, os motores de 100cv ou 50 cv podem ser as últimas cargas a ser alimentadas.

Os valores de tensão calculados, com a utilização da planilha, para todos os valores possíveis de tensão no primário dos transformadores para derivação do enrolamento primário em 13800V, são os indicados na tabela abaixo, onde se verifica, por exemplo, que:

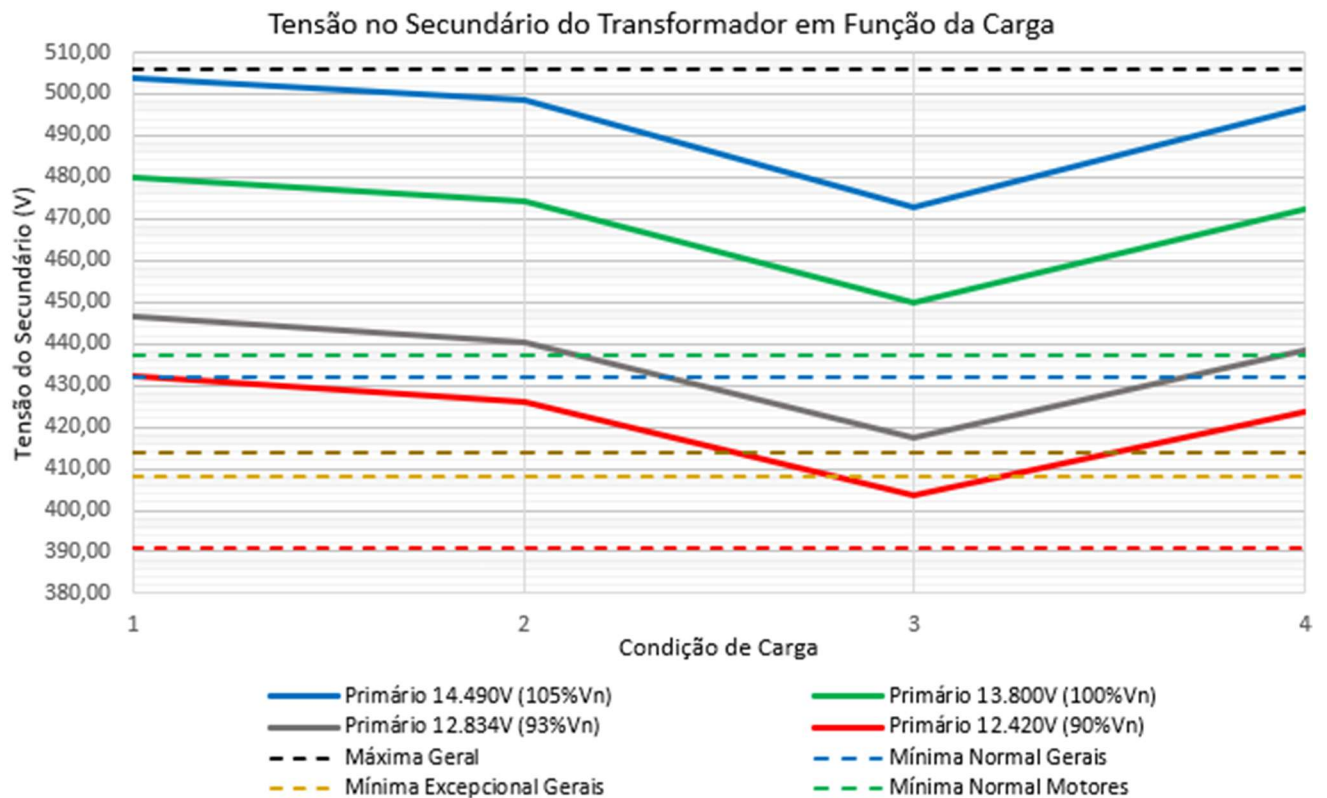
- Na primeira condição, onde dois transformadores de serviços auxiliares alimentam todas as cargas da usina; com a tensão primaria de 12.834V, com carga inicial constante de 275kVA (tensão nominal 460V, fator de potência 0,85) e carga variável de 75kVA (tensão nominal 480V, fator de potência 0,90), durante a partida do motor de 50cv, a tensão nos terminais do transformador cai de 439,46V para 427,83V e depois se estabiliza em 438,38V.

- Na segunda condição, que apenas um único transformador alimenta todas as cargas da usina, com a tensão primaria de 12.834V, com carga inicial constante de 600kVA (tensão nominal 460V, fator de potência 0,85) e carga variável de 150kVA (tensão nominal 480V, fator de potência 0,90), durante a partida do motor de 50cv, a tensão nos terminais do transformador cai de 431,08V para 419,47V e depois se estabiliza em 429,94V.

Tensão no Primário (V)	Vazio	Tensão no Secundário (V)				
		Cargas				
		Inicial		+Partida de	Final	
		Constante (kVA)	Variáveis (kVA)	Motor (cv)	Constante (kVA)	Variáveis (kVA)
14.490	504,00	550,00	150,00	100	650,00	150,00
		490,97		465,12	489,00	
		600,00	150,00	50		
		489,99		476,89		
		225,00	75,00	100	325,00	75,00
		498,53		472,63	496,65	
		275,00	75,00	50		
		497,59		484,47		
13.800	480,00	550,00	150,00	100	650,00	150,00
		466,54		441,91	464,45	
		600,00	150,00	50		
		465,50		453,02		
		225,00	75,00	100	325,00	75,00
		474,38		449,71	472,40	
		275,00	75,00	50		
		473,39		460,89		
12.834	446,40	550,00	150,00	100	650,00	150,00
		432,22		409,29	429,94	
		600,00	150,00	50		
		431,08		419,47		
		225,00	75,00	100	325,00	75,00
		440,53		417,57	438,38	
		275,00	75,00	50		
		439,46		427,83		
12.420	432,00	550,00	150,00	100	650,00	150,00
		417,46		395,26	415,09	
		600,00	150,00	50		
		416,28		405,03		
		225,00	75,00	100	325,00	75,00
		426,00		403,79	423,78	
		275,00	75,00	50		
		424,90		413,64		

Ainda com base nos dados da tabela, considerando dois transformadores na derivação do enrolamento primário em 13800V, alimentando a carga inicial constante de 550kVA e carga variável de 150kVA, com o motor de 100cv partindo, ou seja, considerando um transformador alimentando, teoricamente, 225kVA de carga constante e 75kVA de carga variável, e a partida do motor de 100cv ocorrer em um deles, temos a tabela e o gráfico correspondente a seguir:

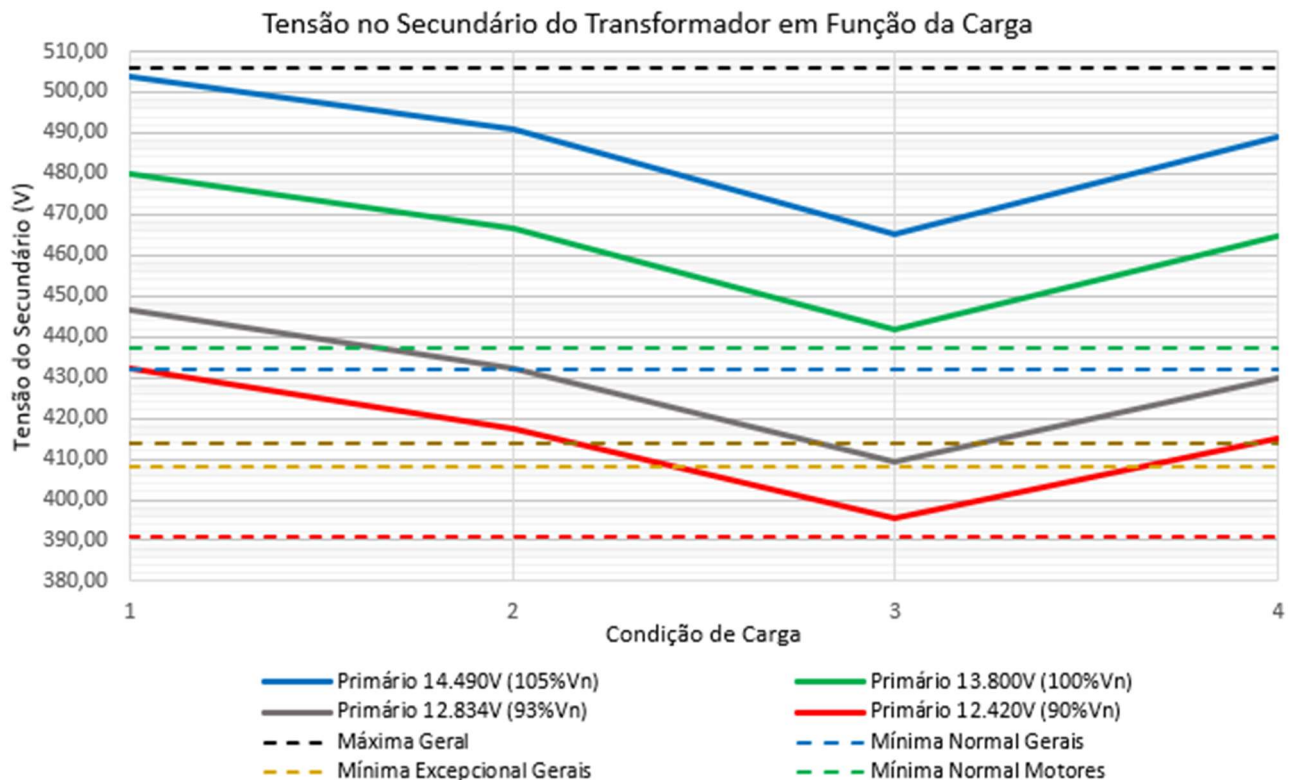
Fonte	Vazio	Carga Inicial	Carga Inicial + Partida Motor	Final
Primário 14.490V (105%Vn)	504,00	498,53	472,63	496,65
Primário 13.800V (100%Vn)	480,00	474,38	449,71	472,40
Primário 12.834V (93%Vn)	446,40	440,53	417,57	438,38
Primário 12.420V (90%Vn)	432,00	426,00	403,79	423,80
Máxima Geral	506,00	506,00	506,00	506,00
Mínima Normal Gerais	432,00	432,00	432,00	432,00
Mínima Excepcional Gerais	408,00	408,00	408,00	408,00
Mínima Normal Motores	437,00	437,00	437,00	437,00
Mínima Excepcional Motores	414,00	414,00	414,00	414,00
Mínima Partida Motores	391,00	391,00	391,00	391,00



Observa-se que, se a tensão da fonte do primário do transformador estiver dentro do limite adequado de tensão (de 93 a 105% da tensão nominal) ou precário (de 90 a 93% da tensão nominal), o sistema operará normalmente, exceto durante a partida do motor de 100cv, quando a tensão cai, transitoriamente, abaixo dos valores mínimo normal das cargas gerais (480V, -10%) e mínimo normal de operação dos motores (460V, -5%).

Considerando um único transformador alimentando a carga inicial constante de 550kVA (tensão nominal 460V, fator de potência 0,85) e carga variável de 150kVA (tensão nominal 480V, fator de potência 0,90), com o motor de 100cv partindo, temos o gráfico a seguir:

Fonte	Vazio	Carga Inicial	Carga Inicial + Partida Motor	Final
Primário 14.490V (105%Vn)	504,00	490,90	465,12	489,00
Primário 13.800V (100%Vn)	480,00	466,54	441,91	464,45
Primário 12.834V (93%Vn)	446,40	432,22	409,29	429,94
Primário 12.420V (90%Vn)	432,00	417,46	395,26	415,09
Máxima Geral	506,00	506,00	506,00	506,00
Mínima Normal Gerais	432,00	432,00	432,00	432,00
Mínima Excepcional Gerais	408,00	408,00	408,00	408,00
Mínima Normal Motores	437,00	437,00	437,00	437,00
Mínima Excepcional Motores	414,00	414,00	414,00	414,00
Mínima Partida Motores	391,00	391,00	391,00	391,00



Observa-se que, se a tensão da fonte do primário do transformador estiver dentro do limite adequado de tensão (de 93 a 105% da tensão nominal), o sistema operará normalmente, exceto durante a partida do motor de 100cv, quando a tensão cai, transitoriamente, abaixo dos valores mínimo normal das cargas gerais (480V, -10%) e mínimo excepcional de operação dos motores (460V, -10%). Entretanto, durante esse período transitório, a tensão se manterá acima da tensão mínima excepcional das cargas gerais (480V, -15%). O fato de a tensão ficar abaixo do valor mínimo normal de operação dos motores (460V, -5%) será considerado normal, devido ao fato dos motores possuírem isolamento da Classe F, mas serem projetados para operar com temperaturas da Classe B.

Se a tensão da fonte do primário do transformador estiver na faixa precária de tensão (de 90 a 93% da tensão nominal), durante a partida do motor de 100cv, a tensão cai, transitoriamente, abaixo dos valores mínimo excepcional das cargas gerais (480V, -15%) e mínimo excepcional de operação dos motores (460V, -10%). Entretanto, durante esse período transitório, a tensão ainda se manterá acima da tensão mínima de partida dos motores (460V, -15%). Após o período transitório da partida do motor de 100cv, a tensão nas cargas gerais ficará acima da tensão mínima excepcional de operação dos motores (460V, -10%) e da tensão mínima excepcional das cargas gerais (480V, -15%).

5.2 - Grupo Diesel Gerador de Emergência

O grupo diesel gerador de emergência está previsto para atender as condições de emergência da usina. Entretanto, em função da sua capacidade e necessidades da operação da usina, poderá atender outras cargas não previstas na memória de cálculo.

De maneira similar ao comportamento da tensão do transformador, considerando os dados reais do alternador, serão avaliadas as seguintes condições de operação:

Na primeira condição, que o grupo alimente uma carga inicial constante de 260kVA (tensão nominal 460V, fator de potência 0,85) e carga variável de 50kVA (tensão nominal 480V, fator de potência 0,90), durante a partida do motor de 50cv, a tensão nos terminais do alternador cai de 506V para 465,91V e depois se reestabelece em 506V.

DADOS DO SISTEMA				
Alternador	VG_n	Tensão Nominal do Alternador (V)	480	
	VG_A	Tensão de Operação Ajustada do Alternador(V)	506	
	PG_n	Potência Nominal do Alternador (kVA)	605	
	$Z'G_n$	Reatância Transitória Nominal do Alternador (%)	11,6	
Dados das Cargas	Inicial	PC_{kn}	Potência Nominal da Carga Inicial Constante (kVA)	260
		VC_{kn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Constante (V)	460
		FPC_k	Fator de Potência da Carga Inicial Constante	0,85
		PC_{vn}	Potência Nominal da Carga Inicial Variável (kVA)	50
		VC_{vn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Variável (V)	480
		FPC_v	Fator de Potência da Carga Inicial Variável	0,9
	Carga a ser Aplicada	PC_{Kn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	
		VC_{Kn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	
		FPC_K	Fator de Potência da Carga Constante	
		PC_{Vn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
		VC_{Vn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
		FPC_V	Fator de Potência da Carga Variável	
		VM_{Pn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
		IM_{Pn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	520
		FPM_P	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

Tensão nos Terminais do Alternador (V)	$V_{GT} (%)$	465,91
--	--------------	--------

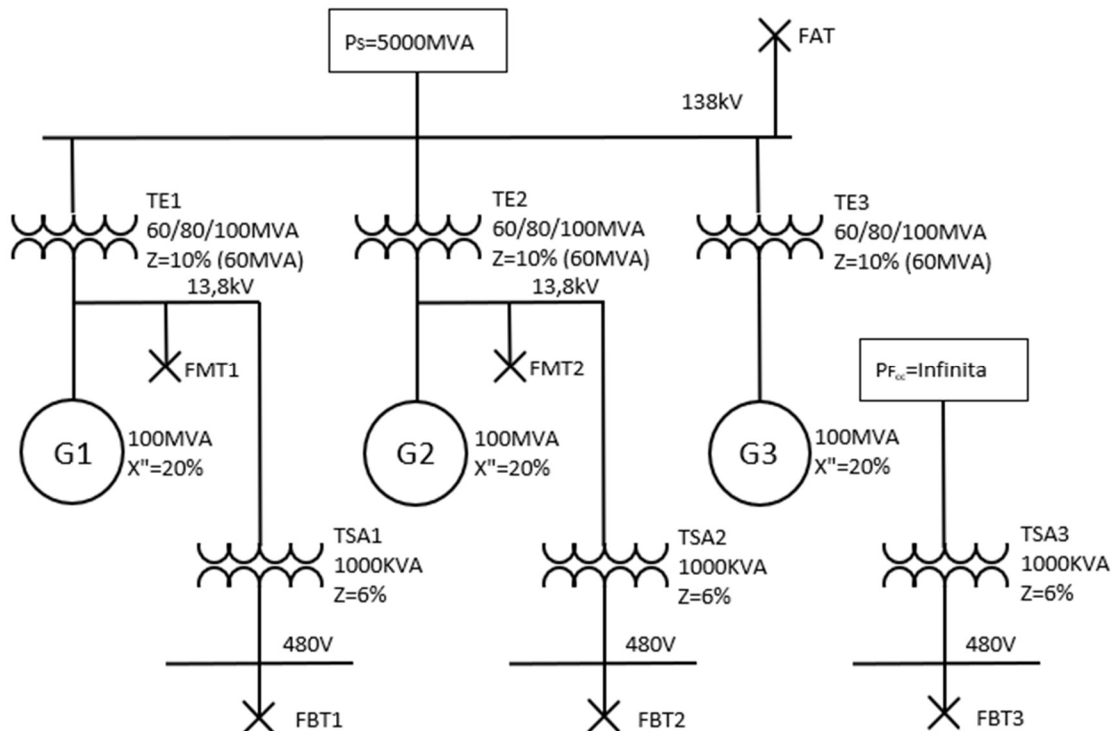
Na segunda condição, que o grupo alimente uma carga inicial constante de 210kVA (tensão nominal 460V, fator de potência 0,85) e carga variável de 50kVA (tensão nominal 480V, fator de potência 0,90), durante a partida do motor de 100cv, a tensão nos terminais do alternador cai de 506V para 431,00V e depois se reestabelece em 506V.

DADOS DO SISTEMA				
Alternador	VG_n	Tensão Nominal do Alternador (V)	480	
	VG_A	Tensão de Operação Ajustada do Alternador(V)	506	
	PG_n	Potência Nominal do Alternador (kVA)	605	
	$Z'G_n$	Reatância Transitória Nominal do Alternador (%)	11,6	
Dados das Cargas	Inicial	PC_{kn}	Potência Nominal da Carga Inicial Constante (kVA)	210
		VC_{kn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Constante (V)	460
		FPC_k	Fator de Potência da Carga Inicial Constante	0,85
		PC_{vn}	Potência Nominal da Carga Inicial Variável (kVA)	50
		VC_{vn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Variável (V)	480
		FPC_v	Fator de Potência da Carga Inicial Variável	0,9
	Carga a ser Aplicada	PC_{Kn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	
		VC_{Kn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	
		FPC_K	Fator de Potência da Carga Constante	
		PC_{Vn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
		VC_{Vn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
		FPC_V	Fator de Potência da Carga Variável	
		VM_{Pn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
		IM_{Pn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
		FPM_P	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

Tensão nos Terminais do Alternador (V)	$V_{GT} (%)$	431,00
--	--------------	--------

5.3 - Correntes de Curto Circuito

As correntes de curto circuito trifásicas serão calculadas para os pontos FAT (Sistema de 138kV); FMT1 e 2 (Sistemas de 13,8kV); e FBT1, 2 e 3 (Sistemas de 480V) indicados na figura a seguir:



O cálculo das correntes de curto circuito nos diversos pontos da instalação será feito utilizando o método dos MVA. Este método, de Monn H. Yuen, foi publicado pelo IEEE em 1974. O informativo técnico, IT.EL.SA.CA.03 Curto Circuito - Cálculo das Correntes, detalha este método para correntes de curto circuito trifásicas simétricas e, seus conceitos, serão aplicados ao sistema da usina, conforme suas informações e indicado no diagrama unifilar. Calculando as potências de curto circuito de cada componente temos:

$$P_{G1,2,3} = \frac{100}{20} \times 100 = 500MVA$$

$$P_{TE,2,3} = \frac{60}{10} \times 100 = 600MVA$$

$$P_{TSA1,2,3} = \frac{1}{6} \times 100 = 16,7MVA$$

Para calcular a potência de curto circuito equivalente de conjuntos em série se aplica a fórmula:

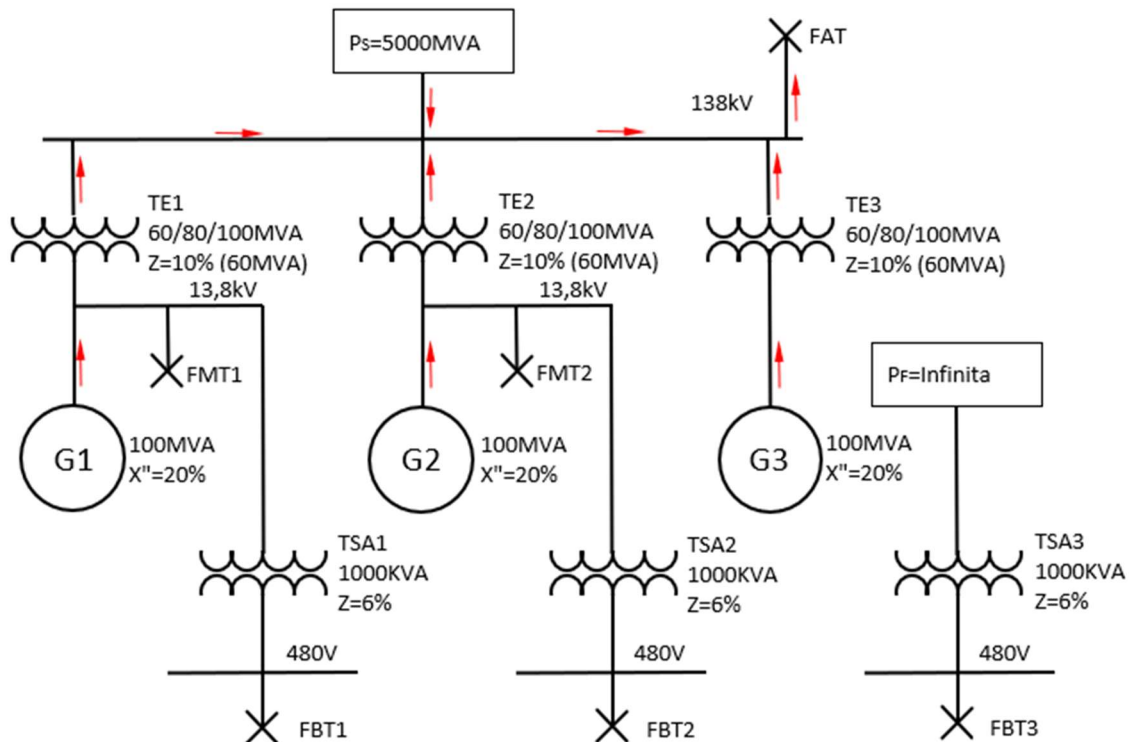
$$P_{ccT} = \frac{1}{\frac{1}{P_{cc1}} + \frac{1}{P_{cc2}} + \frac{1}{P_{cc3}} + \dots + \frac{1}{P_{ccn}}}$$

Para calcular a potência de curto circuito equivalente de conjuntos em paralelo se aplica a fórmula:

$$P_{ccT} = P_{cc1} + P_{cc2} + P_{cc3} + \dots + P_{ccn}$$

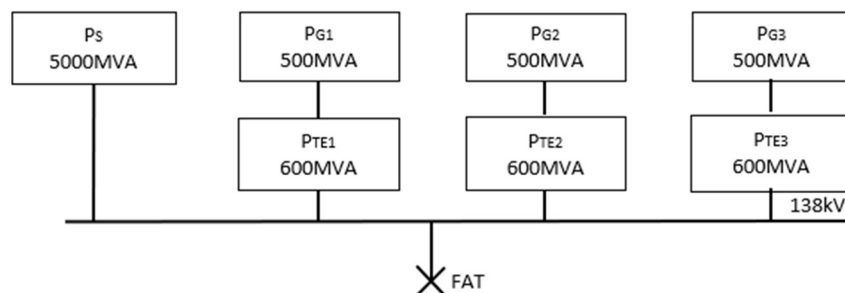
5.3.1 - Sistema de 138kV

Para o sistema de 138kV o cálculo será feito no barramento da Subestação, representado pelo ponto FAT da figura abaixo:



As setas indicam o sentido das correntes.

O diagrama de blocos abaixo representa o sistema envolvido no defeito no ponto FAT:



Calculando:

$$P_{G1-TE} = \frac{1}{\frac{1}{P_{G1}} + \frac{1}{P_{TE1}}} = P_{G2-TE} = P_{G3-TE} = \frac{1}{\frac{1}{500} + \frac{1}{600}} = 272,7MVA$$

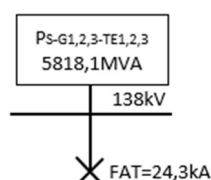


$$P_{S-G1,2,3-TE1,2,3} = P_S + P_{G1-TE} + P_{G2-TE} + P_{G3-TE} = 5000 + 272,7 + 272,7 + 272,7$$

$$P_{S-G1,2,3-TE1,2,3} = 5818,1MVA$$

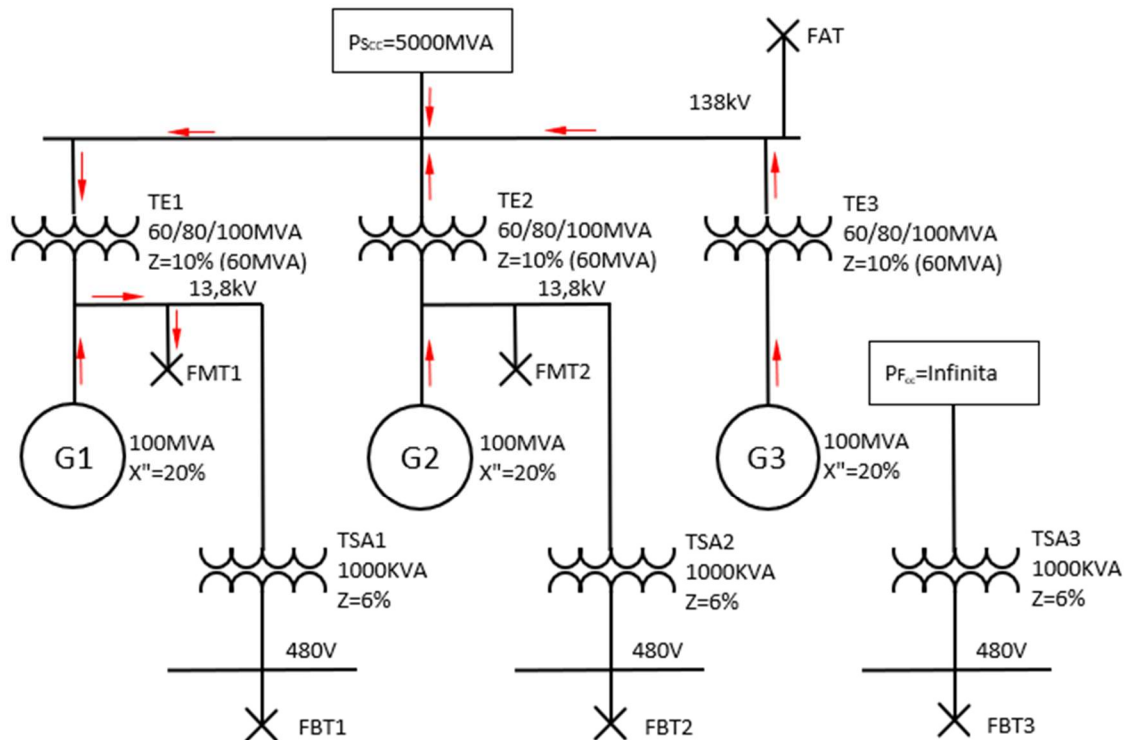
Que corresponde a uma corrente de;

$$I_{FAT} = \frac{5818,1}{\sqrt{3} \cdot 138} = 24,3kA$$

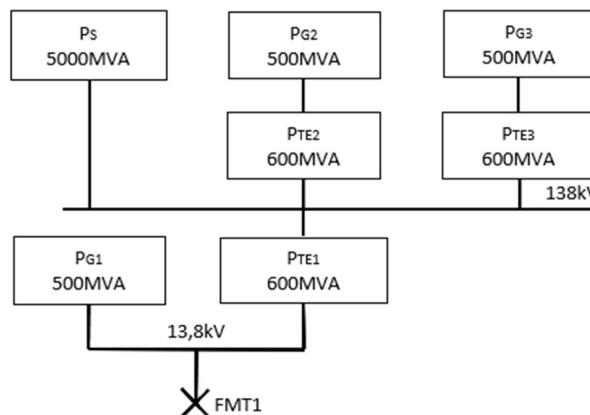


5.3.2 - Sistema de 13,8kV

O cálculo das correntes de curto circuito no sistema de 13,8kV será feito para os pontos FMT1 e 2

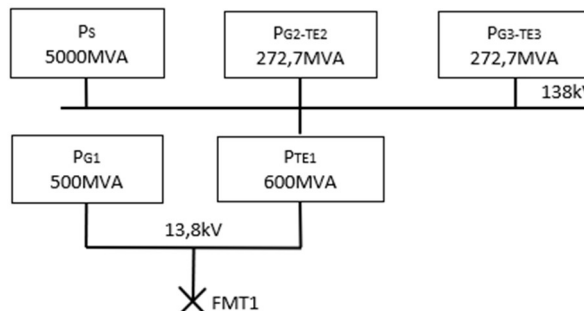


O diagrama de blocos a seguir representa o sistema envolvido:

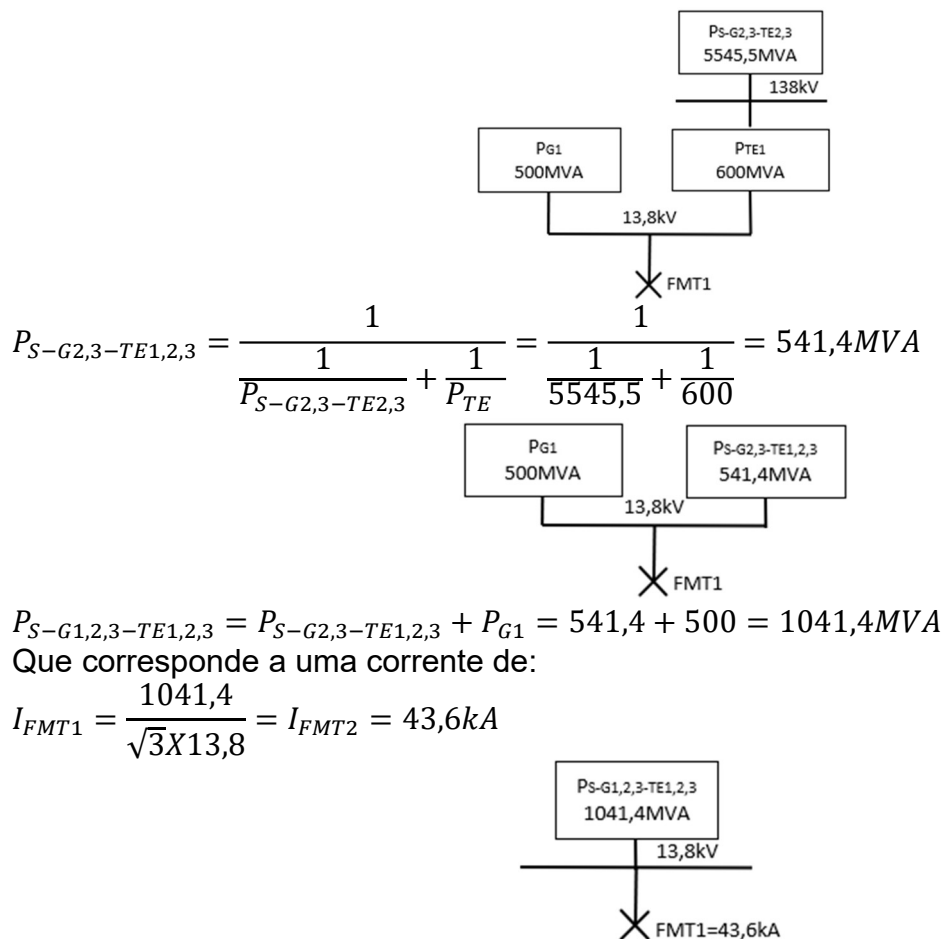


Calculando:

$$P_{G2-TE2} = \frac{1}{\frac{1}{P_{G2}} + \frac{1}{P_{TE}}} = P_{G3-TE3} = \frac{1}{\frac{1}{500} + \frac{1}{600}} = 272,7MVA$$



$$P_{S-G2,3-TE2,3} = P_S + P_{G2-TE} + P_{G3-TE3} = 5000 + 272,7 + 272,7 = 5545,5MVA$$



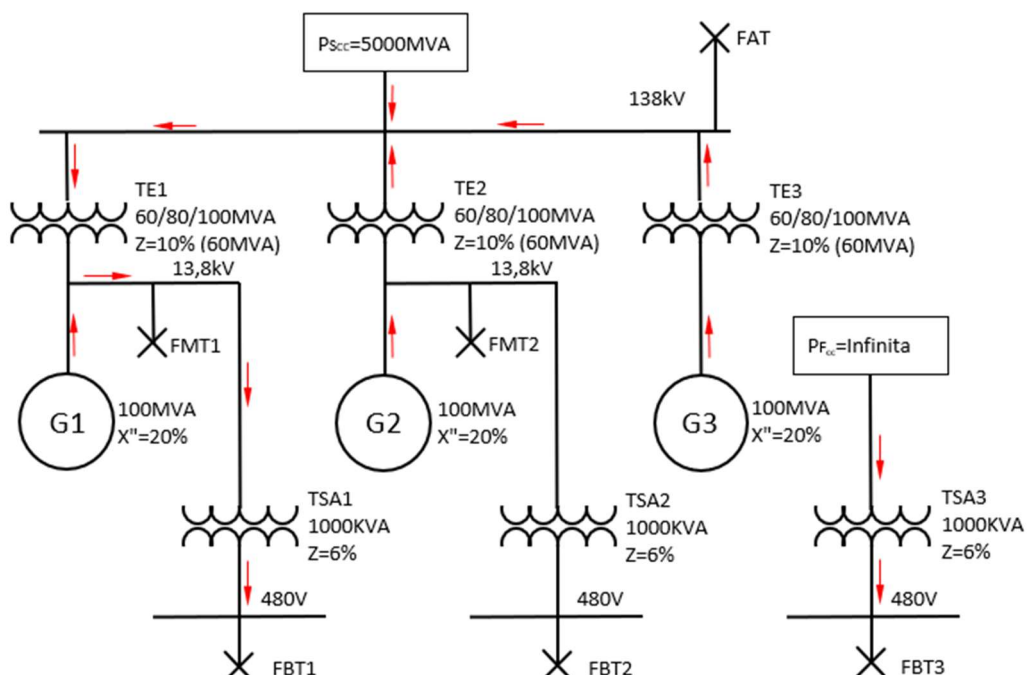
Considerando que a tensão máxima da geração poder ser de +10%, a corrente de curto circuito para definição da corrente de curto circuito simétrica do sistema de 13,8kV deverá ser aumentada de 10%, ou seja:

$$I_{FMT2} = 43,6 \times 1,1 = 47,9kA$$

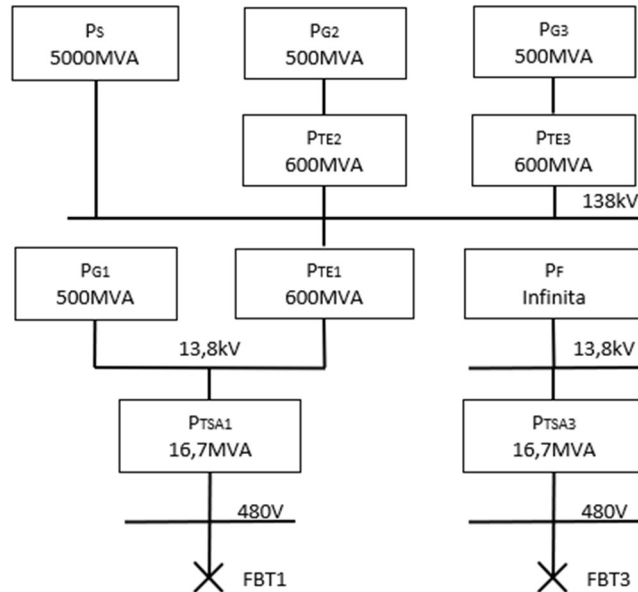
5.3.3 - Sistema de 480V

Cálculo da corrente de Curto circuito em FBT1,2 e 3

Para o sistema de 0,48kV o sistema será representado pela figura abaixo:

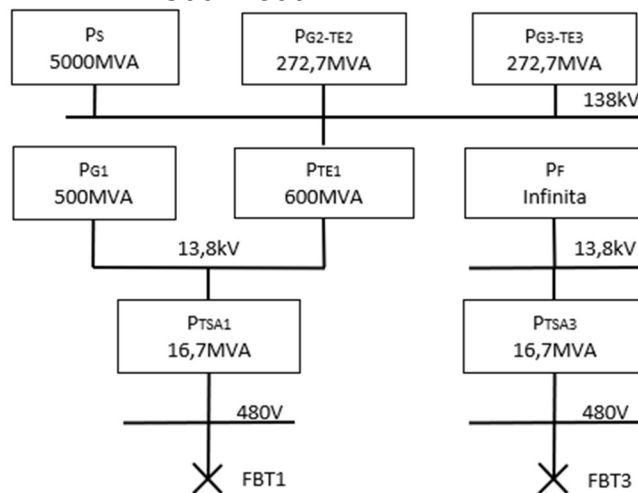


O diagrama de blocos abaixo representa o sistema envolvido:

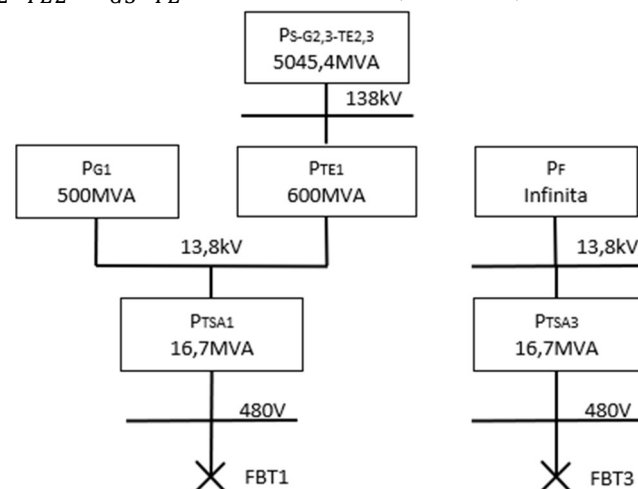


Calculando:

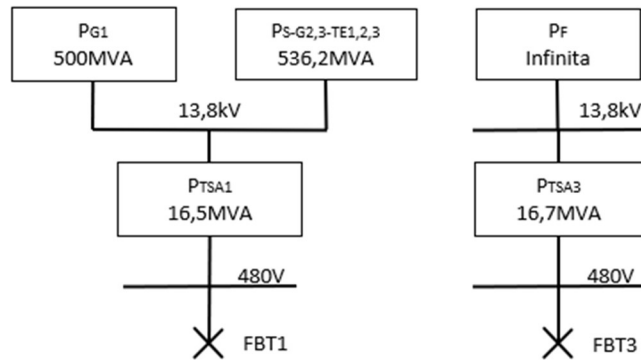
$$P_{G2-TE} = \frac{1}{\frac{1}{P_{G2}} + \frac{1}{P_{TE}}} = P_{G3-TE3} = \frac{1}{\frac{1}{500} + \frac{1}{600}} = 272,7MVA$$



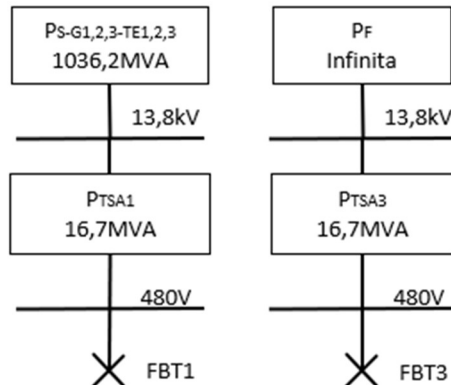
$$P_{S-G2,3-TE2,3} = P_S + P_{G2-TE2} + P_{G3-TE} = 5000 + 272,7 + 272,7 = 5045,4MVA$$



$$P_{S-G2,3-TE1,2,3} = \frac{1}{\frac{1}{P_{S-G2,3-TE2,3}} + \frac{1}{P_{TE}}} = \frac{1}{\frac{1}{5045,4} + \frac{1}{600}} = 536,2MVA$$



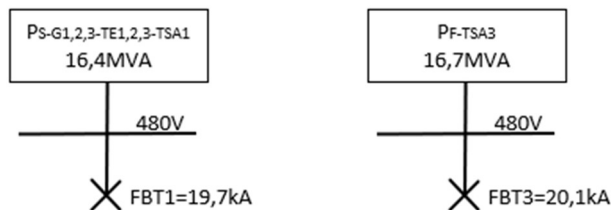
$$P_{S-G1,2,3-TE1,2,3} = P_{S-G2,3-TE1,2,3} + P_{G1} = 536,2 + 500 = 1036,2MVA$$



$$P_{S-G1,2,3-TE1,2,3} = \frac{1}{\frac{1}{P_{S-G1,2,3-TE1,2,3}} + \frac{1}{P_{TSA1}}} = \frac{1}{\frac{1}{1036,2} + \frac{1}{16,7}} = 16,4MVA$$

$$I_{FBT1} = \frac{16,4}{\sqrt{3} \times 0,48} = I_{FBT} = 19,7kA$$

$$I_{FBT3} = \frac{16,7}{\sqrt{3} \times 0,48} = I_{FBT} = 20,1kA$$



Considerando que a tensão máxima do sistema de 480V pode ser de +10%, a corrente de curto circuito para definição da corrente de curto circuito simétrica dos quadros QG1 e QG2, utilizando o maior valor, deverá ser aumentada de 10%, ou seja:

$$I_{FBT} = 20,1 \times 1,1 = 22,11kA$$

Chama-se a atenção para a pequena diferença entre as correntes de curto circuito calculadas para o sistema de 480V, o que na maioria das vezes justifica considerar a potência de curto circuito da fonte como infinita.

5.3.4 - Conclusão

Para os serviços auxiliares elétricos de média e baixa tensão, as correntes de curto circuito deverão ser, 50kA para o sistema de média tensão e 25kA para os quadros de baixa tensão, QG1 e QG2.

5.4 - Alimentadores

A definição dos alimentadores é uma tarefa que requer alguns cuidados para atender todas as exigências das normas e necessidades da instalação.

Em projetos novos, as condições de instalação dos cabos e seus percursos não podem ser claramente definidas, o que só ocorre durante o detalhamento das instalações. Assim, para dimensionar os cabos corretamente, deve se ter cuidado com as premissas adotadas, que muitas vezes, até em função das recomendações dos fabricantes dos sistemas, levam ao superdimensionamento dos cabos.

Apesar do isolamento dos cabos suportarem temperaturas de 70°C, 90°C ou 105°C, que causariam sérios danos se entrassem em contato com o corpo humano, dificilmente se encontram instalações nas quais não se possa tocar os cabos, o que demonstra que, na maioria das vezes, dimensionamos os cabos muito acima do que seria necessário. Isto ocorre porque as condições mais severas, consideradas no dimensionamento de cada circuito, não ocorrem continuamente e, a simultaneidade dessas condições nos diversos circuitos envolvidos não são consideradas ou verificadas. Entretanto, é preciso reconhecer que a prévia definição das condições de instalação dos cabos não é uma tarefa fácil de realizar, principalmente convencer o cliente da sua aplicabilidade.

Sempre que possível devem ser escolhidos cabos com temperatura de operação superior, ou seja, em vez de escolher cabos isolados em PVC, escolher cabos isolados em EPR/XLPE. O custo dos cabos de cobre é quase o mesmo, mas os cabos isolados em EPR/XLPE suportam correntes superiores em, aproximadamente 30%, além de suportarem temperaturas de 250°C durante os curtos-circuitos.

A capacidade de condução de corrente dos cabos depende do material do cabo, tipo de isolamento, da temperatura ambiente, do tipo de instalação e do fator de agrupamento. Entretanto, estas condições não serão objeto deste informativo, pois as condições de instalação são muito variadas e as normas detalham todas elas. O problema está na correta avaliação das reais necessidades da instalação, definição dos circuitos ativos e dos fatores de agrupamento. O que se observa é o superdimensionamento dos cabos devido às dificuldades de prever, no início do projeto, as condições de instalação dos cabos no final da execução da obra, quando não se pode mais alterar a seção dos cabos escolhidos. Quando a obra termina, apenas se pode fazer uma verificação da sua correção e, quando necessário, fazer um cálculo mais preciso com as condições reais.

Com base nos dados das cargas devem ser escolhidos os cabos que atendam, simultaneamente, os limites de capacidade condução de corrente, queda de tensão e curto circuito.

5.4.1 - Capacidade de Condução de Corrente

Para a escolha dos condutores pela capacidade de condução de corrente foram arbitradas as seguintes premissas:

- Os alimentadores de motores são dimensionados para 125% da corrente nominal, conforme recomendação do NEC (National Electrical Code). Esta recomendação é compatível com as condições normalmente encontradas pois, como a potência dos motores assíncronos é considerada constante, as correntes aumentam quando as tensões caem e todos os motores, normalmente, têm fator de serviço maior do que 1,0.
- Os alimentadores das demais cargas foram dimensionados para 115% da corrente nominal.

O fator de correção de temperatura ambiente considerou a temperatura ambiente de 40°C e do solo 25°C.

Para simplificar os cálculos, todos os cabos do interior da Casa de Força da usina foram considerados instalados em leitos para cabos, com fator de agrupamento igual a 0,7; os cabos externos à Casa de Força foram considerados instalados em eletrodutos embutidos em alvenaria, com fator de agrupamento igual a 0,8.

As capacidades de condução de corrente para cabos de cobre com isolamento de EPR/XLPE, já corrigidas para temperatura ambiente de 40°C (Fator de Correção de Temperatura=0,91), temperatura do solo 20°C (Fator de Correção de Temperatura =1,00),

instalados na Casa de Força (Fator de Correção de Agrupamento=0,8), ou fora dela (Fator de Correção de Agrupamento =0,9), estão indicadas nas tabelas a seguir:

Capacidades de condução de corrente (A)				
Local	Casa de Força		Demais Locais	
Instalação	Em leito de cabos		Em eletrodutos	
Seção Nominal	Cabos tripolares	Cabos unipolares em trifólio	Cabos tripolares	Cabos unipolares em trifólio
2,5	23		23	
4	31		32	
6	39		40	
10	55		54	
16	73		72	
25	92		95	
35	115		115	
50		151		158
70		195		200
95		239		242
120		279		281
150		323		322
185		371		367
240		442		433

A seção do cabo, cuja capacidade de condução corrente é superior à corrente que atenda as condições da carga, foi escolhida como a adequada para atender a condição de capacidade de condução de corrente.

5.4.1.1. Transformadores de Serviços Auxiliares

A alimentação dos quadros gerais (QG1 e QG2) deverá ser feita com cabos ou barramento dimensionados para 115% da corrente nominal do transformador de serviços auxiliares, ou seja:

$$I_{GE} = 1,15 \frac{1000}{\sqrt{3} \times 0,48} = 1383A$$

Se for barramento a corrente nominal padronizada será 1600A. Se for por cabos, deverão ser utilizados 4 cabos por fase, de 185mm², que suportam 1.484A.

5.4.1.2. Grupo Diesel Gerador de Emergência

Os alimentadores dos quadros gerais QG1 e QG2, provenientes do grupo diesel gerador de emergência, foram dimensionados para 115% da corrente nominal do grupo, ou seja, para:

$$I_{GE} = 1,15 \frac{360}{\sqrt{3} \times 0,48} = 498A$$

A seção mínima de cabo que suporta essa corrente é a de 2 cabos de 120mm² por fase, que suportam 558A.

O fato de a potência real do alternador ser 605kVA não implica que o alimentador deva ser dimensionado para essa potência, pois a potência nominal do grupo foi considerada como sendo 360kVA. O alternador de 605kVA foi escolhido por ter a reatância transitória equivalente à necessária, e não implica que o grupo seja de 605kVA, pois o motor diesel não deve, necessariamente, atender a potência nominal do alternador real. Entretanto, em função de todas as variáveis envolvidas, o pessoal da operação da usina, conhecendo os dados reais dos equipamentos, poderá aproveitar melhor a capacidade plena do grupo.

A utilização de grupos híbridos, com as informações reais dos componentes, evita que o fornecedor do grupo coloque uma placa no alternador com os dados equivalentes em vez

dos reais. Por exemplo, em vez de informar que o alternador é de 605kVA com reatância transitória de 11,60%, informar que o alternador é de 360kVA com reatância transitória de 6,90%, que é menor que a mínima necessária calculada, 8,7%.

Se considerarmos que o alternador pode fornecer 110% da potência nominal, durante 1 hora a cada 12 horas de operação, os cabos selecionados ainda atenderiam essa condição, pois a corrente suportada pelos dois cabos seria 558A (2 x 279A) superior aos 110% da corrente do alternador 548A (1,1 x 498A).

5.4.1.3. Quadros Gerais

Os dados dos quadros gerais (QG1 e QG2), que alimentam todos os centros de cargas da usina, considerando os dados das cargas estimadas do informativo técnico IT.EL.SA.CA.02 Transformadores de Potência e Grupos Diesel Geradores de Emergência – Dimensionamento, estão relacionados na tabela a seguir:

Quadro	l(m)	Carga Total (kVA)	Corrente da Carga (A)	Corrente Mínima do Cabo (A)	Seção (mm²)
CCU1	30	200	241	277	120
CCU2	50	200	241	277	120
CCU3	70	200	241	277	120
CCG	30	400	481	553	2x120
CCTA	80	55	66	76	25
CCVT	150	45	54	62	16
CCSE	150	30	36	41	10

5.4.1.4. Centros de Cargas

Os dados de dimensionamento, dos centros de cargas que alimentam todas as cargas da usina, estão relacionados nas tabelas a seguir:

CARGAS DOS CCU's	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)
Bombas de Óleo do Regulador de Velocidade da Turbina	100 cv	MBORV	35	124	1054	155	70
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador	10 cv	MBOMC	25	14	112	17,5	2,5
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Guia da Turbina	7,5 cv	MBOGT	35	11	88	13,75	2,5
Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora	15 cv	MBIME	25	21	168	26,25	4
Bombas de Drenagem da Tampa da Turbina	3 cv	MBDTT	35	4,8	38,4	6	2,5
Resistores de Aquecimento do Gerador	15 kW	RAG	25	18	-	20,7	2,5
Exaustor de Vapor de Óleo do Poço da Turbina	0,5 cv	MEVT	35	1,1	8,8	1,375	2,5
Válvula da Água de Resfriamento da Unidade	1,5 cv	MVAR	35	3	24	3,75	2,5
Cubículo de Excitação do Gerador	10 kVA	CEX	25	12	-	13,8	2,5
Auxiliares do Transformador Elevador	30 kVA	ATE	50	40	320	50	10
Filtro Autolimpante de Água de Resfriamento	1,5 cv	FALR	35	3	24	3,75	2,5

CARGAS DO CCG	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)
Bombas de Drenagem	20 cv	MBDE	30	27	216	34	6
Compressores de Ar de Regulação de Velocidade	30 cv	MCARV	30	40	320	50	10
Sistema de Ventilação e Exaustão (1 conj.)	75 cv	MVE	50	96	Nota 1	120	50
Sistema de Ar Condicionado	30 cv	SAC	50	40	320	50	10
Compressores de Ar de Serviço	15 cv	MCAS	30	21	168	26	4
Sistema de Telecomunicações	10 kVA	TELE	50	12	-	14	2,5
Carregadores de Baterias	15 kVA	CBT	50	21	-	24	4
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIACF	80	12	-	14	2,5
Elevador de Pessoas	7,5 kVA	ELEV	50	11	88	14	2,5
Auxiliares do Grupo Diesel de Emergência	1,5 kVA	AGDE	40	2	-	2	2,5
Bomba do Sistema de Levantamento do Rotor	3 cv	BSLR	80	4,8	38,4	6	2,5
Bombas de Esgotamento	30 cv	MBEG	30	40	320	50	10
Bombas de Combate a Incêndio	50 cv	MBI	30	65	520	81	25
Ponte Rolante da Casa de Força	75 cv	PRCF	50	96	Nota 2	120	50
Tomadas de Força	30 kVA	TFCF	80	36	-	41	10
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Isolante	60 kVA	SMTOI	80	72	-	83	25
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Lubrificante	30 kVA	SMTOL	80	36	320	41	10
Pórtico Rolante de Jusante	15 kVA	PRJ	50	18	Nota 2	21	2,5

Nota 1- O sistema de ventilação e exaustão é composto por um conjunto de ventiladores e exaustores de várias potências, totalizando 75cv.

Nota 2- A ponte e o pórtico rolantes são acionados por sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.

CARGAS DO CCTA	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIATA	20	12	-	14	2,5
Tomadas de Força	30 kVA	TFTA	80	36	-	41	10
Pórtico Rolante de Montante	20 cv	PRTA	50	27	Nota 1	31	4
Bombas da Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água	15 cv	MBCTA	20	21	168	26	4

Nota 1- O pórtico rolante é acionado por sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.

CARGAS DO CCVT	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIAVT	20	12	-	14	2,5
Tomadas de Força	30 kVA	TFVT	50	36	-	41	10
Pórtico Rolante do Vertedouro	15 cv	PRVT	50	21	Nota 1	24	4
Bombas da Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro	7,5 cv	MBCVT	20	11	88	14	2,5

Nota 1- O pórtico rolante é acionado por sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.

CARGAS DO CCSE	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIASE	20	12	-	14	2,5
Tomadas de Força	30 kVA	TFSE	50	36	-	41	10
Motores (Chaves Seccionadoras e Disjuntores de AT) (Nota 1)	5cv	MDJCH	80	7,6	60,8	10	2,5
Nota 1- Considerou-se que do conjunto de chaves seccionadoras e compressores dos disjuntores apenas opera um motor de cada vez.							

5.4.2 - Queda de Tensão

Utilizando as planilhas dos documentos de referência podem ser calculadas:

- A tensão na carga, quando se conhece o valor da tensão na fonte e as informações das cargas e dos cabos utilizados. Ver planilha PL.EL.SA.CA.04 - Alimentadores - Cálculo da Tensão na Carga.

- A tensão necessária na fonte para que a tensão na carga seja um valor predeterminado, quando se conhecem as informações das cargas e dos cabos utilizados. Ver planilha PL.EL.SA.CA.05 - Alimentadores - Cálculo da Tensão na Fonte.

As planilhas acima citadas foram elaboradas com base no informativo teórico TE.EL.SA.CA.04 - Alimentadores - Cálculo da Tensão e na Carga e na Fonte.

5.4.2.1. Premissas

Para a escolha dos condutores pela queda de tensão foram arbitradas as seguintes premissas:

- Para os centros de cargas das unidades (CCU1, CCU2 e CCU3) foram calculadas as quedas de tensão considerando a partida do maior motor, 100cv, que é motor da bomba de óleo do regulador de velocidade da turbina.
- Para o centro de cargas gerais (CCG) foi calculada a queda de tensão considerando a partida do maior motor, 50cv, que é motor da bomba de incêndio.
- Para as cargas e centros de cargas da tomada d'água (CCTA), vertedouro (CCVT) e Subestação (CCSE) somente foi calculada a queda de tensão em regime permanente.

As premissas acima foram consideradas porque não se definiu a tensão nos terminais dos transformadores de serviços auxiliares para cada carga e, conseqüentemente, a tensão nos quadros gerais (QG1 e QG2). Dessa forma, apenas os circuitos mais críticos serão completamente definidos e, os demais, deveriam ser objeto de uma verificação, mas não serão completamente dimensionados neste informativo.

Os quadros de distribuição QG1 e QG2 são os quadros responsáveis pela distribuição da energia aos sistemas auxiliares elétricos da usina. Como a distância dos transformadores de serviços auxiliares (TSA1, TSA2 e TSA3) aos quadros gerais (QG1 e QG2) são muito curtas, a queda de tensão nessas ligações será desprezada. Portanto, as tensões nos quadros QG1 e QG2 serão consideradas iguais às tensões nos terminais dos transformadores de serviços auxiliares, para as mesmas condições de carga.

Os comprimentos de cabos foram arbitrados considerando o arranjo de equipamentos definido no início deste informativo.

Como a derivação escolhida do enrolamento primário do transformador corresponde à tensão nominal, ou seja, 13.800V, a tensão máxima do secundário dos transformadores em vazio será 504V e, em nenhum caso a tensão máxima das cargas será ultrapassada. Portanto, somente o comportamento das com as tensões mínima e precária do primário do transformador será objeto de análise.

Foram consideradas as condições de um ou dois transformadores alimentando todas as cargas.

Problemas decorrentes de baixas tensões devem ser esperadas e contornadas, mas não devem ser impeditivos nem motivos de considerar inviáveis as instalações. Observar que, mesmo em instalações residenciais, comerciais e pequenos negócios, os problemas de subtensões podem ocorrer, pois de acordo com a tabela 4 da ANEEL, as tensões podem variar nas mesmas faixas dos sistemas industriais:

Tabela 4 – Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou inferior a 1 kV (220/127)

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (Volts)
Adequada	$(202 \leq TL \leq 231) / (117 \leq TL \leq 133)$
Precária	$(191 \leq TL < 202 \text{ ou } 231 < TL \leq 233) / (110 \leq TL < 117 \text{ ou } 133 < TL \leq 135)$
Crítica	$(TL < 191 \text{ ou } TL > 233) / (TL < 110 \text{ ou } TL > 135)$

Pela tabela, a tensão adequada pode variar entre 92 e 105% da tensão nominal. A tensão precária pode chegar a 87% da tensão nominal, inferior aos 90% do sistema de 13.800V.

5.4.2.2. Resistência e Reatância dos Cabos

Para os cabos isolados em EPR/XLPE, as resistências e reatâncias, em Ω/km serão as indicadas na tabela a seguir, calculadas de acordo com o informativo TE.EL.SA.CA.05 Alimentadores - Critérios para Dimensionamento:

Dados dos Cabos		
S	R₉₀	X_{60Hz}
2,5	8,794	0,096
4	5,496	0,096
6	3,664	0,096
10	2,198	0,096
16	1,374	0,096
25	0,879	0,096
35	0,628	0,096
50	0,440	0,096
70	0,314	0,096
95	0,231	0,096
120	0,183	0,096
150	0,147	0,096
185	0,119	0,096
240	0,092	0,096

Neste informativo foi considerado que os cabos operam com a temperatura nominal de 90°C, ou seja, não serão feitas simulações considerando as variações das resistências em função da real corrente da carga e capacidade do condutor na temperatura nominal. Esta simulação somente deve ser feita quando o profissional considerar necessário fazer alguma avaliação crítica de operação.

5.4.2.3. Estimativa Rápida

Antes de efetuar os cálculos para dimensionar os cabos pela queda de tensão, vamos efetuar um cálculo rápido para verificar os valores aproximados de tensão que deverão ser obtidos em cada trecho, simulando os valores para a condição mais severa que são os motores de 100cv.

Como a posição dos quadros de cargas das unidades, em relação as cargas, é a mesma, será calculada qual será a tensão mínima necessária na fonte para que a tensão no motor atenda o valor mínimo necessário, considerando a partida do motor de 100cv, com a seção do cabo dimensionado pelo critério de condução de corrente, que é cabo de 70mm².

Para que, durante a partida do motor de 100cv a tensão mínima nos terminais do motor seja 391V (460V, -15%), calculando as tensões nas fontes com auxílio da planilha PL.EL.SA.CA.05 (Alimentadores - Cálculo da Tensão na Fonte) e utilizando os dados dos cabos dimensionados pelo critério de condução de corrente, a tensão nos centros de cargas das unidades (CCU1/2/3), para alimentador com 1 cabo/fase de 70mm², deverá ser ≥401,36V:

DADOS DO SISTEMA		
Dados da Fonte	I	Comprimento do Circuito (km)
	R_a	Resistência do Cabo (Ω /km)
	X_a	Reatância do Cabo (Ω /km)
	n	Número de Cabos por Fase
	V_{CT}	Tensão na Carga (V)
Dados das Cargas	P_{CKn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)
	V_{CKn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)
	FP_{CK}	Fator de Potência da Carga Constante
	P_{CVn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)
	V_{CVn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)
	FP_{CV}	Fator de Potência da Carga Variável
	V_{MPn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)
	I_{MPn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)
	FP_{MP}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida

V_F	Tensão na fonte considerando a tensão definida da carga	401,36
-------------------------	---	--------

Adotando o mesmo critério para a bomba de incêndio, alimentada pelo centro de cargas gerais, para que durante a partida do motor de 50cv, a tensão mínima nos terminais do motor seja 391V (460V, -15%), a tensão no centro de cargas gerais (CCG) para alimentador com 1 cabo/fase de 25mm², deverá ser ≥399,59V:

DADOS DO SISTEMA		
Dados da Fonte	I	Comprimento do Circuito (km)
	R_a	Resistência do Cabo (Ω /km)
	X_a	Reatância do Cabo (Ω /km)
	n	Número de Cabos por Fase
	V_{CT}	Tensão na Carga (V)
Dados das Cargas	P_{CKn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)
	V_{CKn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)
	FP_{CK}	Fator de Potência da Carga Constante
	P_{CVn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)
	V_{CVn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)
	FP_{CV}	Fator de Potência da Carga Variável
	V_{MPn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)
	I_{MPn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)
	FP_{MP}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida

V_F	Tensão na fonte considerando a tensão definida da carga	399,59
-------------------------	---	--------

Para que a tensão no CCU1 seja 401,36V, durante a partida do motor de 100cv, a tensão no QG1/QG2, para alimentador com 1 cabo/fase de 120mm², deverá ser 409,87V:

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	I	Comprimento do Circuito (km)	0,03
	R_a	Resistência do Cabo (Ω /km)	0,183
	X_a	Reatância do Cabo (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cabos por Fase	1
	V_{CT}	Tensão na Carga (V)	401,36
Dados das Cargas	P_{CKn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	80
	V_{CKn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	460
	FP_{CK}	Fator de Potência da Carga Constante	0,85
	P_{CVn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	20
	V_{CVn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	480
	FP_{CV}	Fator de Potência da Carga Variável	0,9
	V_{MPn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
	I_{MPn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
	FP_{MP}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

V_F	Tensão na fonte considerando a tensão definida da carga	409,87
-------------------------	---	--------

A queda de tensão, desde os terminais do secundário do transformador até os terminais do motor, será 18,87V (409,87-391,00V), ou seja 4,10% de 460V, ou 3,93% de 480V. Portanto, os valores estimados são aceitáveis, haja vista que a tensão mínima no secundário do transformador, durante a partida do motor de 100cv, com a tensão primária no valor mínimo de tensão adequada (12.834V), será 409,33V, aproximadamente igual à tensão estimada.

Para que a tensão no CCG seja 399,59V, durante a partida do motor de 50cv, a tensão no QG1/QG2, para alimentador com 2 cabos/fase de 120mm², deverá ser 403,78V:

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	I	Comprimento do Circuito (km)	0,03
	R_a	Resistência do Cabo (Ω /km)	0,183
	X_a	Reatância do Cabo (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cabos por Fase	2
	V_{CT}	Tensão na Carga (V)	399,59
Dados das Cargas	P_{CKn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	250
	V_{CKn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	460
	FP_{CK}	Fator de Potência da Carga Constante	0,85
	P_{CVn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	100
	V_{CVn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	480
	FP_{CV}	Fator de Potência da Carga Variável	0,9
	V_{MPn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
	I_{MPn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	520
	FP_{MP}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

V_F	Tensão na fonte considerando a tensão definida da carga	403,78
-------------------------	---	--------

Pelos cálculos se verifica que a situação é mais crítica para os centros de cargas das unidades.

Apesar da queda de tensão total, durante a partida do motor de 100cv, ser aproximadamente igual a 4%, caso a tensão primária do transformador se situe no valor da faixa precária (<93% da tensão nominal), não será possível atender os valores mínimos de tensão definidos neste informativo.

O fato de não ser possível atender, teoricamente, os valores mínimos de tensão nos equipamentos, não implica os problemas dessa subtensão impedirão o seu funcionamento. Entretanto, eventuais problemas de funcionamento poderão ser contornados com a adoção de algumas medidas, como a utilização de contadores acionados com corrente contínua, soft starters etc., ou outras medidas, pelo pessoal da operação, como mudança da derivação do primário do transformador.

Em função dos valores calculados, medidas como aumentar a potência nominal dos transformadores e a seção dos alimentadores, poderão reduzir os problemas dos valores mínimos de tensão, mas deve ser objeto de uma avaliação técnica e econômica, bem como ter o aval do Cliente.

5.4.2.4. Grupo Diesel Gerador de Emergência

Considerando o arranjo previsto para a casa de força, o comprimento do cabo, entre o grupo diesel gerador de emergência e os quadros gerais QG1/QG2, será estimado em 30m. Portanto, as quedas de tensão nos alimentadores, considerando as mesmas cargas do cálculo da queda de tensão no grupo diesel gerador de emergência, serão:

Na primeira condição, que o grupo alimenta uma carga inicial constante de 260kVA (tensão nominal 460V, fator de potência 0,85) e carga variável de 50kVA (tensão nominal 480V, fator de potência 0,90), e partida do motor de 50cv.

Antes da partida do motor, a tensão nos QG1 e QG2, supondo a tensão no alternador ajustada em 506V e um único alimentador de 2x120mm² por fase para os dois quadros, será 504,07V.

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	<i>I</i>	Comprimento do Circuito (km)	0,03
	<i>R_a</i>	Resistência do Cabo (Ω/km)	0,183
	<i>X_a</i>	Reatância do Cabo (Ω/km)	0,096
	<i>n</i>	Número de Cabos por Fase	2
	<i>V_F</i>	Tensão na Fonte (V)	506
Dados das Cargas	<i>P_{C_{Kn}}</i>	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	260
	<i>V_{C_{Kn}}</i>	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	460
	<i>FP_{C_K}</i>	Fator de Potência da Carga Constante	0,85
	<i>P_{C_{Vn}}</i>	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	50
	<i>V_{C_{Vn}}</i>	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	480
	<i>FP_{C_V}</i>	Fator de Potência da Carga Variável	0,9
	<i>V_{M_{Pn}}</i>	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	
	<i>I_{M_{Pn}}</i>	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	
	<i>FP_{M_p}</i>	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	
<i>V_{C_T}</i> Tensão na carga considerando a tensão definida da fonte			504,07

Durante a partida do motor de 50cv, com a carga acima considerada, a tensão nos terminais do alternador do grupo diesel será 465,91V.

DADOS DO SISTEMA				
Alternador	VG_n	Tensão Nominal do Alternador (V)	480	
	VG_A	Tensão de Operação Ajustada do Alternador(V)	506	
	PG_n	Potência Nominal do Alternador (kVA)	605	
	$Z'G_n$	Reatância Transitória Nominal do Alternador (%)	11,6	
Dados das Cargas	Inicial	Pc_{kn}	Potência Nominal da Carga Inicial Constante (kVA)	260
		Vc_{kn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Constante (V)	460
		FPC_k	Fator de Potência da Carga Inicial Constante	0,85
		Pc_{vn}	Potência Nominal da Carga Inicial Variável (kVA)	50
		Vc_{vn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Variável (V)	480
		FPC_v	Fator de Potência da Carga Inicial Variável	0,9
	Carga a ser Aplicadda	PC_{Kn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	
		VC_{Kn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	
		FPC_K	Fator de Potência da Carga Constante	
		PC_{Vn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
		VC_{Vn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
		FPC_V	Fator de Potência da Carga Variável	
		VM_{Pn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
		IM_{Pn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	520
		FPM_P	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

Tensão nos Terminais do Alternador (V)	$V_{GT} (%)$	465,91
--	--------------	--------

E a tensão nos QG1 e QG2 será 461,87V.

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	l	Comprimento do Circuito (km)	0,03
	R_a	Resistência do Cabo (Ω /km)	0,183
	X_a	Reatância do Cabo (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cabos por Fase	2
	V_F	Tensão na Fonte (V)	465,91
Dados das Cargas	PC_{Kn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	260
	VC_{Kn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	0,85
	PC_{Vn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	50
	VC_{Vn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	480
	FP_{C_V}	Fator de Potência da Carga Variável	0,9
	VM_{Pn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
	IM_{Pn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	520
	FPM_P	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

V_{CT}	Tensão na carga considerando a tensão definida da fonte	461,87
----------	---	--------

Após a partida do motor de 50cv, a carga constante passará de 260kVA para 310kVA e, com a tensão no alternador se estabiliza em 506V, a tensão nos QG1 e QG2, considerando os alimentadores de 2 cabos de 120mm² por fase, será 503,76V.

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	I	Comprimento do Circuito (km)	0,03
	R_a	Resistência do Cabo (Ω /km)	0,183
	X_a	Reatância do Cabo (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cabos por Fase	2
	V_F	Tensão na Fonte (V)	506
Dados das Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	310
	$V_{C_{Kn}}$	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	50
	$V_{C_{Vn}}$	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	480
	FP_{C_V}	Fator de Potência da Carga Variável	0,9
	$V_{M_{Pn}}$	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	
	$I_{M_{Pn}}$	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	
	FP_{M_P}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	

V_{CT}	Tensão na carga considerando a tensão definida da fonte	503,76
----------------------------	---	--------

Na segunda condição, que o grupo alimenta uma carga inicial constante de 210kVA (tensão nominal 460V, fator de potência 0,85) e carga variável de 50kVA (tensão nominal 480V, fator de potência 0,90), e partida do motor de 100cv.

Antes da partida do motor a tensão nos QG1 e QG2, será 504,37V.

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	I	Comprimento do Circuito (km)	0,03
	R_a	Resistência do Cabo (Ω /km)	0,183
	X_a	Reatância do Cabo (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cabos por Fase	2
	V_F	Tensão na Fonte (V)	506
Dados das Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	210
	$V_{C_{Kn}}$	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	50
	$V_{C_{Vn}}$	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	480
	FP_{C_V}	Fator de Potência da Carga Variável	0,9
	$V_{M_{Pn}}$	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	
	$I_{M_{Pn}}$	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	
	FP_{M_P}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	

V_{CT}	Tensão na carga considerando a tensão definida da fonte	504,37
----------------------------	---	--------

Durante a partida do motor de 100cv, com a carga inicial acima, a tensão nos terminais do alternador do grupo diesel será 431,00V.

DADOS DO SISTEMA				
Alternador	VG_n	Tensão Nominal do Alternador (V)	480	
	VG_A	Tensão de Operação Ajustada do Alternador(V)	506	
	PG_n	Potência Nominal do Alternador (kVA)	605	
	$Z'G_n$	Reatância Transitória Nominal do Alternador (%)	11,6	
Dados das Cargas	Inicial	Pc_{kn}	Potência Nominal da Carga Inicial Constante (kVA)	210
		Vc_{kn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Constante (V)	460
		FPC_k	Fator de Potência da Carga Inicial Constante	0,85
		Pc_{vn}	Potência Nominal da Carga Inicial Variável (kVA)	50
		Vc_{vn}	Tensão Nominal da Carga Inicial Variável (V)	480
		FPC_v	Fator de Potência da Carga Inicial Variável	0,9
	Carga a ser Aplicadada	PC_{Kn}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	
		VC_{Kn}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	
		FPC_K	Fator de Potência da Carga Constante	
		PC_{Vn}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
		VC_{Vn}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
		FPC_V	Fator de Potência da Carga Variável	
		VM_{Pn}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
		IM_{Pn}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
		FPM_P	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

Tensão nos Terminais do Alternador (V)	$V_{GT} (%)$	431,00
--	--------------	--------

A tensão nos QG1 e QG2, para a tensão de 431,00V nos terminais do alternador, será 425,46V.

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	I	Comprimento do Circuito (km)	0,03
	R_a	Resistência do Cabo (Ω /km)	0,183
	X_a	Reatância do Cabo (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cabos por Fase	2
	V_F	Tensão na Fonte (V)	431
Dados das Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	210
	$V_{C_{Kn}}$	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	50
	$V_{C_{Vn}}$	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	480
	FP_{C_V}	Fator de Potência da Carga Variável	0,9
	$V_{M_{Pn}}$	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
	$I_{M_{Pn}}$	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
	FP_{M_P}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

V_{CT}	Tensão na carga considerando a tensão definida da fonte	425,46
----------	---	--------

Após a partida do motor de 100cv, a carga constante passará de 210kVA para 310kVA e, a tensão nos QG1 e QG2 será 503,76V:

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	I	Comprimento do Circuito (km)	0,03
	R_a	Resistência do Cabo (Ω/km)	0,183
	X_a	Reatância do Cabo (Ω/km)	0,096
	n	Número de Cabos por Fase	2
	V_F	Tensão na Fonte (V)	506
Dados das Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	310
	$V_{C_{Kn}}$	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	50
	$V_{C_{Vn}}$	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	480
	FP_{C_V}	Fator de Potência da Carga Variável	0,9
	$V_{M_{Pn}}$	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	
	$I_{M_{Pn}}$	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	
	FP_{M_P}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	

V_{C_T}	Tensão na carga considerando a tensão definida da fonte	503,76
-----------------------------	---	--------

As condições acima estão resumidas na tabela a seguir:

Tensões nos QG1 e QG2 - Fonte: Grupo Diesel de Emergência				
Cargas				
Inicial		+Partida de	Final	
Constante (kVA)	Variáveis (kVA)	Motor (cv)	Constante (kVA)	Variáveis (kVA)
260,00	50,00	50	310,00	50,00
504,07		461,87	503,76	
210,00	50,00	100		
504,37		431,00		

Como as tensões nos QG1 e QG2 serão as mesmas que a do secundário dos transformadores de TSA1, TSA2 ou TSA3, e as tensões nos quadros, quando alimentados pelo grupo diesel, durante a partida dos motores de 50cv e 100cv serão 461,87V e 431,00V, respectivamente, e são superiores às tensões dos transformadores (419,47/427,83V e 409,29/417,57V), quando a tensão no primário é 12.834V, não será feita a análise do comportamento das cargas pela queda de tensão quando alimentadas pelo grupo diesel.

5.4.2.5. Quadros Gerais

Em função da escolha da derivação do enrolamento primário (tap 13800V), a tensão máxima possível no secundário será 504V. Portanto, como não haverá problema de sobretensão, os cálculos das quedas de tensão considerarão apenas os valores de tensão mais baixos no primário dos transformadores.

Quando as quedas de tensão, calculadas com os valores de resistência e reatância dos cabos e de acordo com os critérios de capacidade de condução de corrente, não tiverem sido as esperadas, as seções dos cabos foram aumentadas para melhorar os valores. As seções alteradas estão destacadas na cor azul.

Os cálculos foram feitos com auxílio da planilha PE.EL.SA.CA.04 (Alimentadores - Cálculo da Tensão na Carga).

Nos cálculos das tensões dos centros de cargas das unidades (CCU's), a tensão nos quadros gerais (QG1/QG2) foi considerada com o motor de 100cv partindo; nos cálculos das tensões no centro de cargas gerais (CCG), a tensão nos quadros gerais (QG1/QG2) foi considerada com o motor de 50cv partindo.

Para os cálculos das tensões nos centros de cargas da tomada d'água (CCTA), Vertedouro (CCVT) e subestação (CCSE), somente foi calculada a tensão em regime permanente.

O valor de tensão 429,94V nos quadros gerais (QG1/QG2), corresponde ao valor da tensão no secundário do transformador, quando a tensão no primário é 12.834V, para a carga máxima da usina, ou seja, uma carga constante de 650kVA e uma carga variável de 150kVA.

O valor de tensão 415,09V, nos quadros gerais (QG1/QG2), corresponde ao valor da tensão no secundário do transformador, quando a tensão no primário é 12.420V, para a carga máxima da usina, ou seja, uma carga constante de 650kVA e uma carga variável de 150kVA.

A seção dos alimentadores dos CCTA, CCVT e CCSE foi aumentada para manter as tensões nesses centros de cargas em valores aproximadamente iguais aos dos centros de cargas da casa de força.

Nas tabelas a seguir estão indicados os dados e resultados dos cálculos das quedas de tensão, desde os quadros gerais QG1/QG2 até os centros de cargas, considerando um ou dois transformadores alimentando toda a carga da usina, com tensão no primário com 12.834V e 12.420V.

Com um transformador alimentando toda a carga, com 12.834V no primário:

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.834V							
Quadro	l(m)	Seção (mm ²)	Carga Constante (kVA)	Carga Variável (kVA)	Maior Motor (cv)	Tensão no QG(V)	Tensão no CC (V)
CCU1	30	150	80	20		432,22	431,05
			80	20	100	409,29	401,54
			180	20		429,94	427,53
CCU2	50	2x95	80	20		432,22	430,84
			80	20	100	409,29	401,36
			180	20		429,94	427,11
CCU3	70	2x240	80	20		432,22	431,22
			80	20	100	409,29	401,58
			180	20		429,94	427,88
CCG	30	2x120	250	100		432,22	429,84
			250	100	50	409,29	405,09
			300	100		429,94	427,19
CCTA	80	95	20	20		Nota	Nota
			20	20	15	Nota	Nota
			35	20		429,94	427,58
CCVT	150	120	17,5	20		Nota	Nota
			17,5	20	7,5	Nota	Nota
			25	20		429,94	426,98
CCSE	150	70	5	20		Nota	Nota
			5	20	5	Nota	Nota
			10	20		429,94	427,02
Nota: valores não calculados							

Com dois transformadores alimentando toda a carga e 12.834V no primário:

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.834V							
	<i>l(m)</i>	<i>Seção (mm²)</i>	<i>Carga Constante (kVA)</i>	<i>Carga Variável (kVA)</i>	<i>Maior Motor (cv)</i>	<i>Tensão no QG(V)</i>	<i>Tensão no CC (V)</i>
CCU1	30	150	80	20		440,53	439,37
			80	20	100	417,57	409,70
			180	20		438,38	436,01
CCU2	50	2x95	80	20		440,53	439,17
			80	20	100	417,57	409,53
			180	20		438,38	435,59
CCU3	70	2x240	80	20		440,53	439,54
			80	20	100	417,57	409,74
			180	20		438,38	436,36
CCG	30	2x120	250	100		440,53	438,18
			250	100	50	417,57	413,36
			300	100		438,38	435,67
CCTA	80	95	20	20		Nota	Nota
			20	20	15	Nota	Nota
			35	20		438,38	436,04
CCVT	150	120	17,5	20		Nota	Nota
			17,5	20	7,5	Nota	Nota
			25	20		438,38	435,43
CCSE	150	70	5	20		Nota	Nota
			5	20	5	Nota	Nota
			10	20		438,38	435,45
Nota: valores não calculados							

Com um transformador alimentando toda a carga e 12.420V no primário:

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.420V							
ro	l(m)	Seção (mm ²)	Carga Constante (kVA)	Carga Variável (kVA)	Maior Motor (cv)	Tensão no QG(V)	Tensão no CC (V)
CCU1	30	150	80	20		417,46	416,26
			80	20	100	395,26	387,70
			180	20		415,09	412,61
CCU2	50	2x95	80	20		417,46	416,05
			80	20	100	395,26	387,52
			180	20		415,09	412,17
CCU3	70	2x240	80	20		417,46	416,44
			80	20	100	395,26	387,75
			180	20		415,09	412,97
CCG	30	2x120	250	100		417,46	415,04
			250	100	50	395,26	391,07
			300	100		415,09	412,29
CCTA	80	95	20	20		Nota	Nota
			20	20	15	Nota	Nota
			35	20		415,09	412,75
CCVT	150	120	17,5	20		Nota	Nota
			17,5	20	7,5	Nota	Nota
			25	20		415,09	413,11
CCSE	150	70	5	20		Nota	Nota
			5	20	5	Nota	Nota
			10	20		415,09	412,19
Nota: valores não calculados							

Com dois transformadores alimentando toda a carga e 12.420V no primário:

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.420V							
Quadro	l(m)	Seção (mm ²)	Carga Constante (kVA)	Carga Variável (kVA)	Maior Motor (cv)	Tensão no QG(V)	Tensão no CC (V)
CCU1	30	150	80	20		426,00	424,82
			80	20	100	403,79	396,11
			180	20		423,78	421,34
CCU2	50	2x95	80	20		426,00	424,61
			80	20	100	403,79	395,93
			180	20		423,78	420,91
CCU3	70	2x240	80	20		426,00	424,99
			80	20	100	403,79	396,16
			180	20		423,78	421,70
CCG	30	2x120	250	100		426,00	423,91
			250	100	50	403,79	399,60
			300	100		423,78	421,01
CCTA	80	95	20	20		Nota	Nota
			20	20	15	Nota	Nota
			35	20		423,78	421,41
CCVT	150	120	17,5	20		Nota	Nota
			17,5	20	7,5	Nota	Nota
			25	20		423,80	420,83
CCSE	150	70	5	20		Nota	Nota
			5	20	5	Nota	Nota
			10	20		423,78	420,87
Nota: valores não calculados							

Nota: Os valores das tensões nos centros de cargas CCTA, CCVT e CCSE somente foram calculados, para o regime permanente de operação, porque não foram feitos os correspondentes cálculos de queda de tensão nos transformadores para as condições de carga que deveriam ser consideradas. Entretanto, como os valores de tensão para o regime permanente, estão praticamente iguais aos centros de cargas da casa de força, que têm as cargas mais pesadas, não deverão ser encontrados problemas.

5.4.2.6. Centros de Cargas

Da mesma forma que nos quadros gerais, em função da escolha da derivação do enrolamento primário (tap 13800V), a tensão máxima possível no secundário será 504V. Portanto, os cálculos das quedas de tensão consideraram apenas os valores mais baixos de tensão nos quadros gerais (QG1/QG2), o que ocorre para as tensões primárias de 12.834V e 12.420V, com um único transformador alimentando toda a carga da instalação.

Quando as quedas de tensão calculadas com os valores de resistência e reatância dos cabos, calculados de acordo com os critérios de capacidade de condução de corrente não foram as esperadas, as seções dos cabos foram aumentadas para melhorar os valores. As seções alteradas estão destacadas na cor azul.

Os cálculos foram feitos com auxílio da planilha PE.EL.SA.CA.04 (Alimentadores - Cálculo da Tensão na Carga). Para os cálculos das tensões nas cargas, se considerou que 1hp=1cv=1kVA com fator de potência 0,85 para todas as cargas, exceto para os resistores de aquecimento dos geradores, onde foi considerado fator de potência igual a 1.

Nos cálculos das tensões dos centros de cargas das unidades (CCU's), a tensão nos quadros gerais (QG1/QG2) foi considerada com o motor de 100cv partindo e, nos cálculos das tensões no centro de cargas gerais (CCG), a tensão nos quadros gerais (QG1/QG2) foi considerada com o motor de 50cv partindo.

Para os cálculos das tensões nos centros de cargas da tomada d'água (CCTA), Vertedouro (CCVT) e subestação (CCSE), somente foi calculada a tensão em regime permanente.

Os valores de tensão nos centros de cargas (CC), para as alternativas consideradas, foram obtidos dos cálculos já efetuados para os quadros gerais.

Nas tabelas a seguir estão indicados os dados e resultados dos cálculos das quedas de tensão, desde os centros de cargas até as cargas, considerando um ou dois transformadores alimentando toda a carga da usina.

Com um transformador alimentando toda a carga e 12.834V no primário:

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.834V									
CARGAS DOS CCU'S	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/1TSA	
								CCU2	Carga
Bombas de Óleo do Regulador de Velocidade da Turbina	100 cv	MBORV	35	124	1054	155	70	401,36	391,00
								427,11	424,49
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador	10 cv	MBOMC	25	14	112	17,5	4	Nota 1	Nota 1
								427,11	424,32
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Guia da Turbina	7,5 cv	MBOGT	35	11	88	13,75	4	Nota 1	Nota 1
								427,11	424,18
Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora	15 cv	MBIME	25	21	168	26,25	6	Nota 1	Nota 1
								427,11	424,31
Bombas de Drenagem da Tampa da Turbina	3 cv	MBDTT	35	4,8	38,4	6	2,5	Nota 1	Nota 1
								427,11	424,94
Resistores de Aquecimento do Gerador	15 kW	RAG	25	18	-	20,7	6	427,11	424,58
Exaustor de Vapor de Óleo do Poço da Turbina	0,5 cv	MEVT	35	1,1	8,8	1,375	2,5	Nota 1	Nota 1
								427,11	426,80
Válvula da Água de Resfriamento da Unidade	1,5 cv	MVAR	35	3	24	3,75	2,5	Nota 1	Nota 1
								427,11	426,18
Cubículo de Excitação do Gerador	10 kVA	CEX	25	12	-	13,8	4	Nota 1	Nota 1
								427,11	424,32
Auxiliares do Transformador Elevador	30 kVA	ATE	50	40	320	50	25	427,11	424,29
Filtro Autolimpante de Água de Resfriamento	1,5 cv	FALR	35	3	24	3,75	2,5	Nota 1	Nota 1
								427,11	426,18

Nota 1 - Valores não calculados.

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.834V									
CARGAS DOS CCG	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/1TSA	
								CCG	Carga
Bombas de Drenagem	20 cv	MBDE	30	27	216	34	6	Nota 3	Nota 3
								427,19	422,69
Compressores de Ar de Regulação de Velocidade	30 cv	MCARV	30	40	320	50	10	Nota 3	Nota 3
								427,19	423,10
Sistema de Ventilação e Exaustão (1 conj.)	75 cv	MVE	50	96	Nota 1	120	50	427,19	423,43
Sistema de Ar Condicionado	30 cv	SAC	50	40	320	50	10	Nota 3	Nota 3
								427,19	420,32
Compressores de Ar de Serviço	15 cv	MCAS	30	21	168	26	4	Nota 3	Nota 3
								427,19	422,15
Sistema de Telecomunicações	10 kVA	TELE	50	12	-	14	6	427,19	423,45
Carregadores de Baterias	15 kVA	CBT	50	21	-	24	10	427,19	423,79
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIACF	80	12	-	14	10	427,19	423,56
Elevador de Pessoas	7,5 kVA	ELEV	50	11	88	14	4	Nota 3	Nota 3
								427,19	423,00
Auxiliares do Grupo Diesel de Emergência	1,5 kVA	AGDE	40	2	-	2	2,5	427,19	426,13

Nota 1- O sistema de ventilação e exaustão é composto por um conjunto de ventiladores e exaustores, totalizando 75cv.

Nota 2- O guindaste e o pórtico são acionados por um sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.

Nota 3- Valores não calculados.

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.834V									
CARGAS DOS CCG	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/1TSA	
								CCG	Carga
Bomba do Sistema de Levantamento do Rotor	3 cv	BSLR	80	4,8	38,4	6	2,5	Nota 3	Nota 3
								427,19	422,91
Bombas de Esgotamento	30 cv	MBEG	30	40	320	50	10	Nota 3	Nota 3
								427,19	423,10
Bombas de Combate a Incêndio	50 cv	MBI	30	65	520	81	25	405,09	396,38
								427,19	424,37
Ponte Rolante da Casa de Força	75 cv	PRCF	50	96	Nota 2	120	50	427,19	423,43
Tomadas de Força	30 kVA	TFCF	80	36	-	41	25	427,19	422,65
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Isolante	60 kVA	SMTOI	80	72	-	83	50	427,19	422,36
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Lubrificante	30 kVA	SMTOL	80	36	-	41	25	427,19	422,65
Pórtico Rolante de Jusante	15 kVA	PRJ	50	18	Nota 2	21	10	427,19	423,79

Nota 1- O sistema de ventilação e exaustão é composto por um conjunto de ventiladores e exaustores, totalizando 75cv.
 Nota 2- O guindaste e o pórtico são acionados por um sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.
 Nota 3- Valores não calculados.

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.834V									
CARGAS DOS CCTA	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/1TSA	
								CCTA	Carga
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIATA	20	12	-	14	4	427,58	425,36
Tomadas de Força	30 kVA	TFTA	80	36	-	41	25	427,58	398,83
Pórtico Rolante de Montante	20 cv	PRTA	50	27	Nota 1	31	10	427,58	423,04
Bombas da Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água	15 cv	MBCTA	20	21	168	26	4	Nota 2	Nota 2
								427,58	424,24

Nota 1- O pórtico rolante é acionado por sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.
 Nota 2- Valores não calculados

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.834V									
CARGAS DOS CCVT	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/1TSA	
								CCVT	Carga
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIAVT	20	12	-	14	4	426,98	424,75
Tomadas de Força	30 kVA	TFVT	50	36	-	41	25	426,98	424,16
Pórtico Rolante do Vertedouro	15 cv	PRVT	50	21	Nota 1	24	10	426,98	423,58
Bombas da Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro	7,5 cv	MBCVT	20	11	88	14	2,5	Nota 2	Nota 2
								426,98	424,32

Nota 1- O pórtico rolante é acionado por sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.
 Nota 2- Valores não calculados

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.834V									
CARGAS DOS CCSE	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/1TSA	
								CCSE	Carga
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIASE	20	12	-	14	6	427,07	425,58
Tomadas de Força	30 kVA	TFSE	50	36	-	41	25	427,02	424,25
Motores (Chaves Seccionadoras e Disjuntores de AT) (Nota 1)	5cv	MDJCH	80	7,6	60,8	10	6	Nota 1	Nota 1
								427,07	424,08

Nota 1- Valores não calculados
 Nota 2- Considerou-se que do conjunto de chaves seccionadoras e compressores dos disjuntores apenas opera um motor de cada vez.

Com dois transformadores alimentando toda a carga e 12.834V no primário:

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.834V									
CARGAS DOS CCU'S	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/2TSA	
								CCU2	Carga
Bombas de Óleo do Regulador de Velocidade da Turbina	100 cv	MBORV	35	124	1054	155	70	409,53	398,96
								435,59	433,02
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador	10 cv	MBOMC	25	14	112	17,5	4	Note 1	Note 1
								435,59	432,86
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Guia da Turbina	7,5 cv	MBOGT	35	11	88	13,75	4	Note 1	Note 1
								435,59	432,72
Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora	15 cv	MBIME	25	21	168	26,25	6	Note 1	Note 1
								435,59	432,85
Bombas de Drenagem da Tampa da Turbina	3 cv	MBDTT	35	4,8	38,4	6	2,5	Note 1	Note 1
								435,59	433,46
Resistores de Aquecimento do Gerador	15 kW	RAG	25	18	-	20,7	6	435,59	433,01
Exaustor de Vapor de Óleo do Poço da Turbina	0,5 cv	MEVT	35	1,1	8,8	1,375	2,5	Note 1	Note 1
								435,59	435,29
Válvula da Água de Resfriamento da Unidade	1,5 cv	MVAR	35	3	24	3,75	2,5	Note 1	Note 1
								435,59	434,68
Cubículo de Excitação do Gerador	10 kVA	CEX	25	12	-	13,8	4	Note 1	Note 1
								435,59	432,86
Auxiliares do Transformador Elevador	30 kVA	ATE	50	40	320	50	25	435,59	432,82
Filtro Autolimpante de Água de Resfriamento	1,5 cv	FALR	35	3	24	3,75	2,5	Note 1	Note 1
								435,59	434,68
Note 1 - Valores não calculados.									

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.834V									
CARGAS DOS CCG	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/2TSA	
								CCG	Carga
Bombas de Drenagem	20 cv	MBDE	30	27	216	34	6	Note 3	Note 3
								435,67	431,26
Compressores de Ar de Regulação de Velocidade	30 cv	MCARV	30	40	320	50	10	Note 3	Note 3
								435,67	431,66
Sistema de Ventilação e Exaustão (1 conj.)	75 cv	MVE	50	96	Note 1	120	50	435,67	431,98
Sistema de Ar Condicionado	30 cv	SAC	50	40	320	50	10	Note 3	Note 3
								435,67	428,94
Compressores de Ar de Serviço	15 cv	MCAS	30	21	168	26	4	Note 3	Note 3
								435,67	430,73
Sistema de Telecomunicações	10 kVA	TELE	50	12	-	14	6	435,67	432,00
Carregadores de Baterias	15 kVA	CBT	50	21	-	24	10	Note 3	Note 3
								435,67	432,34
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIACF	80	12	-	14	10	435,67	432,11
Elevador de Pessoas	7,5 kVA	ELEV	50	11	88	14	4	Note 3	Note 3
								435,67	431,56
Auxiliares do Grupo Diesel de Emergência	1,5 kVA	AGDE	40	2	-	2	2,5	435,67	434,63
Bomba do Sistema de Levantamento do Rotor	3 cv	BSLR	80	4,8	38,4	6	2,5	Note 3	Note 3
								435,67	431,48
Bombas de Esgotamento	30 cv	MBEG	30	40	320	50	10	Note 3	Note 3
								435,67	431,66
Bombas de Combate a Incêndio	50 cv	MBI	30	65	520	81	25	413,36	404,47
								435,67	432,90
Ponte Rolante da Casa de Força	75 cv	PRCF	50	96	Note 2	120	50	435,67	431,98
Note 1- O sistema de ventilação e exaustão é composto por um conjunto de ventiladores e exaustores, totalizando 75cv.									
Note 2- O guindaste e o pórtico são acionados por um sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.									
Note 3- Valores não calculados.									

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.834V									
CARGAS DOS CCG	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/2TSA	
								CCG	Carga
Tomadas de Força	30 kVA	TFCF	80	36	-	41	25	435,67	431,23
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Isolante	60 kVA	SMTOI	80	72	-	83	50	435,67	430,94
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Lubrificante	30 kVA	SMTOL	80	36	-	41	25	435,67	431,23
Pórtico Rolante de Jusante	15 kVA	PRJ	50	18	Note 2	21	10	435,67	432,34

Note 1- O sistema de ventilação e exaustão é composto por um conjunto de ventiladores e exaustores, totalizando 75cv.
 Note 2- O guindaste e o pórtico são acionados por um sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.
 Note 3- Valores não calculados.

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.834V									
CARGAS DOS CCTA	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/2TSA	
								CCTA	Carga
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIATA	20	12	-	14	4	436,04	433,86
Tomadas de Força	30 kVA	TFTA	80	36	-	41	25	436,04	407,94
Pórtico Rolante de Montante	20 cv	PRTA	50	27	Note 1	31	10	436,04	431,59
Bombas da Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água	15 cv	MBCTA	20	21	168	26	4	Note 2 436,04	Note 2 432,76

Note 1- O pórtico rolante é acionado por sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.
 Note 2- Valores não calculados

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.834V									
CARGAS DOS CCVT	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/2TSA	
								CCVT	Carga
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIAVT	20	12	-	14	4	435,43	433,25
Tomadas de Força	30 kVA	TFVT	50	36	-	41	25	435,43	432,66
Pórtico Rolante do Vertedouro	15 cv	PRVT	50	21	Note 1	24	10	435,43	432,10
Bombas da Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro	7,5 cv	MBCVT	20	11	88	14	2,5	Note 2 435,43	Note 2 432,82

Note 1- O pórtico rolante é acionado por sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.
 Note 2- Valores não calculados

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.834V									
CARGAS DOS CCSE	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/2TSA	
								CCSE	Carga
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIASE	20	12	-	14	6	435,45	433,99
Tomadas de Força	30 kVA	TFSE	50	36	-	41	25	435,45	432,68
Motores (Chaves Seccionadoras e Disjuntores de AT) (Note 1)	5cv	MDJCH	80	7,6	60,8	10	6	Note 1 435,45	Note 1 432,52

Note 1- Valores não calculados
 Note 2- Considerou-se que do conjunto de chaves seccionadoras e compressores dos disjuntores apenas opera um motor de cada vez.

Com um transformador alimentando toda a carga e 12.420V no primário:

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.420V									
CARGAS DOS CCU'S	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/1TSA	
								CCU2	Carga
Bombas de Óleo do Regulador de Velocidade da Turbina	100 cv	MBORV	35	124	1054	155	70	387,52	377,52
								412,17	409,46
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador	10 cv	MBOMC	25	14	112	17,5	4	Note 1	Note 1
								412,17	409,28
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Guia da Turbina	7,5 cv	MBOGT	35	11	88	13,75	4	Note 1	Note 1
								412,17	409,14
Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora	15 cv	MBIME	25	21	168	26,25	6	Note 1	Note 1
								412,17	409,27
Bombas de Drenagem da Tampa da Turbina	3 cv	MBDTT	35	4,8	38,4	6	2,5	Note 1	Note 1
								412,17	409,92
Resistores de Aquecimento do Gerador	15 kW	RAG	25	18	-	20,7	6	412,17	409,73
Exaustor de Vapor de Óleo do Poço da Turbina	0,5 cv	MEVT	35	1,1	8,8	1,375	2,5	Note 1	Note 1
								412,17	411,85
Válvula da Água de Resfriamento da Unidade	1,5 cv	MVAR	35	3	24	3,75	2,5	Note 1	Note 1
								412,17	411,21
Cubículo de Excitação do Gerador	10 kVA	CEX	25	12	-	13,8	4	Note 1	Note 1
								412,17	409,28
Auxiliares do Transformador Elevador	30 kVA	ATE	50	40	320	50	25	412,17	409,24
Filtro Autolimpante de Água de Resfriamento	1,5 cv	FALR	35	3	24	3,75	2,5	Note 1	Note 1
								412,17	411,21

Note 1 - Valores não calculados.

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.420V									
CARGAS DOS CCG	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/1TSA	
								CCG	Carga
Bombas de Drenagem	20 cv	MBDE	30	27	216	34	6	Note 3	Note 3
								412,29	407,62
Compressores de Ar de Regulação de Velocidade	30 cv	MCARV	30	40	320	50	10	Note 3	Note 3
								412,29	408,05
Sistema de Ventilação e Exaustão (1 conj.)	75 cv	MVE	50	96	Note 1	120	50	412,29	408,39
Sistema de Ar Condicionado	30 cv	SAC	50	40	320	50	10	Note 3	Note 3
								412,29	405,17
Compressores de Ar de Serviço	15 cv	MCAS	30	21	168	26	4	Note 3	Note 3
								412,29	407,06
Sistema de Telecomunicações	10 kVA	TELE	50	12	-	14	6	412,29	408,41
Carregadores de Baterias	15 kVA	CBT	50	21	-	24	10	412,29	408,76
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIACF	80	12	-	14	10	412,29	408,53
Elevador de Pessoas	7,5 kVA	ELEV	50	11	88	14	4	Note 3	Note 3
								412,29	407,94
Auxiliares do Grupo Diesel de Emergência	1,5 kVA	AGDE	40	2	-	2	2,5	412,29	411,19
Bomba do Sistema de Levantamento do Rotor	3 cv	BSLR	80	4,8	38,4	6	2,5	Note 3	Note 3
								412,29	407,85
Bombas de Esgotamento	30 cv	MBEG	30	40	320	50	10	Note 3	Note 3
								412,29	408,05
Bombas de Combate a Incêndio	50 cv	MBI	30	65	520	81	25	400,88	392,26
								412,29	409,36
Ponte Rolante da Casa de Força	75 cv	PRCF	50	96	Note 2	120	50	412,29	408,39

Note 1- O sistema de ventilação e exaustão é composto por um conjunto de ventiladores e exaustores, totalizando 75cv.
 Note 2- O guindaste e o pórtico são acionados por um sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.
 Note 3- Valores não calculados.

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.420V									
CARGAS DOS CCG	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/1TSA	
								CCG	Carga
Tomadas de Força	30 kVA	TFCF	80	36	-	41	25	412,29	407,59
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Isolante	60 kVA	SMTOI	80	72	-	83	50	412,29	407,28
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Lubrificante	30 kVA	SMTOL	80	36	-	41	25	412,29	407,59
Pórtico Rolante de Jusante	15 kVA	PRJ	50	18	Note 2	21	10	412,29	408,76

Note 1- O sistema de ventilação e exaustão é composto por um conjunto de ventiladores e exaustores, totalizando 75cv.
 Note 2- O guindaste e o pórtico são acionados por um sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.
 Note 3- Valores não calculados.

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.420V									
CARGAS DOS CCTA	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/1TSA	
								CCTA	Carga
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIATA	20	12	-	14	4	412,75	410,45
Tomadas de Força	30 kVA	TFTA	80	36	-	41	25	412,75	382,76
Pórtico Rolante de Montante	20 cv	PRTA	50	27	Note 1	31	10	412,75	408,04
Bombas da Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água	15 cv	MBCTA	20	21	168	26	4	Note 2	Note 2
								412,75	409,28

Note 1- O pórtico rolante é acionado por sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.
 Note 2- Valores não calculados

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.420V									
CARGAS DOS CCVT	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/1TSA	
								CCVT	Carga
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIAVT	20	12	-	14	4	413,11	410,81
Tomadas de Força	30 kVA	TFVT	50	36	-	41	25	413,11	410,19
Pórtico Rolante do Vertedouro	15 cv	PRVT	50	21	Note 1	24	10	413,11	409,59
Bombas da Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro	7,5 cv	MBCVT	20	11	88	14	2,5	Note 2	Note 2
								413,11	410,36

Note 1- O pórtico rolante é acionado por sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.
 Note 2- Valores não calculados

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.420V									
CARGAS DOS CCSE	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/1TSA	
								CCSE	Carga
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIASE	20	12	-	14	6	412,19	410,65
Tomadas de Força	30 kVA	TFSE	50	36	-	41	25	412,19	409,26
Motores (Chaves Seccionadoras e Disjuntores de AT) (Note 1)	5cv	MDJCH	80	7,6	60,8	10	6	Note 1	Note 1
								412,19	409,09

Note 1- Valores não calculados
 Note 2- Considerou-se que do conjunto de chaves seccionadoras e compressores dos disjuntores apenas opera um motor de cada vez.

Com dois transformadores alimentando toda a carga e 12.420V no primário:

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.420V									
CARGAS DOS CCU'S	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/1TSA	
								CCU2	Carga
Bombas de Óleo do Regulador de Velocidade da Turbina	100 cv	MBORV	35	124	1054	155	70	395,93	385,71
								420,91	418,25
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador	10 cv	MBOMC	25	14	112	17,5	4	Nota 1	Nota 1
								420,91	418,08
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Guia da Turbina	7,5 cv	MBOGT	35	11	88	13,75	4	Nota 1	Nota 1
								420,91	417,94
Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora	15 cv	MBIME	25	21	168	26,25	6	Nota 1	Nota 1
								420,91	418,07
Bombas de Drenagem da Tampa da Turbina	3 cv	MBDTT	35	4,8	38,4	6	2,5	Nota 1	Nota 1
								420,91	418,70
Resistores de Aquecimento do Gerador	15 kW	RAG	25	18	-	20,7	6	420,91	418,41
Exaustor de Vapor de Óleo do Poço da Turbina	0,5 cv	MEVT	35	1,1	8,8	1,375	2,5	Nota 1	Nota 1
								420,91	420,60
Válvula da Água de Resfriamento da Unidade	1,5 cv	MVAR	35	3	24	3,75	2,5	Nota 1	Nota 1
								420,91	419,97
Cubículo de Excitação do Gerador	10 kVA	CEX	25	12	-	13,8	4	Nota 1	Nota 1
								420,91	418,08
Auxiliares do Transformador Elevador	30 kVA	ATE	50	40	320	50	25	420,91	418,05
Filtro Autolimpante de Água de Resfriamento	1,5 cv	FALR	35	3	24	3,75	2,5	Nota 1	Nota 1
								420,91	419,97

Nota 1 - Valores não calculados.

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.420V									
CARGAS DOS CCG	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/2TSA	
								CCG	Carga
Bombas de Drenagem	20 cv	MBDE	30	27	216	34	6	Note 3	Note 3
								421,01	416,44
Compressores de Ar de Regulação de Velocidade	30 cv	MCARV	30	40	320	50	10	Note 3	Note 3
								421,01	416,86
Sistema de Ventilação e Exaustão (1 conj.)	75 cv	MVE	50	96	Note 1	120	50	421,01	417,19
Sistema de Ar Condicionado	30 cv	SAC	50	40	320	50	10	Note 3	Note 3
								421,01	414,04
Compressores de Ar de Serviço	15 cv	MCAS	30	21	168	26	4	Note 3	Note 3
								421,01	415,89
Sistema de Telecomunicações	10 kVA	TELE	50	12	-	14	6	421,01	417,21
Carregadores de Baterias	15 kVA	CBT	50	21	-	24	10	421,01	417,56
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIACF	80	12	-	14	10	421,01	417,33
Elevador de Pessoas	7,5 kVA	ELEV	50	11	88	14	4	Note 3	Note 3
								421,01	416,75
Auxiliares do Grupo Diesel de Emergência	1,5 kVA	AGDE	40	2	-	2	2,5	421,01	419,93
Bomba do Sistema de Levantamento do Rotor	3 cv	BSLR	80	4,8	38,4	6	2,5	Note 3	Note 3
								421,01	416,67
Bombas de Esgotamento	30 cv	MBEG	30	40	320	50	10	Note 3	Note 3
								421,01	416,86
Bombas de Combate a Incêndio	50 cv	MBI	30	65	520	81	25	399,60	391,01
								421,01	418,15
Ponte Rolante da Casa de Força	75 cv	PRCF	50	96	Note 2	120	50	421,01	417,19

Note 1- O sistema de ventilação e exaustão é composto por um conjunto de ventiladores e exaustores, totalizando 75cv.

Note 2- O guindaste e o pórtico são acionados por um sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.

Note 3- Valores não calculados

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.420V									
CARGAS DOS CCG	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/2TSA	
								CCG	Carga
Tomadas de Força	30 kVA	TFCF	80	36	-	41	25	421,01	416,41
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Isolante	60 kVA	SMTOI	80	72	-	83	50	421,01	416,11
Sistema Móvel de Tratamento de Óleo Lubrificante	30 kVA	SMTOL	80	36	-	41	25	421,01	416,41
Pórtico Rolante de Jusante	15 kVA	PRJ	50	18	Note 2	21	10	421,01	417,56
Note 1- O sistema de ventilação e exaustão é composto por um conjunto de ventiladores e exaustores, totalizando 75cv.									
Note 2- O guindaste e o pórtico são acionados por um sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.									
Note 3- Valores não calculados									

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.420V									
CARGAS DOS CCTA	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/2TSA	
								CCTA	Carga
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIATA	20	12	-	14	4	421,41	419,15
Tomadas de Força	30 kVA	TFTA	80	36	-	41	25	421,41	392,16
Pórtico Rolante de Montante	20 cv	PRTA	50	27	Note 1	31	10	421,41	416,80
Bombas da Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água	15 cv	MBCTA	20	21	168	26	4	Note 2	Note 2
								421,41	418,02
Note 1- O pórtico rolante é acionado por sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.									
Note 2- Valores não calculados									

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.420V									
CARGAS DOS CCVT	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/2TSA	
								CCVT	Carga
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIAVT	20	12	-	14	4	420,83	418,57
Tomadas de Força	30 kVA	TFVT	50	36	-	41	25	420,83	417,96
Pórtico Rolante do Vertedouro	15 cv	PRVT	50	21	Note 1	24	10	420,83	417,38
Bombas da Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro	7,5 cv	MBCVT	20	11	88	14	2,5	Note 2	Note 2
								420,83	418,13
Note 1- O pórtico rolante é acionado por sistema de controle de velocidade. Portanto, não tem corrente de partida.									
Note 2- Valores não calculados									

Valores para Tensão no Primário do Transformador 12.420V									
CARGAS DOS CCSE	Potência	TAG	l(m)	In (A)	Ip (A)	Icabo (A)	S (mm2)	Tensões c/2TSA	
								CCSE	Carga
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIASE	20	12	-	14	6	420,87	419,36
Tomadas de Força	30 kVA	TFSE	50	36	-	41	25	420,87	418,01
Motores (Chaves Seccionadoras e Disjuntores de AT) (Note 1)	5cv	MDJCH	80	7,6	60,8	10	6	Note 1	Note 1
								420,87	417,84
Note 1- Valores não calculados									
Note 2- Considerou-se que do conjunto de chaves seccionadoras e compressores dos disjuntores apenas opera um motor de cada vez.									

5.4.2.7. Avaliação dos Resultados

Pelos valores de tensão calculados, se verifica que a menor tensão nos motores de 100cv, durante a partida, será de:

- 391,00V nos motores alimentados pelo CCU2, quando um único transformador de serviços auxiliares estiver alimentando toda a carga da usina, e quando a tensão primária do transformador estiver com o valor mínimo da tensão adequada (12,834V).
- 385,71V, nos motores alimentados pelo CCU2, quando dois transformadores de serviços auxiliares estiverem alimentando toda a carga da usina, e quando a tensão primária do transformador estiver com o valor mínimo da tensão precária (12,420V).
- 377,52V nos motores alimentados pelo CCU2, quando um único transformador de serviços auxiliares estiver alimentando toda a carga da usina, e quando a tensão primária do transformador estiver com o valor mínimo da tensão precária (12,420V).

Portanto, se conclui que, para a faixa de tensão adequada, as tensões mínimas serão atendidas, mesmo quando um único transformador estiver alimentando toda a carga da usina. Para o caso de um único transformador alimentar toda a carga da usina, com o valor mínimo da tensão precária no primário, poderão ocorrer problemas transitórios durante a partida dos motores de 100cv e, para os motores de 50cv do Centro de Carga Geral, tensão mínima nos motores durante a partida será 392,26V.

Os valores acima citados foram obtidos considerando a utilização da derivação do enrolamento primário do transformador, correspondente à tensão nominal, ou seja, 13.800V.

5.4.2.8. Alternativas Aplicáveis

Como alternativa aos cálculos efetuados neste informativo, o profissional pode adotar outros critérios de para definir os equipamentos e componentes como, por exemplo, escolher outra derivação do enrolamento primário do transformador de serviços auxiliares, utilizar outra derivação do enrolamento secundário do transformador elevador ou definir outra tensão máxima do sistema, considerando que a carga da usina nunca será nula etc.

Neste item será feita uma breve avaliação da viabilidade de uma alternativa diferente da utilizada neste informativo.

Na aplicação desenvolvida neste informativo se podia antever, para caso de tensão precária mínima no primário do transformador, que nos terminais do secundário do transformador de serviços auxiliares, as tensões mínimas dos equipamentos não seriam atendidas para todas as condições de carga. Por exemplo, com a tensão de 12.420V no primário do transformador, com um único transformador alimentando a carga máxima da usina e partida do maior motor (100cv), a tensão no secundário será 395,26V, ou seja, para que a tensão mínima de partida do motor (391V) seja atendida, a queda de tensão total, desde o transformador até o motor, deve ser de 4,26V.

Com os cálculos efetuados, a tensão no motor de 100cv, na partida, será 377,52V com uma queda de tensão total de 17,74V, ou seja, 82% da tensão nominal do motor em vez de 85%. Com a tensão de 377,52V o motor partirá, principalmente por se tratar do motor de uma bomba. Entretanto, não será cumprida a exigência da tensão mínima.

Aproveitando a estimativa rápida que foi feita, se verificou que, para atender o valor da tensão mínima durante a partida do motor de 100cv, a tensão no secundário do transformador deveria ser 409,87V, em vez dos 395,26V calculados para o transformador de 1000kVA, com a tensão de 12.420V no primário.

Considerando as mesmas condições, a tensão nos terminais do secundário de um transformador de 1500kVA, com impedância de 6%, será 407,39V.

DADOS DO SISTEMA			
Transformador	V_{Pn}	Tensão Primária Nominal do Transformador (kV)	13,8
	V_{Sn}	Tensão Secundária Nominal do Transformador (V)	480
	P_{TFn}	Potência Nominal do Transformador (kVA)	1500
	Z_n	Impedância Nominal do Transformador (%)	6
	R_n	Resistência Nominal do Transformador (%)	1
	V_P	Tensão no Primário do Transformador (kV)	12,42
	k	Tensão da Derivação Utilizada do Primário (pu)	1
Dados das Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	550
	$V_{C_{Kn}}$	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	150
	$V_{C_{Vn}}$	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	480
	FP_{C_V}	Fator de Potência da Carga Variável	0,9
	$V_{M_{pn}}$	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
	$I_{M_{pn}}$	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
	FP_{M_p}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

V_{T_s}	Tensão nos terminais do secundário do transformador (V)	407,39
-----------	---	--------

Como o valor está bem próximo do necessário, faremos uma alteração nas seções dos alimentadores envolvidos, para compensar essa diferença de tensão.

Fazendo os cálculos para compensar essa queda de tensão nos cabos alimentadores dos motores e, recalculando a tensão no CCU2, que é o centro de cargas com menor tensão, para o alimentador com os mesmos 2 cabos por fase de 95mm², encontraremos a tensão de 399,49V:

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	I	Comprimento do Circuito (km)	0,05
	R_a	Resistência do Cabo (Ω/km)	0,231
	X_a	Reatância do Cabo (Ω/km)	0,096
	n	Número de Cabos por Fase	2
	V_F	Tensão na Fonte (V)	407,39
Dados das Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	80
	$V_{C_{Kn}}$	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	460
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	0,85
	$P_{C_{Vn}}$	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	20
	$V_{C_{Vn}}$	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	480
	FP_{C_V}	Fator de Potência da Carga Variável	0,9
	$V_{M_{pn}}$	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
	$I_{M_{pn}}$	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
	FP_{M_p}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

V_{C_T}	Tensão na carga considerando a tensão definida da fonte	399,49
-----------	---	--------

Alterando a seção do cabo alimentador do motor, de 70mm² para 120mm², a tensão nos terminais do motor, durante a partida será 391,45V.

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	I	Comprimento do Circuito (km)	0,035
	R_a	Resistência do Cabo (Ω /km)	0,183
	X_a	Reatância do Cabo (Ω /km)	0,096
	n	Número de Cabos por Fase	1
	V_F	Tensão na Fonte (V)	399,49
Dados das Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	
	$V_{C_{Kn}}$	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	
	$P_{C_{Vn}}$	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
	$V_{C_{Vn}}$	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
	FP_{C_V}	Fator de Potência da Carga Variável	
	$V_{M_{Pn}}$	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
	$I_{M_{Pn}}$	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
	FP_{M_P}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3

V_{CT}	Tensão na carga considerando a tensão definida da fonte	391,45
----------	---	--------

Esta alternativa pode ser avaliada, pois é exequível e os custos não seriam muito altos. Entretanto, os cálculos devem ser refeitos e deve ser feita a avaliação da necessidade de sua implementação.

5.4.2.9. Conclusão

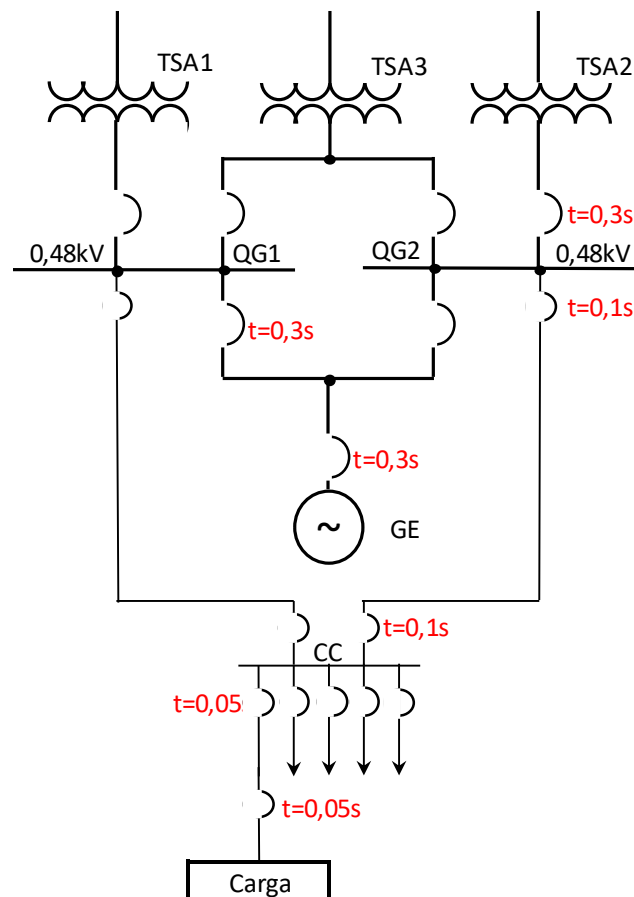
Como se pode verificar, existem muitas soluções para solucionar os eventuais problemas na definição dos sistemas auxiliares elétricos de uma usina hidrelétrica. Entretanto, para se definir a mais adequada é necessário estar de posse de mais informações dos sistemas, tais como tensões da subestação de alta tensão, transformadores elevadores, critérios de operação das instalações etc.

Se forem consideradas as piores condições, como tensão mínima da subestação de alta tensão, pouca energia sendo fornecida pelos geradores, a apenas um único transformador alimentando as instalações com carga máxima etc., a única solução poderá ser a recomendação de utilizar transformadores de serviços auxiliares, equipados com comutador automático de tensão para transformadores secos, cujo custo é muito elevado, além de ocupar espaços e necessitar manutenção especializada.

Na definição da solução adotada se devem levar em consideração as eventuais restrições ou limitações de operação, definindo as soluções para eventuais problemas que podem surgir.

5.4.3 - Curto Circuito

Para dimensionar os circuitos em função das correntes de curto circuito serão considerados os tempos de atuação das proteções indicados na figura a seguir:



Os tempos de atuação dos dispositivos de proteção de um mesmo circuito são os mesmos. Por exemplo, se ocorrer um defeito na carga, os dois disjuntores, da carga e da saída do centro de cargas (CC) abrirão; se ocorrer um defeito no alimentador do quadro da carga, somente o disjuntor de saída do centro de cargas (CC) abrirá. As proteções de saída dos QG's e entrada dos centros de cargas (CC) operarão do mesmo modo.

A escolha de cabos será feita de acordo como os critérios definidos no informativo TE.EL.SA.CA.05 Alimentadores – Critérios para Dimensionamento e planilha PL.EL.SA.CA.06 Alimentadores – Critérios para Dimensionamento.

5.4.3.1. Grupo Diesel Gerador de Emergência

Calculando a corrente de curto circuito do alternador, com base na reatância subtransitória de 8,41%, temos:

$$I_{cc} = \frac{605}{0,0841 \times 0,480 \sqrt{3}}$$

$$I_{cc} = 8.652,8A$$

Considerando o tempo de atuação da proteção do disjuntor da alternador 0,3s a seção mínima do condutor será:

$$S \geq \frac{I_{cc}}{k_{\theta}} \sqrt{t}$$

$$S \geq \frac{8652,8}{143} \sqrt{0,3}$$

$$S \geq 33,1mm^2 = 35mm^2$$

Esta seção é menor que a calculada pela condução de corrente (2x120mm²).

5.4.3.2. Quadros Gerais

Em função da fonte de alimentação, a potência de curto circuito pode ser 16,7 ou 16,4MVA, que correspondem às correntes de 20.1kA e 19,7kA.

Considerando a maior corrente, a seção mínima dos cabos alimentadores dos centros de carga, para o tempo de atuação da proteção de 0,1s deverá ser:

$$S \geq \frac{20.100}{143} \sqrt{0,1}$$

$$S \geq 44,5 \text{ mm}^2 = 50 \text{ mm}^2$$

Como esta seção é inferior às seções dos alimentadores dos centros de cargas das unidades e gerais (CCU1, CCU2, CCU3 e CCG), calculados pelo critério de condução de corrente e queda de tensão, se passará a verificação dos alimentadores dos centros de cargas da tomada d'água (CCTA), vertedouro (CCVT) e subestação (CCSE).

Pelo critério de comprimento mínimo de cabo protegido se verifica que, conforme tabela a seguir, para alimentadores com mais de 38m de comprimento e tempo máximo de atuação da proteção de 0,1s, qualquer seção de condutor atende ao critério de proteção pelo curto circuito. Portanto, os alimentadores do centro de cargas da tomada d'água (CCTA) que tem 80m, o centro de cargas do vertedouro (CCVT) que tem 150m e o centro de cargas da subestação (CCSE) que tem 150m, atendem os critérios do comprimento mínimo de cabo protegido.

CABOS COM ISOLAMENTO EM EPR/XLPE						
Tensão Nominal do Sistema (Vn)				480	V	
Fator de Tensão Máxima (f)				110	%	
Comprimento do Cabo Protegido (m)						
Dados dos Cabos			Tempo de Interrupção do Defeito (s)			
S (mm ²)	R ₉₀	X _{60Hz}	0,05	0,10	0,3	0,5
2,5	8,794	0,096	27	38	66	85
4	5,496	0,096	27	38	66	85
6	3,664	0,096	27	38	66	85
10	2,198	0,096	27	38	66	85
16	1,374	0,096	27	38	66	85
25	0,879	0,096	27	38	66	85
35	0,628	0,096	27	38	65	84
50	0,440	0,096	26	37	65	83
70	0,314	0,096	26	36	63	82
95	0,231	0,096	25	35	61	79
120	0,183	0,096	24	34	58	76
150	0,147	0,096	23	32	55	71
185	0,119	0,096	21	30	51	66
240	0,092	0,096	19	26	46	59

Em função do exposto, as seções da tabela a seguir, calculadas pelo critério de condução de corrente e queda de tensão, também atendem aos critérios de curto circuito.

Quadro	CCU1	CCU2	CCU3	CCG	CCTA	CCVT	CCSE
l(m)	30	50	70	30	80	150	150
Seção (mm²)	150	2x95	2x240	2x120	95	120	70

5.4.3.3. Centros de Cargas

Foi considerado que todas as cargas alimentadas pelos Centros de Cargas (CC) possuem um painel de comando e controle local, porque os centros de cargas não estão equipados com esses dispositivos de acionamento.

Considerando que o tempo de atuação da proteção, dos dispositivos das saídas dos centros de carga e quadros de comando e controle locais, é de 0,05s, todos os alimentadores com mais de 26m de comprimento, qualquer que seja a seção nominal, estão protegidos, para qualquer potência de curto circuito da fonte. Desta forma, somente é necessário fazer a verificação dos alimentadores com um comprimento menor a 26m. Nesta condição

encontram-se os circuitos a seguir relacionados, cujas seções indicadas na cor azul já atendem os critérios de condução de corrente e queda de tensão:

CARGAS DOS CCU'S	Potência	TAG	l(m)	S (mm²)
Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador	10 cv	MBOMC	25	4
Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora	15 cv	MBIME	25	6
Resistores de Aquecimento do Gerador	15 kW	RAG	25	6
Cubículo de Excitação do Gerador	10 kVA	CEX	25	4

CARGAS DOS CCTA	Potência	TAG	l(m)	S (mm²)
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIATA	20	4
Bombas da Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água	15 cv	MBCTA	20	4

CARGAS DOS CCVT	Potência	TAG	l(m)	S (mm²)
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIAVT	20	4
Bombas da Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro	7,5 cv	MBCVT	20	2,5

CARGAS DOS CCSE	Potência	TAG	l(m)	S (mm²)
Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIASE	20	6

As potências de curto circuito, em cada um dos centros de carga, estão indicadas na tabela a seguir, calculadas com auxílio da planilha PL.EL.SA.CA.06, cuja aplicação se indica apenas para o Centro de Cargas da Unidade 1 (CCU1), que tem a maior potência de curto circuito:

CABOS COM ISOLAMENTO EM EPR/XLPE				
Potência de Curto Circuito da Fonte (Pcc)		16,7	MVA	
Tensão Nominal do Sistema (Vn)		480	V	
Fator de Tensão Máxima (f)		110	%	
Comprimento do Alimentador		30	m	
Dados dos Cabos			Corrente de Curto Circuito (KA)	Tempo Máximo de Atuação da Proteção (s)
S	R₉₀	X_{60Hz}		
120	0,183	0,096	17,36	0,98

A corrente de curto circuito no CCU1 será 17,36kA que corresponde a uma potência de curto circuito de:

$$P_{CC} = \sqrt{3} \times 0,48 \times 17,36 = 14,43 \text{ MVA}$$

Quadro	P_{cc} na Fonte (MVA)	Comprimento do Alimentador (m)	Secção do Cabo (mm²)	I_{cc} (kA)	P_{cc} no CC (MVA)
CCU1	16,7	30	120	17,36	14,43
CCTA	16,7	80	25	4,14	3,44
CCVT	16,7	150	16	1,47	1,22
CCSE	16,7	150	10	1,47	1,22

Com a potência de curto circuito no centro de carga, se pode calcular a corrente de curto circuito no final do cabo do circuito da carga e o tempo máxima de atuação da proteção que

garante a proteção cabo alimentador. Esse cálculo se fará com o auxílio da planilha PL.EL.SA.CA.06, apenas para as cargas dos circuitos do Centro de Cargas da Unidade 1 (CCU1):

CABLES CON AISLAMIENTO EN EPR/XLPE				
Potencia de Corto Circuito de la Fuente (Pcc)		14,43	MVA	
Tensión Nominal del Sistema (Vn)		480	V	
Factor de Tensión Máxima (f)		110	%	
Longitud del Alimentaodr		25	m	
Datos de los Cables			Corriente de Corto Circuito (KA)	Tiempo Máximo de Actuación de la Protección (s)
S	R 90	X 60Hz		
4	5,496	0,096	2,20	0,07
6	3,664	0,096	3,26	0,07

Quadro	P _{cc} no CC (MVA)	Carga	Potência	TAG	l(m)	s (mm2)	I _{cc} na Carga (kA)	Tempo Máximo da Proteção (s)
CCU	14,43	Bombas de Circulação de Óleo do Mancal Combinado do Gerador	10 cv	MBOMC	25	4	2,20	0,07
		Bombas de Injeção de Óleo do Mancal de Escora	15 cv	MBIME	25	6	3,26	0,07
		Resistores de Aquecimento do Gerador	15 kW	RAG	25	6	3,26	0,07
		Cubículo de Excitação do Gerador	10 kVA	CEX	25	4	2,20	0,07
CCTA	3,44	Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIATA	20	4	1,98	0,08
		Bombas da Central Hidráulica das Comportas da Tomada d'Água	15 cv	MBCTA	20	4	1,98	0,08
CCTV	1,22	Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIAVT	20	4	1,29	0,20
		Bombas da Central Hidráulica das Comportas do Vertedouro	7,5 cv	MBCVT	20	2,5	1,05	0,12
CCSE	1,22	Transformadores de Iluminação e Aquecimento	10 kVA	TIASE	20	6	1,44	0,36

Portanto, os cabos selecionados pelo critério de condução de corrente, e alterados e/ou confirmados pelo critério de queda de tensão, atendem os critérios de curto circuito.

6 - AVALIAÇÕES RELEVANTES

Como vimos existem muitos recursos para realizar os cálculos dos componentes dos sistemas, alguns são mais precisos que os outros, mas sempre será possível aumentar essa precisão. Como exemplo dessa aproximação podemos citar que, na planilha do cálculo da queda de tensão nos transformadores, conforme consta no informativo teórico que é a origem da planilha, na impedância do transformador $Z = R + jX$, o valor da resistência foi considerado como sendo 1% e a impedância, especificada do transformador, como o valor de Z. O valor da reatância X ou impedância Z é obtido dessa relação. Portanto, o cálculo utilizando a planilha também é uma aproximação.

Os valores das resistências e reatâncias dos cabos também dependem de muitas variáveis e os seus valores são difíceis de serem obtidos com precisão. As condições de instalação, fatores de agrupamento, temperaturas reais de operação dos cabos em função das cargas, temperatura ambiente e outras variáveis dificultam a definição dos valores.

As cargas por sua vez também são informações que dependem de avaliações. Por exemplo, uma bomba é dimensionada para atender a condição extrema de operação, com rendimento estimado e com um fator de projeto ou segurança. O motor também é selecionado com um rendimento estimado, com potência dentro dos valores padronizados e às vezes com fator de serviço que não é considerado. Portanto, em função das condições reais de operação, os motores operam com cargas inferiores às que são consideradas no projeto e dimensionamento dos circuitos.

Cada profissional tem suas experiências e preferências e, com base nelas e exigências do seu cliente, deve desenvolver o projeto. Os informativos técnicos e planilhas de cálculo são as ferramentas que facilitam e agilizam a realização dos estudos das alternativas.

7 - APLICAÇÃO DE CÁLCULOS APROXIMADOS

Neste item serão abordados alguns conceitos do livro Industrial Power Systems Handbook, de Donald Beeman, que é uma referência para os profissionais da área de engenharia elétrica, principalmente quando não existiam os recursos de informática que hoje estão disponíveis.

7.1 - Análise dos Cálculos Aproximados

Para efetuar cálculos aproximados existem tabelas, gráficos, fórmulas etc. que fornecem as informações necessárias. Uma dessas ferramentas, largamente utilizada é a fórmula:

$$\Delta V = \sqrt{3} I(R\cos\varphi + X\sin\varphi)$$

Onde:

ΔV Queda de tensão (V)

I Corrente da carga (A)

R Resistência do alimentador (Ω)

X Reatância do alimentador (Ω)

φ Ângulo da corrente da carga

7.1.1 - Cálculo Aproximado da Tensão na Carga

Utilizaremos o exemplo abaixo para comparação dos resultados, ou seja:

Calcule a tensão nos terminais de um motor durante a partida direta, plena tensão, quando a tensão na fonte for 480V, considerando que o motor é alimentado por cabos de 95mm², com comprimento de 160m.

Dados do motor:

Potência Nominal 100hp

Tensão nominal 460V

Corrente de partida 1054A

Fator de potência na partida 0,3

Sabendo-se que, nas condições de instalação, os valores de R_a e X_a são:

$$R_a = 0,231\Omega/km$$

$$X_a = 0,096\Omega/km$$

Solução:

$$R = 0,231 \times 0,16 = 0,0370\Omega$$

$$X = 0,096 \times 0,16 = 0,0154\Omega$$

$$\cos\varphi = 0,3$$

$$\sin\varphi = 0,953939$$

$$\sqrt{3} (R\cos\varphi + X\sin\varphi) = 0,0447$$

Como a tensão na fonte é de 480V, a corrente do motor corrigida para esta tensão será:

$$I = 1054 \frac{480}{460} = 1099,83$$

Portanto:

$$\Delta V = \sqrt{3} I(R\cos\varphi + X\sin\varphi) = 1099,83 \times 0,0447 = 49,16V$$

A tensão na carga seria:

$$V_c = 480 - 49,16 = 430,84V$$

Conforme orientação do Beeman, recalcularemos a queda de tensão corrigindo a corrente para a tensão encontrada na carga e obteremos:

$$I = 1054 \frac{430,84}{460} = 987,19A$$

A nova queda de tensão será:

$$\Delta V = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = 987,19 \times 0,447 = 44,13V$$

Finalmente a tensão na carga será:

$$V_C = 480 - 44,13 = 435,87V$$

No cálculo, com auxílio da planilha, a tensão encontrada foi 432,88V.

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	<i>I</i>	Comprimento do Circuito (km)	0,16
	<i>R_a</i>	Resistência do Cabo (Ω/km)	0,231
	<i>X_a</i>	Reatância do Cabo (Ω/km)	0,096
	<i>n</i>	Número de Cabos por Fase	1
	<i>V_F</i>	Tensão na Fonte (V)	480
Dados das Cargas	<i>P_{C_{Kn}}</i>	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	
	<i>V_{C_{Kn}}</i>	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	
	<i>FP_{C_K}</i>	Fator de Potência da Carga Constante	
	<i>P_{C_{Vn}}</i>	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
	<i>V_{C_{Vn}}</i>	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
	<i>FP_{C_V}</i>	Fator de Potência da Carga Variável	
	<i>V_{M_{Pn}}</i>	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
	<i>I_{M_{Pn}}</i>	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
	<i>FP_{M_P}</i>	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3
<i>V_{CT}</i> Tensão na carga considerando a tensão definida da fonte			432,88

Como se pode verificar, o cálculo pode ser feito bastante aproximação, com fórmulas simples, compatíveis com recursos limitados de cálculo.

7.1.2 - Cálculo Aproximado da Tensão na Fonte

Utilizaremos o exemplo abaixo para comparação dos resultados, ou seja:

Calcule a tensão na fonte para que a tensão no motor seja 432,88 V durante a partida direta, à plena tensão, considerando que o motor é alimentado por cabos de 95mm², com comprimento de 160m.

Dados do motor:

Potência Nominal 100hp

Tensão nominal 460V

Corrente de partida 1054A

Fator de potência na partida 0,3

Sabendo-se que, nas condições de instalação, os valores de R_a e X_a são:

$$R_a = 0,231 \Omega / km$$

$$X_a = 0,096 \Omega / km$$

Solução:

$$R = 0,231 \times 0,16 = 0,0370 \Omega$$

$$X = 0,096 \times 0,16 = 0,0154 \Omega$$

$$\cos \varphi = 0,3$$

$$\sin \varphi = 0,953939$$

$$\sqrt{3} (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = 0,0447$$

Como a tensão na carga é de 435,87V, a corrente do motor corrigida para esta tensão será:

$$I = 1054 \frac{435,87}{460} = 998,71A$$

Portanto:

$$\Delta V = \sqrt{3} I (R \cos \varphi + X \sin \varphi) = 998,71 \times 0,0447 = 44,64V$$

A tensão na fonte será:

$$V_F = 435,87 - 44,64 = 480,51V$$

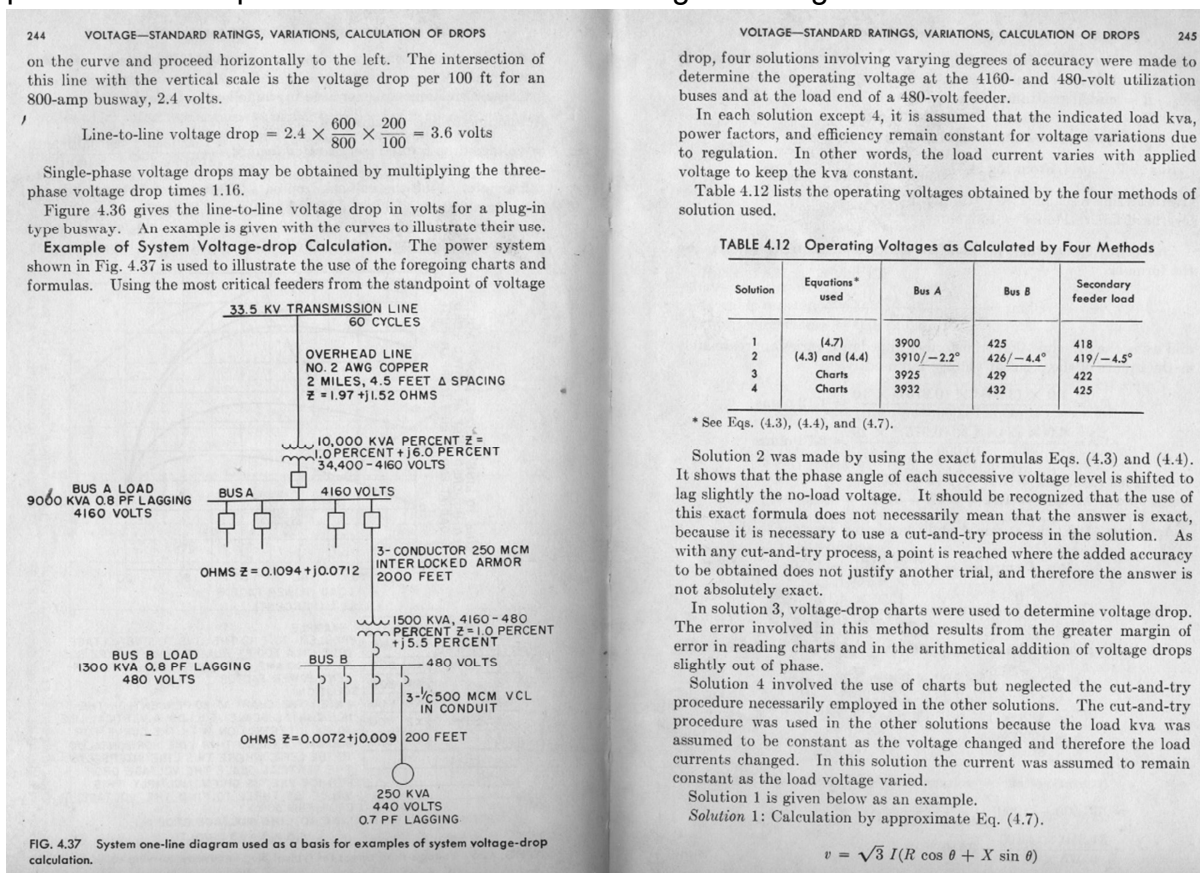
No cálculo, com auxílio da planilha, a tensão encontrada foi 480,00V.

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	I	Comprimento do Circuito (km)	0,16
	R_a	Resistência do Cabo (Ω/km)	0,231
	X_a	Reatância do Cabo (Ω/km)	0,096
	n	Número de Cabos por Fase	1
	V_{C_T}	Tensão na Carga (V)	432,88
Dados das Cargas	P_{C_{Kn}}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	
	V_{C_{Kn}}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	
	P_{C_{Vn}}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
	V_{C_{Vn}}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
	FP_{C_V}	Fator de Potência da Carga Variável	
	V_{M_{Pn}}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	460
	I_{M_{Pn}}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	1054
	FP_{M_P}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	0,3
V_F Tensão na fonte considerando a tensão definida da carga			480,00

7.2 - Problema e Solução

A seguir se resolverá um problema, do livro do Donald Beeman, utilizando as planilhas de cálculo, e se comparará o resultado.

O problema está apresentado nos textos das imagens a seguir:



where v = line-to-line voltage drop
 I = line current, amp
 R = circuit resistance, ohms
 X = circuit reactance, ohms
 θ = load power-factor angle

Bus A Voltage. From Fig. 4.37,

Overhead line resistance = 1.97 ohms
 Overhead line reactance = 1.52 ohms

Converting transformer per cent resistance and reactance to ohms by the formula

$$\text{Ohms} = \frac{\% \text{ ohms} \times (\text{kv})^2 \times 10}{\text{kva}}$$

and using the principle that transformer impedance varies approximately as the square of the per cent voltage tap used,

$$R_T = \frac{1.0 \times (34.4)^2 \times (0.975)^2 \times 10}{10,000} = 1.12 \text{ ohms}$$

$$X_T = \frac{6.0 \times (34.4)^2 \times (0.975)^2 \times 10}{10,000} = 6.73 \text{ ohms}$$

Total ohms resistance = 1.97 + 1.12 = 3.09

Total ohms reactance = 1.52 + 6.73 = 8.25

Assuming 4160 volts at bus A and considering constant load,

$$\text{Bus A amperes} = \frac{9000 \text{ kva}}{\sqrt{3} \times 4.160} = 1250$$

$$\text{Overhead line amperes} = \frac{1250 \times 4.16}{34.4 \times 0.975} = 155$$

Substituting in the voltage-drop formula with $\cos \theta = 0.8$ and $\sin \theta = 0.6$,

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{3} \times 155(3.09 \times 0.8 + 8.25 \times 0.6) \\ &= \sqrt{3} \times 155(2.48 + 4.95) \\ &= \sqrt{3} \times 155 \times 7.43 \\ &= 1990 \text{ volts} \end{aligned}$$

Bus A volts

= (source voltage - voltage drop) $\times$ (power transformer ratio)

$$= (33,500 - 1990) \frac{4.160}{34.4 \times 0.975}$$

$$= \frac{31,510 \times 4.160}{0.975 \times 34.4} = 3910 \text{ volts}$$

Recalculating the voltage drop assuming 3910 volts on Bus A,

$$\text{Overhead line amperes} = \frac{4160}{3910} \times 155 = 165$$

$$v = \sqrt{3} \times 165 \times 7.43 = 2120 \text{ volts}$$

$$\begin{aligned} \text{Bus A voltage} &= (33,500 - 2120) \frac{4.160}{34.4 \times 0.975} \\ &= \frac{31,380 \times 4.160}{34.4 \times 0.975} = 3900 \text{ volts} \end{aligned}$$

This value is assumed to be close enough for practical purposes.

Bus B Voltage. From Fig. 4.37,

5-kv cable resistance = 0.1094 ohm

5-kv cable reactance = 0.0712 ohm

Transformer resistance = 1.0% on its own base

$$= \frac{1.0 \times (4.16)^2 \times 10}{1500} = 0.115 \text{ ohm}$$

Transformer reactance = 5.5% on its own base

$$= \frac{5.5 \times (4.16)^2 \times 10}{1500} = 0.634 \text{ ohm}$$

Total ohms resistance = 0.109 + 0.115 = 0.224 ohm

Total ohms reactance = 0.071 + 0.634 = 0.705 ohm

Assuming 450 volts on bus B,

$$\text{Bus B amperes} = \frac{1300 \text{ kva}}{\sqrt{3} \times 0.450} = 1670$$

$$\text{5-kv cable amperes} = 1670 \times \frac{480}{4160} = 193$$

$$v = \sqrt{3} I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

$\cos \theta = 0.8$, $\sin \theta = 0.6$

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{3} \times 193(0.224 \times 0.8 + 0.705 \times 0.6) \\ &= \sqrt{3} \times 193(0.179 + 0.423) \\ &= \sqrt{3} \times 193 \times 0.602 = 201 \text{ volts} \end{aligned}$$

Bus B voltage = (bus A voltage - v) (transformer ratio)

$$= (3900 - 201) \frac{480}{4160}$$

$$= \frac{3699 \times 480}{4160} = 426 \text{ volts}$$

Recalculating v assuming 426 volts on bus B with same load,

$$\text{5-kv cable amperes} = 193 \times \frac{450}{426} = 204$$

$$v = \sqrt{3} \times 204 \times 0.602 = 212 \text{ volts}$$

$$\begin{aligned} \text{Bus B voltage} &= (3900 - 212) \frac{480}{4160} \\ &= \frac{3688 \times 480}{4160} = 425 \text{ volts} \end{aligned}$$

Secondary load voltage, assuming 420 volts at load,

$$\text{Load amperes} = \frac{250}{0.420 \times \sqrt{3}} = 344$$

Cable resistance = 0.0072

Cable reactance = 0.0090

$$v = \sqrt{3} \times I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

$\cos \theta = 0.7$, $\sin \theta = 0.714$

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{3} \times 344(0.0072 \times 0.7 + 0.0090 \times 0.714) \\ &= \sqrt{3} \times 344(0.00504 + 0.00643) \\ &= \sqrt{3} \times 344 \times 0.01147 \\ &= 6.9 \text{ volts} \end{aligned}$$

Load voltage = 425 - 6.9 = 418.1 volts

Since the most critical feeders with respect to voltage drop have been selected, the calculated load voltages at bus A, bus B, and at the secondary-load terminals provide sufficient information to analyze the system from the standpoint of voltage drop. Actually, the 480-418 voltage spread at the secondary-load terminals indicates that the system is on the border line and should be stiffened, possibly by using a larger 5-kv feeder cable. However, this is beyond the scope of this problem, which is merely intended to outline the method of determining voltage drop.

Para calcular a queda de tensão no alimentador de 33,5kV do primário do transformador de 10.000kVA, faremos as conversões de milhas para km. Portanto, como 2 milhas equivalem a 3218,69m, os valores de resistência e reatância do cabo, em Ω/km será:

$$R = \frac{1,97}{3,21869} = 0,612\Omega/\text{km}$$

$$X = \frac{1,52}{3,21869} = 0,472\Omega/\text{km}$$

Utilizando a planilha PL.EL.SA.CA.04 Alimentadores - Cálculo da Tensão na Carga, temos:

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	I	Comprimento do Circuito (km)	3,21869
	R_a	Resistência do Cabo (Ω /km)	0,612
	X_a	Reatância do Cabo (Ω /km)	0,472
	n	Número de Cabos por Fase	1
	V_F	Tensão na Fonte (V)	33500
Dados das Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	9000
	$V_{C_{Kn}}$	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	4160
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	0,8
	$P_{C_{Vn}}$	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
	$V_{C_{Vn}}$	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
	FP_{C_V}	Fator de Potência da Carga Variável	
	$V_{M_{Pn}}$	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	
	$I_{M_{Pn}}$	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	
	FP_{M_P}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	

V_{C_T}	Tensão na carga considerando a tensão definida da fonte	32817,85
-----------------------------	---	----------

Com a tensão de 32.817,85V no primário do transformador, a tensão no secundário, considerando a utilização do tap 0,975, será calculada utilizando a planilha PL.EL.SA.AC.01 TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA - Cálculo da Tensão nos Terminais para

$$Z = 1 + j6 = 6,083\%$$

DADOS DO SISTEMA			
Transformador	V_{P_n}	Tensão Primária Nominal do Transformador (kV)	34,4
	V_{S_n}	Tensão Secundária Nominal do Transformador (V)	4160
	P_{TF_n}	Potência Nominal do Transformador (kVA)	10000
	Z_n	Impedância Nominal do Transformador (%)	6,083
	R_n	Resistência Nominal do Transformador (%)	1
	V_P	Tensão no Primário do Transformador (kV)	32,81785
	k	Tensão da Derivação Utilizada do Primário (pu)	0,975
Dados das Cargas	$P_{C_{Kn}}$	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	9000
	$V_{C_{Kn}}$	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	4160
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	0,8
	$P_{C_{Vn}}$	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
	$V_{C_{Vn}}$	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
	FP_{C_V}	Fator de Potência da Carga Variável	
	$V_{M_{Pn}}$	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	
	$I_{M_{Pn}}$	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	
	FP_{M_P}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	

V_{T_s}	Tensão nos terminais do secundário do transformador (V)	3900,27
-----------------------------	---	---------

Para calcular a queda de tensão no alimentador de 4,16kV do primário do transformador de 1.500kVA, faremos as conversões de pés para km. Portanto, como 2000 pés equivalem a 609,6m, os valores de resistência e reatância do cabo, em Ω /km será:

$$R = \frac{0,1094}{0,6096} = 0,1975\Omega/\text{km}$$

$$X = \frac{0,0712}{0,6096} = 0,1168 \Omega/\text{km}$$

A tensão no primário do transformador de 1500kVA será 3856,37V:

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	<i>I</i>	Comprimento do Circuito (km)	0,6096
	<i>R_a</i>	Resistência do Cabo (Ω/km)	0,1794
	<i>X_a</i>	Reatância do Cabo (Ω/km)	0,1168
	<i>n</i>	Número de Cabos por Fase	1
	<i>V_F</i>	Tensão na Fonte (V)	3900,27
Dados das Cargas	<i>P_{C_{Kn}}</i>	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	1300
	<i>V_{C_{Kn}}</i>	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	480
	<i>FP_{C_K}</i>	Fator de Potência da Carga Constante	0,8
	<i>P_{C_{Vn}}</i>	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
	<i>V_{C_{Vn}}</i>	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
	<i>FP_{C_V}</i>	Fator de Potência da Carga Variável	
	<i>V_{M_{Pn}}</i>	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	
	<i>I_{M_{Pn}}</i>	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	
	<i>FP_{M_p}</i>	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	

<i>V_{C_T}</i>	Tensão na carga considerando a tensão definida da fonte	3856,37
---	---	---------

A impedância do transformador de 1500kVA será:

$$Z = 1 + j5,5 = 5,59\%$$

A tensão no secundário do transformador de 1500kVA será 425,36V:

DADOS DO SISTEMA			
Transformador	<i>V_{P_n}</i>	Tensão Primária Nominal do Transformador (kV)	4,16
	<i>V_{S_n}</i>	Tensão Secundária Nominal do Transformador (V)	480
	<i>P_{TF_n}</i>	Potência Nominal do Transformador (kVA)	1500
	<i>Z_n</i>	Impedância Nominal do Transformador (%)	5,59
	<i>R_n</i>	Resistência Nominal do Transformador (%)	1
	<i>V_P</i>	Tensão no Primário do Transformador (kV)	3,85637
	<i>k</i>	Tensão da Derivação Utilizada do Primário (pu)	1
Dados das Cargas	<i>P_{C_{Kn}}</i>	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	1300
	<i>V_{C_{Kn}}</i>	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	480
	<i>FP_{C_K}</i>	Fator de Potência da Carga Constante	0,8
	<i>P_{C_{Vn}}</i>	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
	<i>V_{C_{Vn}}</i>	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
	<i>FP_{C_V}</i>	Fator de Potência da Carga Variável	
	<i>V_{M_{p_n}}</i>	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	
	<i>I_{M_{p_n}}</i>	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	
	<i>FP_{M_p}</i>	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	

<i>V_{T_s}</i>	Tensão nos terminais do secundário do transformador (V)	425,36
---	---	--------

Para calcular a tensão na carga de 480V, fazendo as conversões de pés para km. Portanto, como 200 pés equivalem a 60,96m, os valores de resistência e reatância do cabo, em Ω/km será:

$$R = \frac{0,0072}{0,06096} = 0,1181 \Omega/\text{km}$$

$$X = \frac{0,009}{0,06096} = 0,1476 \Omega/\text{km}$$

A tensão na carga será 418,51V:

DADOS DO SISTEMA			
Dados da Fonte	I	Comprimento do Circuito (km)	0,06096
	R_a	Resistência do Cabo (Ω/km)	0,1181
	X_a	Reatância do Cabo (Ω/km)	0,1476
	n	Número de Cabos por Fase	1
	V_F	Tensão na Fonte (V)	425,36
Dados das Cargas	P_{C_{Kn}}	Potência Nominal da Carga Constante (kVA)	250
	V_{C_{Kn}}	Tensão Nominal da Carga Constante (V)	440
	FP_{C_K}	Fator de Potência da Carga Constante	0,7
	P_{C_{Vn}}	Potência Nominal da Carga Variável (kVA)	
	V_{C_{Vn}}	Tensão Nominal da Carga Variável (V)	
	FP_{C_V}	Fator de Potência da Carga Variável	
	V_{M_{Pn}}	Tensão Nominal do(s) Motor(es) (V)	
	I_{M_{Pn}}	Corrente de Partida do(s) Motor(es) na Tensão Nominal (A)	
	FP_{M_P}	Fator de Potência do(s) Motor(es) na Partida	

V_{CT}	Tensão na carga considerando a tensão definida da fonte	418,51
-----------------------	---	--------

Ou seja, o valor coincide com os valores calculados pelos métodos aproximados e valor exato:

Comparação dos Resultados Obtidos (V)					
Local	Solução				
	1	2	3	4	Aqui
Barra A	3900	3910	3925	3932	3900,27
Barra B	425	426	429	432	425,36
Carga	418	419	422	425	418,51

Os valores da tabela, comprovam a aplicabilidade das planilhas para efetuar os cálculos.