



SERVIÇO AUTÔNOMO MUNICIPAL
DE ÁGUA E ESGOTO

CAXIAS DO SUL – RS

E-MAIL: samae@samaecaxias.com.br

MEMORIAL DE CÁLCULO

SUBSTITUIÇÃO DO MOTOR DO 3º GRUPO DE BOMBEAMENTO

CABOS DE MÉDIA TENSÃO E BAIXA TENSÃO

SMAE – EBAB FAXINAL

Caxias do Sul / RS

REVISÃO	0A	0B	00				
RESPONSÁVEL	VRN	VRN	VRN				
APROVAÇÃO	JZN	JZN	JZN				
DATA	12-12-21	25-01-22	08-02-22				

ÍNDICE

1. OBJETIVO	03
2. REFERÊNCIAS	03
3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA	03
4. CABOS DE MÉDIA TENSÃO	04
4.1 Critérios Analisados	04
4.2 Condições de Instalação	04
4.3 Capacidade de Condução de Corrente	04
4.3.1 Corrente Nominal	04
4.3.2 Fatores de Correção	05
4.3.3 Seção Adotada	05
4.4 Queda de Tensão	05
4.5 Suportabilidade ao Curto-Circuito	06
5. CABOS DE BAIXA TENSÃO	07
5.1 Características dos Cabos	07
5.2 Critérios Analisados	07
5.3 Condições de Instalação	07
5.4 Capacidade de Condução de Corrente	07
5.5 Queda de Tensão	08
5.6 Suportabilidade ao Curto Circuito	08

REVISÃO	0A	0B	00				
RESPONSÁVEL	VRN	VRN	VRN				
APROVAÇÃO	JZN	JZN	JZN				
DATA	12-12-21	25-01-22	08-02-22				

1. OBJETIVO

O presente memorial registra o dimensionamento dos cabos de média e baixa tensão referentes à substituição do motor do terceiro grupo de bombeamento (GMB-3) da Estação de Bombeamento de Água Bruta Faxinal, bem como à infraestrutura associada.

2. REFERÊNCIAS

- [01] 0002-SAM-EL-DU-0001 – Diagrama Unifilar Geral;
- [02] ELE-MC-0001 – Memorial de Cálculo – Substituição do Motor GMB-02 – Cabos de MT e BT;
- [03] NBR 14039 – Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0 a 36,2 Kv;
- [04] NBR 5410 – Instalações Elétricas de Baixa Tensão;
- [05] br.prysmiangroup.com/sites/default/files/atoms/files/Guia_Dimensionamento_Media_Tensao.pdf

3. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

A EBAB Faxinal, em Caxias do Sul, possui fornecimento de energia elétrica da concessionária RGE em tensão primária de 13,8 kV, com medição no primário. Após o disjuntor geral de média tensão, são alimentados, atualmente, 3 (três) transformadores rebaixadores e 2 (dois) inversores com transformador incorporado, sendo:

- 1 (um) transformador auxiliar de 75 kVA, trifásico, com tensão secundária de 380 V, para alimentação dos serviços auxiliares;
- 2 (dois) transformadores industriais de 2500 kVA cada, com tensão secundária de 2,3 kV, para ligação dos motores de 2000 cv, referentes ao 3º e 4º Grupo de Bombeamento;
- 2 (dois) inversores de frequência, do fabricante WEG, com transformador incorporado para acionamento dos motores de 2000 cv, referentes ao 1º e 2º Grupo de Bombeamento.

Nesta etapa o motor existente de 2000 cv do 3º Grupo será substituído por um novo motor, também de 2000 cv. Além disso, a partida e correção do fator de potência que atualmente são realizadas, respectivamente, por uma chave compensadora de partida e um banco de capacitor, serão realizadas por um inversor de frequência do fabricante SIEMENS, com transformador integrado, a ser instalado. Dessa maneira, é necessário o dimensionamento dos cabos em 13,8 kV que interligam o disjuntor geral do 3º Grupo com o inversor de frequência, bem como os cabos em 4,16 kV que interligam o inversor à motobomba, conforme circuito elétrico apresentado na referência [1].

Adicionalmente, compõem a infraestrutura associada à substituição do motor do 3º Grupo os cabos de baixa tensão referentes aos circuitos para alimentação de iluminação e força da sala do inversor, além das cargas auxiliares do motor em questão.

REVISÃO	0A	0B	00				
RESPONSÁVEL	VRN	VRN	VRN				
APROVAÇÃO	JZN	JZN	JZN				
DATA	12-12-21	25-01-22	08-02-22				

4. CABOS DE MÉDIA TENSÃO

4.1 Critérios Analisados

Os cálculos efetuados irão apresentar a adequação dos cabos selecionados, sob as condições de instalação aplicáveis, aos seguintes critérios:

- Capacidade de condução de corrente;
- Queda de tensão;
- Suportabilidade ao curto-circuito para o condutor principal.

Adicionalmente, há a premissa de, caso possível e viável, preservar os cabos de força atualmente instalados.

4.2 Condições de Instalação

Os cabos possuem, como condição mais crítica ao longo de seu percurso, a instalação em eletrodutos embutidos subterrâneos. A temperatura no solo considerada para fins de dimensionamento é de 30 °C.

4.3 Capacidade de Condução de Corrente

Para o cálculo da seção mínima segundo o critério da capacidade de condução de corrente, consideram-se as seguintes condições:

- Classe de tensão 12/20 kV para os circuitos em 13,8 kV e 3,6/6 kV para os circuitos de 4,16 kV. A classe de tensão de 12/20 kV se dá em função dos cabos existentes; caso necessária a substituição, será considerada a classe de tensão de 8,7/15 kV;
- Condutor de cobre;
- Isolação em EPR;
- Temperatura máxima contínua de 90°C;
- Instalação em trifólio.

4.3.1 Corrente Nominal

a. Interligação do disjuntor ao inversor de frequência do 3º Grupo

Conforme dados garantidos pelo fabricante, a corrente nominal do motor é de 237,9 A na tensão de 4,16 kV. Dessa maneira, a corrente que o cabo deverá ser capaz de transportar em regime permanente é dada pela Equação 4-1:

$$I_{n-DJ-INVERSOR} = 237,9 \cdot \frac{4,16}{13,8} = 71,7 \text{ A} \quad (4-1)$$

b. Interligação do inversor de frequência ao motor do 3º Grupo

Conforme mencionado no item “a”:

REVISÃO	0A	0B	00				
RESPONSÁVEL	VRN	VRN	VRN				
APROVAÇÃO	JZN	JZN	JZN				
DATA	12-12-21	25-01-22	08-02-22				

$$I_{n-INVRSOR-MOTOR} = 237,9 A \quad (4-2)$$

4.3.2 Fatores de correção

Os catálogos de fabricantes consideram 20°C como temperatura de referência para o cálculo da capacidade de condução de cabos em instalações subterrâneas, diante disso é necessário corrigir a corrente calculada para a temperatura de projeto (30°C). O fator de correção por temperatura para cabos isolados em EPR é Ft igual a 0,93.

No que se refere ao agrupamento dos circuitos, o circuito entre o disjuntor e o inversor possui o percurso dividido com outro circuito e, portanto, Fa = 0,91. O circuito entre o inversor e o motor não possui outros circuitos em seu percurso, portanto, Fa = 1 e, desta forma:

$$I_{corr.-DJ-INVRSOR} = \frac{71,7}{0,93 \cdot 0,91} = 84,7 A \quad (4-3)$$

$$I_{corr.-INVRSOR-MOTOR} = \frac{237,9}{0,93 \cdot 1} = 255,8 A \quad (4-4)$$

4.3.3 Seção adotada

Considerando a premissa de utilização dos cabos existentes caso possível, apresentam-se abaixo as seções existentes, bem como as respectivas capacidades de condução de corrente, para os circuitos analisados:

$$DJ - INVRSOR \rightarrow 50 \text{ mm}^2 \text{ EPR} - 12/20 \text{ kV} \rightarrow 128 A [03];$$

$$INVRSOR - MOTOR \rightarrow 300 \text{ mm}^2 \text{ EPR} - 3,6/6 \text{ kV} \rightarrow 340 A [03];$$

Diante do exposto, pelo critério da capacidade de condução, tem-se o seguinte dimensionamento:

$$DJ - INVRSOR \rightarrow 50 \text{ mm}^2 \text{ EPR} - 12/20 \text{ kV} \rightarrow \text{Cabo existente};$$

$$INVRSOR - MOTOR \rightarrow 300 \text{ mm}^2 \text{ EPR} - 3,6/6 \text{ kV} \rightarrow \text{Cabo existente};$$

4.4 Queda de Tensão

A queda de tensão no circuito é calculada conforme as Equações 4-5 e 4-6:

$$\Delta V(V) = \sqrt{3} \cdot \frac{1}{n_{cp}} \cdot I_n \cdot l \cdot (R \cdot \cos\varphi + X_l \cdot \sin\varphi) \quad (4-5)$$

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V}{V_n} \cdot 100 \quad (4-6)$$

Onde:

$\Delta V \rightarrow$ Queda de tensão, em V ou % conforme indicação;

$n_{cp} \rightarrow$ Número de cabos em paralelo;

$l \rightarrow$ Comprimento do circuito, em km;

REVISÃO	0A	0B	00				
RESPONSÁVEL	VRN	VRN	VRN				
APROVAÇÃO	JZN	JZN	JZN				
DATA	12-12-21	25-01-22	08-02-22				

$R \rightarrow$ Resistência em corrente alternada do cabo, 60 Hz, na temperatura máxima de regime contínuo, em Ω/km ;

$X_l \rightarrow$ Reatância indutiva do cabo, 60 Hz, em Ω/km ;

$\cos\varphi \rightarrow$ Fator de potência do circuito;

$\sin\varphi \rightarrow$ Fator reativo do circuito.

Conforme [03] a queda de tensão deve ser limitada a 5%. Para o caso em análise a queda de tensão será calculada em dois trechos: o primeiro trecho entre o ponto de entrega pela RGE até o inversor e o segundo entre o inversor e o motor. Os dados referentes ao alimentador geral (características dos cabos e corrente de operação) foram obtidos da referência [2]. As características elétricas dos cabos foram obtidas em [5]. O comprimento dos circuitos foi estimado pelos desenhos de projeto. De forma conservadora não será considerada correção do fator de potência, assim:

Ponto de entrega até inversor:

$$\Delta V(V) = [\sqrt{3} \cdot 162 \cdot 0,02 \cdot (0,248 \cdot 0,89 + 0,144 \cdot 0,46)] + [\sqrt{3} \cdot 71,7 \cdot 0,025 \cdot (0,495 \cdot 0,89 + 0,161 \cdot 0,46)] = 3,2 \text{ V} \quad (4-7)$$

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V}{V_n} \cdot 100 = 0,02\% \quad (4-8)$$

Inversor até motor:

$$\Delta V(V) = [\sqrt{3} \cdot 237,9 \cdot 0,055 \cdot (0,082 \cdot 0,89 + 0,110 \cdot 0,46)] = 2,80 \text{ V} \quad (4-9)$$

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V}{V_n} \cdot 100 = 0,07\% \quad (4-10)$$

Conforme demonstrado com as equações 4-7 a 4-10 os cabos dimensionados na seção 4.3 tem desempenho satisfatório quanto à queda de tensão.

4.5 Suportabilidade ao Curto-Circuito

Os cabos devem ser capazes de suportar os efeitos térmicos causados por um curto-circuito até a atuação da proteção e consequente eliminação do defeito. Conforme [2], as correntes de curto-circuito a montante dos cabos de 50 mm² do circuito de interligação entre o disjuntor do Grupo 3 e o motor é 1,625 kA.

Conforme metodologia de [5], a seção transversal mínima capaz de suportar o curto-circuito apresentado, para condutores de cobre, é obtida através da Equação 4-11:

$$\frac{I_{cc}^2}{S_m^2} \cdot t = 115679 \cdot \log \left[\frac{T_2 + 234}{T_1 + 234} \right] \quad (4-11)$$

Onde:

REVISÃO	0A	0B	00				
RESPONSÁVEL	VRN	VRN	VRN				
APROVAÇÃO	JZN	JZN	JZN				
DATA	12-12-21	25-01-22	08-02-22				

$S_m \rightarrow$ Seção transversal mínima, em mm^2 ;

$t \rightarrow$ Tempo de duração do curto-circuito, em s;

$T_2 \rightarrow$ Temperatura do condutor ao fim do curto-circuito, em $^{\circ}\text{C}$;

$T_1 \rightarrow$ Temperatura do condutor no início do curto-circuito, em $^{\circ}\text{C}$.

As temperaturas máximas de regime permanente e curto-circuito para cabos isolados em EPR são conforme [03], respectivamente, 90°C e 250°C , sendo esses os valores adotados para T_1 e T_2 . A duração do curto-circuito será limitada a 0,5 s. Logo, considerando a corrente de 1,625 kA:

$$S_m = 8,09 \text{ mm}^2 \quad (4-12)$$

Portanto, o cabo dimensionado na Seção 4.3 está adequado em relação à suportabilidade à curto-circuito. Não há necessidade de avaliar esse critério para o circuito entre o inversor e o motor uma vez que o equipamento eletrônico limita a corrente de curto-circuito a valores pouco superiores à corrente nominal.

5. CABOS DE BAIXA TENSÃO

5.1 Características dos Cabos

Os cabos serão unipolares, condutor de cobre, isolamento com EPR 90°C , enchimento e capa protetora externa de PVC. O uso da isolamento em EPR se justifica pelos cabos que possuem instalação em caixas de passagem ao tempo que, em situações extremas, podem provocar a submersão dos cabos e aos cabos instalados parcialmente em canaletas que podem sofrer maiores solicitações mecânicas. Menor seção admitida é $2,5 \text{ mm}^2$.

5.2 Critérios Analisados

As seções dos cabos foram calculadas considerando-se:

- Capacidade de condução de corrente;
- Queda de tensão;
- Suportabilidade ao curto-circuito.

5.3 Condições de Instalação

Os circuitos serão dimensionados considerando-se a instalação em eletrodutos embutidos no piso ou eletrodutos aparentes, conforme indicações dos projetos. Será considerada uma temperatura no solo de 30°C e uma temperatura ambiente de 40°C .

5.4 Capacidade de Condução de Corrente

Os cabos de baixa tensão foram dimensionados para conduzir, sem sobreaquecimento, a corrente de projeto do circuito que alimentam. A corrente de projeto foi recalculada aplicando fatores de correção por temperatura e agrupamento, conforme recomendações da referência [4].

REVISÃO	0A	0B	00				
RESPONSÁVEL	VRN	VRN	VRN				
APROVAÇÃO	JZN	JZN	JZN				
DATA	12-12-21	25-01-22	08-02-22				

Após a correção da corrente de projeto pelos fatores citados, de acordo com o método de instalação, comparou-se a corrente corrigida com os dados das tabelas de ampacidade da referência [4], conduzindo à determinação da seção transversal necessária.

5.5 Queda de Tensão

Foi considerada uma queda de tensão máxima de 4%, valor máximo para circuitos terminais conforme [4], desde o QBT-1 até as cargas.

A queda de tensão foi calculada como segue:

Circuitos trifásicos:

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot \frac{I_{NOMC}}{cabos / fase} \cdot [R_{CABO} \cdot L \cdot \cos(\phi) + X_{CABO} \cdot L \cdot \sin(\phi)] \quad (5-1)$$

Circuitos monofásicos:

$$\Delta V = 2 \cdot \frac{I_{NOM}}{cabos / fase} \cdot [R_{CABO} \cdot L \cdot \cos(\phi) + X_{CABO} \cdot L \cdot \sin(\phi)] \quad (5-2)$$

Onde:

$\Delta V \rightarrow$ Queda de tensão no circuito (Volts);

$R_{CABO} \rightarrow$ Resistência do cabo (ohm/km);

$X_{CABO} \rightarrow$ Reatância do cabo (ohm/km);

$I_{NOMC} \rightarrow$ Corrente nominal da carga (A);

$\phi \rightarrow$ Ângulo do fator de potência;

$L \rightarrow$ Comprimento do cabo (km).

5.6 Suportabilidade ao Curto-Circuito

A seção mínima dos cabos foi calculada a partir da equação:

$$S \geq \frac{I_{cc} \times \sqrt{t}}{K} \quad (5-3)$$

Onde:

$I_{cc} \rightarrow$ corrente de curto-circuito trifásica simétrica calculada (A).

$t \rightarrow$ duração do curto-circuito (s), ou seja, tempo de abertura da proteção. Considerados 6 ciclos (100 ms).

$K \rightarrow$ 143, para cabos de cobre com isolamento de EPR.

$S \rightarrow$ seção mínima do condutor (mm²).

REVISÃO	0A	0B	00				
RESPONSÁVEL	VRN	VRN	VRN				
APROVAÇÃO	JZN	JZN	JZN				
DATA	12-12-21	25-01-22	08-02-22				

O curto-circuito utilizado para cálculo da seção mínima é referente ao fim do cabo alimentador, conforme Figura 1. O curto-circuito no barramento do QBT-1 foi, conservativamente, considerado em 3 kA.

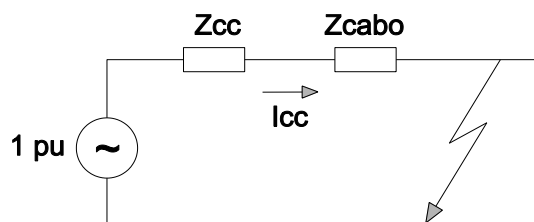


Figura 1 – Equivalente de curto-circuito

REVISÃO	0A	0B	00				
RESPONSÁVEL	VRN	VRN	VRN				
APROVAÇÃO	JZN	JZN	JZN				
DATA	12-12-21	25-01-22	08-02-22				

De	Para	Denominação Carga	Tensão (V)	Nº Fases	Carga (kVA)	Cos ϕ	Mét. Inst.	L (m)	Icc (kA)	Ft	Fa	In corr. (A)	Critérios de Dimensionamento			Resultados		
													Cond. Corrente	Queda Tensão	Curto-circuito	Seção Adotada (mm²)	Δv (%)	Icc - Fim do Cabo (kA)
													Seção (mm²)	Seção (mm²)	Seção (mm²)			
QBT-1	QD-SI3	Qdr. de Distribuição da Sala do Inv. G3	380	3	3,95	0,892	D-3	30	3,0	0,93	0,60	19,7	2,5	2,5	2,5	16,0	0,2	1,91

QD-SI3	Inver. Freq.	Circuito de controle	380	3	3,95	0,85	D-3	8	1,91	0,93	0,80	8,1	2,5	2,5	2,5	6,0	0,1	1,52
QD-SI3	Inver. Freq.	Circuito de calefação, iluminação e tomada do inversor + calefação do motor	220	1	1,11	1	D-2	8	1,91	0,93	0,80	6,8	2,5	2,5	2,5	2,5	0,3	1,18
QD-SI3	Ilumin.	Iluminação da sala do inversor de frequência do Grupo 3	220	1	0,224	0,92	B1-2	20	1,91	0,91	0,70	1,6	2,5	2,5	2,5	2,5	0,2	0,75
QD-SI3	Tomad.	Tomadas da sala do inversor de frequência do Grupo 3	220	1	1,6	0,85	B1-2	15	1,91	0,91	0,70	11,4	2,5	2,5	2,5	2,5	0,8	0,89
QD-SI3	DJ Grupo 3	Motor p/ carregamento de mola de fechamento	220	1	0,5	0,85	D-2	40	1,91	0,93	0,80	3,1	2,5	2,5	2,5	2,5	0,6	0,47

Inver. Freq.	Motor-3	Calefação do motor do Grupo 3	220	1	0,56	1	D-2	60	1,18	0,93	0,60	4,6	2,5	2,5	2,5	2,5	1,2	0,31
--------------	---------	-------------------------------	-----	---	------	---	-----	----	------	------	------	-----	-----	-----	-----	------------	-----	------

REVISÃO	0A	0B	00				
RESPONSÁVEL	VRN	VRN	VRN				
APROVAÇÃO	JZN	JZN	JZN				
DATA	12-12-21	25-01-22	08-02-22				