

Apêndice

Exemplo de aplicação

Com a finalidade de mostrar ao leitor o desenvolvimento completo de um projeto de instalação elétrica industrial, em uma sequência racional de cálculo, será apresentado, em seguida, como exemplo, um projeto de um complexo industrial no ramo fabril, a partir da planta de *layout* das máquinas, da planta de arquitetura das dependências administrativas e de produção e de corte do galpão industrial, conforme as plantas em anexo. Essas plantas normalmente são fornecidas ao projetista.

Escolheu-se como exemplo uma planta industrial de produção têxtil, compreendendo basicamente todos os setores essenciais à fabricação de fio e tecido. Claro que várias simplificações foram adotadas em relação ao projeto real, visando, sobretudo, facilitar a compreensão do leitor.

A concessionária forneceu a [Tabela A.3](#) relativa à proteção do alimentador de distribuição ao qual será conectada a indústria em projeto.

O alimentador de 13,80 kV que conectará a subestação da fábrica à subestação da concessionária tem 5 km de extensão e cabo de alumínio com alma de aço (CAA), com seção de 266,6 AWG, segundo informações também fornecidas pela concessionária.

Em seguida, conforme a planta 1, serão discriminadas as cargas por setor de produção, na [Tabela A.1](#).

O sistema de alimentação da companhia fornecedora de energia elétrica apresenta as seguintes características:

- Tensão nominal: 13,80 kV.
- Tensão de fornecimento: 13,80 kV.
- Impedância do sistema de alimentação da concessionária de sequência positiva: $R_{eqp} = 0,00342 pu$; $X_{eqp} = 0,00866 pu$ na base de 100 MVA.
- Impedância do sistema de alimentação da concessionária de sequência zero: $R_{eqz} = 0,06564 pu$; $X_{eqz} = 0,17555 pu$ na base de 100 MVA.
- Tipo de sistema: radial sem recurso.
- Resistência de contato do cabo com o solo: 100 Ω .

A indústria tem um plano de expansão, construindo um segundo andar sobre a parte correspondente à área administrativa, estimando uma carga adicional de 180 kVA.

A partir dos dados anteriores, postos à disposição do projetista — o que geralmente, na prática, é o que se consegue do responsável pelo projeto industrial, ou de informações obtidas dos catálogos das máquinas previstas —, pode-se iniciar o desenvolvimento do projeto da instalação.

A.1 Divisão da carga em blocos

A carga foi dividida em blocos, de acordo com o traçado da planta 1, em anexo. Essa etapa exige elevados conhecimentos do projetista e não há métodos rígidos a serem adotados. Veja Seção 1.4.1.

A.2 Localização dos quadros de distribuição

De acordo com os pré-requisitos, estabelecidos na Seção 1.4.2, os quadros de

distribuição, chamados doravante de centro de controle de motores (CCM), foram localizados conforme a planta 1.

Tabela A.1 Quadro da carga motriz

Setor	Setor de producao	Setor eletrico	N° de motores	Potencia unitaria (cv)	Corrente (A)	Fator de potencia	I_p/I_n	η
A	Batedores	CCM1	2	30	43,3	0,83	6,8	0,90
B	Cardas		6	7,5	11,9	0,81	7,0	0,84
C	Cortadeiras	CCM2	6	5	7,9	0,83	7,0	0,83
D	Manteiras		9	3	5,5	0,73	6,6	0,82
E	Passadores	CCM3	7	10	15,4	0,85	6,6	0,86
F	Encontreiras		3	5	7,9	0,83	7,0	0,83
G	Maçaroqueiras	CCM5	3	7,5	11,9	0,81	7,0	0,84
H	Teares		6	15	26,0	0,75	7,8	0,86
I	Conicaleiras	CCM6	8	20	28,8	0,86	6,8	0,88
J	Filatórios I	CCM8	10	25	35,5	0,84	6,7	0,90
K	Filatórios II	CCM7	10	30	43,3	0,83	6,8	0,90
M	Central de climatização	CCM4	2	250	327,4	0,87	6,8	0,95

Nota: As potências aqui atribuídas aos motores nem sempre estão de acordo com os valores normais das potências dos motores acoplados às suas respectivas máquinas de uma indústria têxtil real.

A.3 Localização do quadro de distribuição

geral

Por conveniência técnica, deverá ficar localizado no interior da subestação, conforme a Seção 1.4.3.

A.4 Localização da subestação

Conforme a planta de *layout*, o local da subestação, como muitas vezes acontece na prática, já vem preestabelecido, dando, nestes casos, poucas alternativas de mudanças ao projetista. A planta 1 mostra o local onde deverá ser instalada a subestação.

A.5 Definição do sistema de distribuição

Pelo porte da indústria, será adotado o sistema de distribuição radial sem recurso, tanto no primário como no secundário.

A.6 Determinação da demanda prevista

A carga é composta somente de iluminação, tomadas e motores.

A.6.1 Cálculo da iluminação

A.6.1.1 Iluminação da área administrativa

A.6.1.1.1 Controle de qualidade

a) Tomadas de uso geral (veja Seção 1.8.2.2)

$$S = 16 \times 6 + 7,2 \times 4,8 = 130,5 \text{ m}^2$$

- Para os primeiros 37 m²: 8 tomadas
- Para o restante da área: $\frac{130,5 - 37}{37} = 2,5 \approx 3 \rightarrow 3 \times 3 = 9$ tomadas.
- Total: $8 + 9 = 17$ tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro. Tratando-se de uma área irregular, será determinada a área equivalente:

$$L = \frac{130,5}{16} = 8,15 \text{ m}$$

$$A \times B = 16 \times 8,15 \text{ m}$$

$$K = \frac{A \times B}{H_{ip} \times (A + B)} = \frac{16 \times 8,15}{5,2 \times (16 + 8,15)} = 1,0$$

$H_{ip} = H_{te} - H_{pt} = 6 - 0,8 = 5,2$ m (luminária fixada no teto, que corresponde ao forro branco no plano de fixação das luminárias, cujo detalhe não está mostrado em planta)

$$H_{te} = 6 \text{ m (altura do teto)}$$

$$H_{pt} = 0,80 \text{ m (altura do plano de trabalho)}$$

$$F_{dl} = 0,75 \text{ (Tabela 2.9 – luminária comercial)}$$

$$F_u = 0,47 \text{ (Tabela 2.10 — luminária do tipo TCK-427: } 4 \times 40 \text{ W)}$$

$E = 800$ lux (Tabela 2.7 — Indústrias têxteis: inspeção – valor adotado superior ao mínimo recomendado em função da exigência da tarefa a ser executada no ambiente)

$\psi = 3.000$ lumens (fluorescente comum — Tabela 2.2)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{al}} = \frac{800 \times 130,5}{0,47 \times 0,75} = 296.170 \text{ lumens}$$

$N_{lu} = \frac{296.170}{4 \times 3.000} = 24,6 \rightarrow N_{lu} = 27$ (número que melhor se acomoda no recinto, conforme a planta 2)

c) Distância entre as luminárias

Área: 16×6 m

$$16 = 6 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,2 \text{ m}$$

$$6 = 2Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 2,0 \text{ m}$$

Área: $7,2 \times 4,8$ m

$$7,2 = 3 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 1,8 \text{ m}$$

$$4,8 = 3 \times Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 1,2 \text{ m}$$

Obs.: Faz-se necessário acomodar esteticamente as luminárias, pois, na direção da maior dimensão, as distâncias das luminárias entre as paredes divergem, ou seja: 2,2 m e 1,8 m, respectivamente.

A.6.1.1.2 Laboratório

a) Tomadas de uso geral

$$S = 8,2 \times 4 = 32,8 \text{ m}^2$$

- Para os primeiros 37 m^2 : 8 tomadas
- Total: 6 tomadas de altura 1,30 m (valor atribuído)

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{ip} \times (A + B)} = \frac{8,2 \times 4}{3 \times (8,2 + 4)} = 0,89 \approx 1,0$$

$$H_{ip} = H_{te} - H_{pt} = 3,8 - 0,80 = 3 \text{ m (luminária diretamente fixada no teto)}$$

$$H_{te} = 3,8 \text{ m (altura do teto: veja planta 4)}$$

$$F_{dl} = 0,75 \text{ (Tabela 2.9 — luminária comercial)}$$

$$F_u = 0,47 \text{ (Tabela 2.10 — luminária do tipo TCK-427: } 4 \times 40 \text{ W)}$$

$$E = 600 \text{ lux (valor adotado)}$$

$$\psi = 3.000 \text{ lumens (fluorescente comum — Tabela 2.2)}$$

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{600 \times 32,8}{0,47 \times 0,75} = 55.829 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{55.829}{4 \times 3.000} = 4,6 \rightarrow N_{lu} = 6 \text{ luminárias}$$

c) Distância entre as luminárias

$$8,2 = 2 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,7 \text{ m}$$

$$4 = 2 \times Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 1,3 \text{ m}$$

A.6.1.1.3 Armazém de produto acabado

a) Tomadas

As tomadas, se usadas, devem ser do tipo blindado, por motivo de segurança. Serão adotadas quatro tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} = \frac{16 \times 14}{5,2 \times (16 + 14)} = 1,43 \approx 1,50$$

$$H_{lp} = H_{te} - H_{pt} = 6 - 0,8 = 5,2 \text{ m (luminária fixada no teto: detalhe não mostrado em planta)}$$

$$F_{dl} = 0,75 \text{ (Tabela 2.9 — luminária comercial)}$$

$$F_u = 0,56 \text{ (Tabela 2.10 — luminária do tipo TCK-427: } 4 \times 40 \text{ W)}$$

$$E = 200 \text{ lux (valor adotado)}$$

$$\psi = 3.000 \text{ lumens (fluorescente comum — Tabela 2.2)}$$

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{200 \times 224}{0,56 \times 0,75} = 106.666 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{106.666}{4 \times 3.000} = 8,8 \rightarrow N_{lu} = 9 \text{ luminárias}$$

c) Distância entre as luminárias

$$16 = 2 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 5,3 \text{ m}$$

$$14 = 2 \times Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 4,6 \text{ m}$$

A.6.1.1.4 Armazém de matéria-prima

Como este galpão é igual ao de produto acabado, serão adotados os mesmos valores anteriormente calculados.

A.6.1.1.5 Subestação

$$S = 14 \times 10 = 140 \text{ m}^2$$

a) Tomadas de uso geral

Serão adotadas 4 tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} = \frac{14 \times 10}{4,3 \times (14 + 10)} = 1,35 \approx 1,25$$

$$H_{lp} = H_{te} - H_{pt} = 5,1 - 0,8 = 4,3 \text{ m (luminária diretamente fixada no teto, conforme a planta 4)}$$

$$F_{dl} = 0,75 \text{ (Tabela 2.9 — luminária comercial)}$$

$$F_u = 0,52 \text{ (Tabela 2.10 — luminária do tipo TCK-427: } 4 \times 40 \text{ W)}$$

$$E = 150 \text{ lux (valor adotado)}$$

$$\psi = 3.000 \text{ lumens (fluorescente comum — Tabela 2.2)}$$

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{150 \times 140}{0,52 \times 0,75} = 53.846 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{53.846}{4 \times 3.000} = 4,8 \rightarrow N_{lu} = 6 \text{ luminárias}$$

c) Distância entre as luminárias

Deverá obedecer à disposição prática mostrada na planta 2. Não se deve localizar nenhuma luminária sobre os equipamentos de alta-tensão.

A.6.1.1.6 Banheiro coletivo feminino

a) Tomadas de uso geral

Serão adotadas 4 tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 5,3}{3 \times (8 + 5,3)} = 1,06 \approx 1,00$$

$$H_{lp} = H_{te} - H_{pt} = 3,8 - 0,8 = 3 \text{ m (luminária diretamente fixada no teto)}$$

$$H_{te} = 3,8 \text{ m (altura do teto: veja planta 4)}$$

$$F_{dl} = 0,75 \text{ (Tabela 2.9 — luminária comercial)}$$

$$F_u = 0,50 \text{ (Tabela 2.10 — luminária do tipo TMS-426: } 2 \times 40 \text{ W)}$$

$$E = 200 \text{ lux (valor adotado)}$$

$$\psi = 3.000 \text{ lumens (fluorescente comum — Tabela 2.2)}$$

$$S = 8 \times 5,3 = 42,4 \text{ m}^2$$

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{200 \times 42,4}{0,50 \times 0,75} = 22.613 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{22.613}{2 \times 3.000} = 3,7 \rightarrow N_{lu} = 4 \text{ luminárias}$$

c) Distância entre as luminárias

$$8 = 3 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,0 \text{ m}$$

A.6.1.1.7 Banheiro coletivo masculino

a) Tomadas de uso geral

Serão adotadas 3 tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 3,2}{3 \times (8 + 3,2)} = 0,76 \approx 0,80$$

$$H_{lp} = 3 \text{ m (luminária diretamente fixada no teto)}$$

$$F_{dl} = 0,75 \text{ (Tabela 2.9 — luminária comercial)}$$

$$F_u = 0,43 \text{ (Tabela 2.10 — luminária do tipo TMS-426: } 2 \times 40 \text{ W)}$$

$$E = 200 \text{ lux (valor adotado)}$$

$$\psi = 3.000 \text{ lumens (fluorescente comum — Tabela 2.2)}$$

$$S = 8 \times 3,2 = 25,6 \text{ m}^2$$

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{200 \times 25,6}{0,43 \times 0,75} = 15.875 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{15.875}{2 \times 3.000} = 2,6 \rightarrow N_{lu} = 3 \text{ luminárias}$$

c) Distância entre as luminárias

$$8 = 2 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,6 \text{ m (foram obedecidas às condições físicas locais)}$$

A.6.1.1.8 Diretoria técnica

a) Tomadas de uso geral

$$S = 8 \times 7 = 56 \text{ m}^2$$

- Para os primeiros 37 m²: 8 tomadas
- Para o restante da área: $\frac{56-37}{37} = 0,51 \rightarrow 3$ tomadas

Total: $8 + 3 = 11$ tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{ip} \times (A + B)} = \frac{8 \times 7}{3 \times (8 + 7)} = 1,24 \approx 1,25$$

$$H_{ip} = 3 \text{ m (luminária diretamente fixada no teto)}$$

$$F_{dl} = 0,75 \text{ (Tabela 2.9 — luminária comercial)}$$

$$F_u = 0,56 \text{ (Tabela 2.10 — luminária do tipo TMS-426: } 2 \times 40 \text{ W)}$$

$E = 300$ lux (acima do valor mínimo estabelecido na Tabela 2.7 – escritório: sala de trabalho)

$$\psi = 3.000 \text{ lumens (fluorescente comum — Tabela 2.2)}$$

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{300 \times 56}{0,56 \times 0,75} = 40.000 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{40.000}{2 \times 3.000} = 6,6 \rightarrow N_{lu} = 8 \text{ luminárias}$$

c) Distância entre as luminárias

$$8 = 3 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,0 \text{ m}$$

$$7 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 3,5 \text{ m}$$

Obs.: no banheiro, será adotada a seguinte carga:

- tomadas: $1 \times 100 \text{ W}$
- pontos de luz: $1 \times 40 \text{ W}$

Estes valores serão adotados para todos os banheiros privativos.

A.6.1.1.9 Diretoria de produção

a) Tomadas de uso geral

$$S = 8 \times 6,5 - 1,0 \times 1,5 = 50,5 \text{ m}^2$$

- Para os primeiros 37 m^2 : 8 tomadas
- Para o restante da área: $\frac{50,5 - 37}{37} = 0,36 \rightarrow 3$ tomadas

Total: $8 + 3 = 11$ tomadas (serão adotadas 10 tomadas).

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 6,5}{3 \times (8 + 6,5)} = 1,19 \approx 1,25$$

$$H_{lp} = 3 \text{ m (luminária diretamente fixada no teto)}$$

$$F_{dl} = 0,75 \text{ (Tabela 2.9 — luminária comercial)}$$

$$F_u = 0,56 \text{ (Tabela 2.10 — luminária do tipo TMS-426: 240 W)}$$

$$E = 300 \text{ lux (valor adotado)}$$

$$\psi = 3.000 \text{ lumens (fluorescente comum — Tabela 2.2)}$$

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{300 \times 50,5}{0,56 \times 0,75} = 36.071 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{36.071}{2 \times 3.000} = 6 \rightarrow N_{lu} = 6 \text{ (veja o arranjo das luminárias em planta)}$$

c) Distância entre as luminárias

$$8 = 3 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,0 \text{ m}$$

$$6,5 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 3,2 \text{ m}$$

A.6.1.1.10 Presidência

a) Tomadas de uso geral

$$S = 8 \times 5,5 - 1,0 \times 1,5 = 42,5 \text{ m}^2$$

- Para os primeiros 37 m²: 8 tomadas
- Para o restante da área: $\frac{42,5 - 37}{37} = 0,14 \rightarrow 3$ tomadas

Total: 8 + 3 = 11 tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{ip} \times (A + B)} = \frac{8 \times 5,5}{3 \times (8 + 5,5)} = 1,0$$

$$H_{ip} = 3 \text{ m (luminária diretamente fixada no teto)}$$

$$F_{dl} = 0,75 \text{ (Tabela 2.9 — luminária comercial)}$$

$$F_u = 0,50 \text{ (Tabela 2.10 — luminária do tipo TMS-426: } 2 \times 40 \text{ W)}$$

$$E = 300 \text{ lux (valor adotado)}$$

$\psi = 3.000$ lumens (fluorescente comum — Tabela 2.2)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{300 \times 42,5}{0,50 \times 0,75} = 34.000 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{34.000}{2 \times 3.000} = 5,6 \rightarrow N_{lu} = 6 \text{ luminárias (veja o arranjo das luminárias em planta)}$$

c) Distância entre as luminárias

$$8 = 3 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,0 \text{ m}$$

$$5,5 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 2,7 \text{ m}$$

A.6.1.1.11 Departamento administrativo

a) Tomadas de uso geral

$$S = 8 \times 6 = 48 \text{ m}^2$$

- Para os primeiros 37 m^2 : 8 tomadas
- Para o restante da área: $\frac{48 - 37}{37} = 0,29 \rightarrow 3$ tomadas

Total: $8 + 3 = 11$ tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 6}{3 \times (8 + 6)} = 1,14 \approx 1,25$$

$$H_{lp} = 3 \text{ m (luminária diretamente fixada no teto)}$$

$$F_{dl} = 0,75 \text{ (Tabela 2.9 — luminária comercial)}$$

$F_u = 0,56$ (Tabela 2.10 — luminária do tipo TMS-426: 2×40 W)

$E = 250$ lux (Tabela 2.7 — escritório: sala de trabalho)

$\psi = 3.000$ lumens (fluorescente comum — Tabela 2.2)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{at}} = \frac{250 \times 48}{0,56 \times 0,75} = 28.571 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{28.571}{2 \times 3.000} = 4,7 \rightarrow N_{lu} = 6 \text{ (veja o arranjo das luminárias na planta 2)}$$

c) Distância entre as luminárias

$$8 = 2 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,6 \text{ m}$$

$$6 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 3,0 \text{ m}$$

A.6.1.1.12 Escritório

a) Tomadas de uso geral

$$S = 8 \times 7 = 56 \text{ m}^2$$

- Para os primeiros 37 m^2 : 8 tomadas
- Para o restante da área: $\frac{56 - 37}{37} = 0,51 \rightarrow 3$ tomadas

Total: $8 + 3 = 11$ tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 7}{3 \times (8 + 7)} = 1,24 \approx 1,25$$

$H_{lp} = 3$ m (luminária diretamente fixada no teto)

$$F_{dl} = 0,75 \text{ (Tabela 2.9 — luminária comercial)}$$

$$F_u = 0,56 \text{ (Tabela 2.10 — luminária do tipo TMS-426: 240 W)}$$

$$E = 250 \text{ lux (Tabela 2.7 — escritório: sala de trabalho)}$$

$$\psi = 3.000 \text{ lumens (fluorescente comum — Tabela 2.2)}$$

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{250 \times 56}{0,56 \times 0,75} = 33.333 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{33.333}{2 \times 3.000} = 5,5 \rightarrow N_{lu} = 6 \text{ (veja o arranjo das luminárias na planta 2)}$$

c) Distância entre as luminárias

$$8 = 2 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,6 \text{ m}$$

$$7 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 3,5 \text{ m}$$

A.6.1.1.13 Recepção

a) Tomadas de uso geral

$$S = 8 \times 8,8 = 70,4 \text{ m}^2$$

- Para os primeiros 37 m²: 8 tomadas
- Para o restante da área: $\frac{70,4 - 37}{37} = 0,90 \rightarrow 3$ tomadas

Total: 8 + 3 = 11 tomadas.

b) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{ip} \times (A + B)} = \frac{8 \times 8,8}{3 \times (8 + 8,8)} = 1,39 \approx 1,50$$

$H_p = 3$ m (luminária diretamente fixada no teto)

$F_{dl} = 0,75$ (Tabela 2.9 — luminária comercial)

$F_u = 0,61$ (Tabela 2.10 — luminária do tipo TMS-426: 240 W)

$E = 250$ lux (Tabela 2.7 — escritório: recepção)

$\psi = 3.000$ lumens (fluorescente comum — Tabela 2.2)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{250 \times 70,4}{0,61 \times 0,75} = 38.469 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{38.469}{2 \times 3.000} = 6,4 \rightarrow N_{lu} = 8 \text{ (veja o arranjo das luminárias na planta 2)}$$

c) Distância entre as luminárias

$$8 = 3 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,0 \text{ m}$$

$$8,8 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 4,4 \text{ m}$$

A.6.1.1.14 Sala de manutenção

a) Tomadas de uso geral

- Para os primeiros 37 m²: 8 tomadas
- Para o restante da área: $\frac{56 - 37}{37} = 0,51 \rightarrow 3$ tomadas

Total: 8 + 3 = 11 tomadas.

b) Tomadas de uso específico

Serão adotadas duas tomadas trifásicas de 6 kW.

c) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$K = \frac{A \times B}{H_{lp} \times (A + B)} = \frac{8 \times 7}{3 \times (8 + 7)} = 1,24 \approx 1,25$$

$$H_{lp} = 3 \text{ m (luminária diretamente fixada no teto)}$$

$$F_{dl} = 0,75 \text{ (Tabela 2.9 — luminária comercial)}$$

$$F_u = 0,56 \text{ (Tabela 2.10 — luminária do tipo TMS-426: } 2 \times 40 \text{ W)}$$

$$E = 250 \text{ lux (valor adotado)}$$

$$\psi = 3.000 \text{ lumens (fluorescente comum — Tabela 2.2)}$$

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{250 \times 56}{0,56 \times 0,75} = 33.333 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{33.333}{2 \times 3.000} = 5,5 \rightarrow N_{lu} = 6 \text{ (veja o arranjo das luminárias em planta)}$$

d) Distância entre as luminárias

$$8 = 2 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 2,6 \text{ m}$$

$$7 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 3,5 \text{ m}$$

A.6.1.1.15 Sala de climatização

a) Tomadas de uso geral

$$S = 8 \times 6,8 = 54,4 \text{ m}^2$$

Serão adotadas duas tomadas.

b) Tomadas de uso específico

Será adotada uma tomada trifásica de 6 kW.

c) Iluminação

Pintura do ambiente: teto branco, paredes claras e piso escuro.

$$N_{lu} = \frac{33.333}{2 \times 3.000} = 5,5 \rightarrow N_{lu} = 6$$

$H_{lp} = 3$ m (luminária diretamente fixada no teto)

$F_{dl} = 0,75$ (Tabela 2.9 — luminária comercial)

$F_u = 0,56$ (Tabela 2.10 — luminária do tipo TMS-426: 240 W)

$E = 150$ lux (valor adotado)

$\psi = 3.000$ lumens (fluorescente comum — Tabela 2.2)

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_u \times F_{dl}} = \frac{150 \times 54,4}{0,56 \times 0,75} = 19.428 \text{ lumens}$$

$$N_{lu} = \frac{19.428}{2 \times 3.000} = 3,2 \rightarrow N_{lu} = 4 \text{ (veja o arranjo das luminárias em planta)}$$

d) Distância entre as luminárias

$$8 = X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 4 \text{ m}$$

$$6,8 = Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 3,4 \text{ m}$$

A.6.1.2 Iluminação da área industrial

a) Tomadas de uso geral

$$S = 66 \times 42 = 2.772 \text{ m}^2$$

Serão adotadas 12 tomadas unipolares.

b) Tomadas de uso específico

Serão adotadas 10 tomadas trifásicas de 6 kW.

c) Iluminação

- Pintura do ambiente: teto claro, paredes claras e piso escuro.
- Escolha da luminária e lâmpada
 - Tipo de luminária: refletor T38 - VM — [Tabela 2.12](#)
 - Categoria de manutenção: IV
 - Lâmpada adotada: vapor de mercúrio de 700 W (valor inicial)
 - Vida útil da lâmpada: 18.000 horas, com queima de 100 % das lâmpadas no final do período
 - Período de manutenção (limpeza) das luminárias: 12 meses
 - Período de manutenção inicial (substituição) das luminárias queimadas: 6 meses
- Tipo de ambiente do interior industrial: muito sujo (devido à poluição de pó de algodão).
- Cálculo do fator de relação

$$K = \frac{5 \times (A + B)}{A \times B} = \frac{5 \times (66 + 42)}{66 \times 42} = 0,194$$

- Cálculo das relações das cavidades zonais
 - Cavidade do recinto

$$R_{\sigma} = K \times H_{lp} = 0,194 \times 6,2 = 1,20$$

$H_{lp} = 7 - 0,80 = 6,2$ (luminárias com corpo de 80 cm e altura do plano de trabalho de 80 cm, de acordo com o Corte B-B' da planta 4)

- Cavidade do piso

$$R_{cp} = K \times H_{pp} = 0,194 \times 0,80 = 0,15$$

- Cavidade do teto

$$R_{ct} = K \times H_{tl} = 0,194 \times 0,80 = 0,15$$

- Cálculo da refletância da cavidade do piso (ρ_{cp})

$$\rho_{pi} = 10 \% \text{ (piso escuro)} \rightarrow \rho_{pa} = 50 \% \text{ (paredes claras)} \rightarrow R_{ct} = 0,15 \rightarrow \rho_{cp} = 10 \% \text{ (Tabela 2.11)}$$

- Cálculo da refletância efetiva da cavidade do teto (ρ_{ct})

$$\rho_{pt} = 50 \% \text{ (teto claro)} \rightarrow \rho_{pa} = 50 \% \text{ (paredes claras)} \rightarrow R_{ct} = 0,15 \rightarrow \rho_{ct} = 49 \% \text{ (Tabela 2.11)}$$

- Cálculo do fator de utilização

Utilizando-se a [Tabela 2.12](#), tem-se:

$$\frac{50 - 10}{0,72 - 0,67} = \frac{50 - 49}{0,72 - F_{u1}} \rightarrow F_{u1} = 0,72$$

$$\frac{50 - 10}{0,67 - 0,63} = \frac{50 - 49}{0,67 - F_{u2}} \rightarrow F_{u2} = 0,67$$

$$\frac{1 - 2}{0,72 - 0,67} = \frac{1 - 1,2}{0,72 - F_u} \rightarrow F_u = 0,71$$

Para corrigir o fator de utilização, deve-se utilizar a [Tabela 2.13](#).

$$\frac{50 - 10}{1,05 - 1,01} = \frac{50 - 49}{1,05 - F_{c1}} \rightarrow F_{c1} = 1,05$$

$$\frac{50 - 10}{1,04 - 1,01} = \frac{50 - 49}{1,04 - F_{c2}} \rightarrow F_{c2} = 1,04$$

$$\frac{1 - 2}{1,05 - 1,04} = \frac{1 - 1,20}{1,05 - F_c} \rightarrow F_c = 1,04$$

$$F_{uc} = \frac{0,71}{1,04} = 0,68$$

- Cálculo do fator de depreciação do serviço da luminária
 - Fator de depreciação da superfície

Categoria IV → 12 meses → Ambiente MS → $F_d = 0,61$ (Figura 2.32)

- Fator de depreciação das superfícies do ambiente devido à sujeira

Para 12 meses, a porcentagem de sujeira esperada vale 29 % \approx 30 % (Figura 2.33).

Sujeira esperada de 30 % → Luz direta → $R_\sigma = 1,20$ → $F_{su} = 94$ % (Tabela 2.15)

- Fator de perda do fluxo luminoso por queima de lâmpadas

$$F_{qi} = 1 - \frac{6 \text{ meses}}{18.000 \text{ horas}} = 1 - \frac{6 \times 30 \times 24}{18.000} \times \frac{100}{100} = 0,76 = 76 \% \quad (\text{Permitem-se,}$$

neste caso, 24 % de lâmpadas queimadas, ou ainda: sempre que houver 24 % de lâmpadas queimadas, estas serão substituídas, independentemente do período de limpeza das luminárias. Na prática, procura-se ajustar as duas datas para reduzir os custos de manutenção e os transtornos na operação da indústria.)

A grande maioria das indústrias têxteis que o autor conhece troca as

lâmpadas queimadas a cada semana ou a cada mês.

- Fator de depreciação do fluxo luminoso

Considerando-se que as lâmpadas fiquem em operação, em média, durante 50 % de sua vida útil, a depreciação do fluxo luminoso vale:

$$50 \% \text{ de sua vida útil} \rightarrow F_f = 0,91 \text{ (Figura 2.34)}$$

- Fator de depreciação total

$$F_{dl} = F_d \times F_s \times F_q \times F_f$$

$$F_{dl} = 0,61 \times 0,94 \times 0,76 \times 0,91 = 0,396$$

- Cálculo do fluxo luminoso

Como a área industrial é constituída de um ambiente único e contém vários setores de produção, cada um com nível de iluminação diferente, conforme a [Tabela 2.7](#), será adotado o valor médio de:

$$E = 300 \text{ lux}$$

$$\psi_t = \frac{E \times S}{F_{dl} \times F_{uc}} = \frac{300 \times 2.772}{0,396 \times 0,68} = 3.088.235 \text{ lumens}$$

- Cálculo do número de projetores

$$N_{lu} = \frac{3.088.235}{35.000} = 88 \approx 84 \text{ projetores (conforme disposição adotada na planta}$$

2)

d) Distância entre as luminárias

$$66 = 13 \times X + 2 \times X/2 \rightarrow X = 4,7 \text{ m}$$

$$42 = 5Y + 2 \times Y/2 \rightarrow Y = 7,0 \text{ m}$$

A.6.1.3 Quadro de carga

Com base na planta 2, pode-se resumir o Quadro de Carga da [Tabela A.2](#).

A.6.2 Cálculo da demanda prevista

A demanda total da indústria é a soma da demanda de iluminação e da área industrial.

A.6.2.1 Demanda dos QDLs

Para este cálculo, será tomada como base a Tabela 3.

A.6.2.1.1 QDL1

$$P_{qdl1} = 10.200 + 9.800 + 9.800 + 30.000 = 59.800 \text{ W}$$

- Primeiros 20.000 W: 100 %.....20.000 W
- Acima de 20.000 W: 70 %.....27.860 W

$$P = (59.800 - 20.000) \times 0,70 = 27.860 \text{ W}$$

$$D_{qdl1} = 20.000 + 27.860 = 47.860 \text{ W}$$

Obs.: foi considerada a ausência de harmônicos.

A.6.2.1.2 QDL2

$$P_{qdl2} = 9.800 + 10.600 + 9.800 + 42.000 = 72.200 \text{ W}$$

- Primeiros 20.000 W: 100 %.....20.000 W
- Acima de 20.000 W: 70 %.....36.540 W

$$D_{qdl2} = 20.000 + 36.540 = 56.540 \text{ W}$$

Obs.: foi considerada a ausência de harmônicos.

A.6.2.1.3 QDL3

$$P_{qdl3} = 1.200 + 2.720 + 4.060 = 7.980 \text{ W}$$

A.6.2.1.4 QDL4

$$P_{qdl4} = 1.440 + 1.440 + 1.900 = 4.780 \text{ W}$$

A.6.2.1.5 QDL5

$$P_{qdl5} = 4.600 + 5.280 + 4.000 = 13.880 \text{ W}$$

A.6.2.1.6 QDL6

$$P_{qdl6} = 800 + 2.600 + 1.120 + 12.000 = 16.520 \text{ W}$$

A.6.2.2 Demanda total do QDLS

$$D_{qdl} = D_{qdl1} + D_{qdl2} + D_{qdl3} + D_{qdl4} + D_{qdl5} + D_{qdl6}$$

$$D_{qdl} = 47.860 + 56.540 + 7.980 + 4.780 + 13.880 + 16.520$$

$$D_{qdl} = 147.560 \text{ W} = 147,56 \text{ kW}$$

Considerando um fator de potência médio de 0,90, tem-se:

$$D_{qdl\alpha} = \frac{147,56}{0,9} = 163,95 \text{ kVA}$$

$$D_{qdlr} = 163,95 \times \text{sen}(\text{arcos } 0,90) = 71,46 \text{ kVAR}$$

Tabela A.2 Quadro de carga de iluminação

--	--	--

QDLs	Circuito	Designação da carga	Polos	Quant.	Potência	Potência monofásica W			Potê trifá
						A	B	C	W
QDL1	1	Iluminação	1	7	700	4.900	-	-	-
	2	Iluminação	1	7	700	-	4.900	-	-
	3	Iluminação	1	7	700	-	-	4.900	-
	4	Iluminação	1	7	700	4.900	-	-	-
	5	Iluminação	1	7	700	-	4.900	-	-
	6	Iluminação	1	7	700	-	-	4.900	-
	13	Tomadas	1	4	100	400	-	-	-
	14	Tomadas	3	4	6.000	-	-	-	24.0
	15	Reserva	3	-	6.000	-	-	-	6.0
Subtotal						10.200	9.800	9.800	30.0
QDL2	7	Iluminação	1	7	700	4.900	-	-	-
	8	Iluminação	1	7	700	-	4.900	-	-
	9	Iluminação	1	7	700	-	-	4.900	-
	10	Iluminação	1	7	700	4.900	-	-	-
	11	Iluminação	1	7	700	-	4.900	-	-

	12	Iluminação	1	7	700	-	-	4.900	-
	16	Tomadas	3	6	6.000	-	-	-	36.0
	17	Tomadas	1	8	100	-	800	-	-
	18	Reserva	3	-	6.000	-	-	-	6.0
Subtotal						9.800	10.600	9.800	42.0
QDL3	19	Tomadas	1	15	100	-	-	1.500	-
	20	Tomadas	1	12	100	1.200	-	-	-
	21	Iluminação	1	68	40	-	2.720	-	-
	22	Iluminação	1	64	40	-	-	2.560	-
Subtotal						1.200	2.720	4.060	-
QDL4	23	Iluminação	1	36	40	1.440	-	-	-
	24	Iluminação	1	36	40	-	1.440	-	-
	25	Máquina de embalag.	1	1	1.900	-	-	1.900	-
Subtotal						1.440	1.440	1.900	-
QDL5	26	Tomadas	1	12	100	-	1.200	-	-
	27	Iluminação	1	32	40	-	1.280	-	-
	28	Iluminação	1	35	40	1.400	-	-	-

	29	Tomadas	1	18	100	-	1.800	-	-
	30	Iluminação	1	25	40	-	1.000	-	-
	31	Tomadas	1	32	100	3.200	-	-	-
	32	Iluminação	1	10	400	-	-	4.000	-
Subtotal						4.600	5.280	4.000	-
QDL6	33	Iluminação	1	12	40	-	-	480	-
	34	Iluminação	1	16	40	-	-	640	-
	35	Tomadas	1	26	100	-	2.600	-	-
	36	Iluminação	1	20	40	800	-	-	-
	37	Tomadas	3	2	6.000	-	-	-	12.000
Subtotal						800	2.600	1.120	12.000
Total						28.040	32.440	30.680	84.000

A.6.2.3 Demanda máxima da área industrial

A demanda individual de cada motor é dada pela expressão:

$$D_m = \frac{P_m \times 0,736}{F_p \times \eta} \times F_{um} \text{ (kVA)}$$

D_m = demanda dos motores, em kVA;

P_m = potência nominal do motor, em cv;

F_{um} - fator de utilização (*Tabela 1.3*);

F_p - fator de potência do motor (*Tabela 6.4*);

η = rendimento do motor (*Tabela 6.4*).

- Motores de 3 cv

$$D_m = \frac{3 \times 0,736}{0,73 \times 0,82} \times 0,83 = 3,06 \text{ kVA}$$

- Motores de 5 cv

$$D_m = \frac{5 \times 0,736}{0,83 \times 0,83} \times 0,83 = 4,43 \text{ kVA}$$

- Motores de 7,5 cv

$$D_m = \frac{7,5 \times 0,736}{0,81 \times 0,84} \times 0,83 = 6,73 \text{ kVA}$$

- Motores de 10 cv

$$D_m = \frac{10 \times 0,736}{0,85 \times 0,86} \times 0,83 = 8,35 \text{ kVA}$$

- Motores de 15 cv

$$D_m = \frac{15 \times 0,736}{0,75 \times 0,86} \times 0,83 = 14,20 \text{ kVA}$$

- Motores de 20 cv

$$D_m = \frac{20 \times 0,736}{0,86 \times 0,88} \times 0,85 = 16,53 \text{ kVA}$$

- Motores de 25 cv

$$D_m = \frac{25 \times 0,736}{0,84 \times 0,90} \times 0,85 = 20,68 \text{ kVA}$$

- Motores de 30 cv

$$D_m = \frac{30 \times 0,736}{0,83 \times 0,90} \times 0,85 = 25,12 \text{ kVA}$$

- Motores de 250 cv

$$D_m = \frac{250 \times 0,736}{0,87 \times 0,95} \times 0,87 = 193,68 \text{ kVA}$$

A.6.2.3.1 Demanda dos CCMs

A.6.2.3.1.1 CCM1

a) Batedores

$$D_a = N_m \times D_m \times F_{sm}$$

$$D_a = 2 \times 25,12 \times 0,80 = 40,19 \text{ kVA}$$

$N_m = 2$ (número de motores: veja planta 1, em anexo)

$$D_m = 25,15 \text{ kVA}$$

$$F_{sm} = 0,80 \text{ (veja Tabela 1.2)}$$

b) Cardas

$$D_b = 6 \times 6,73 \times 0,75 = 30,28 \text{ kVA}$$

$$D_{eml} = 40,19 + 30,28 = 70,47 \text{ kVA}$$

A.6.2.3.1.2 CCM2

a) Cortadeiras

$$D_c = 6 \times 4,43 \times 0,75 = 19,93 \text{ kVA}$$

b) Manteiras

$$D_d = 9 \times 3,06 \times 0,70 = 19,27 \text{ kVA}$$

$$D_{com2} = 19,93 + 19,27 = 39,20 \text{ kVA}$$

A.6.2.3.1.3 CCM3

a) Passadores

$$D_f = 7 \times 8,35 \times 0,75 = 43,83 \text{ kVA}$$

b) Encontreiras

$$D_g = 3 \times 4,43 \times 0,80 = 10,63 \text{ kVA}$$

$$D_{com3} = 43,83 + 10,63 = 54,46 \text{ kVA}$$

A.6.2.3.1.4 CCM4

a) Climatização

$$D_m = 2 \times 193,68 \times 0,90 = 348,62 \text{ kVA}$$

$$D_{com4} = 348,62 \text{ kVA}$$

A.6.2.3.1.5 CCM5

a) Maçaroqueiras

$$D_f = 3 \times 6,73 \times 0,80 = 16,15 \text{ kVA}$$

b) Teares

$$D_h = 6 \times 14,20 \times 0,75 = 63,90 \text{ kVA}$$

$$D_{com5} = 16,15 + 63,90 = 80,05 \text{ kVA}$$

A.6.2.3.1.6 CCM6

a) Conicaleiras

$$D_i = 8 \times 16,53 \times 0,75 = 99,18 \text{ kVA}$$

$$D_{com6} = 99,18 \text{ kVA}$$

A.6.2.3.1.7 CCM7

a) Filatórios II

$$D_k = 10 \times 25,12 \times 0,65 = 163,28 \text{ kVA}$$

$$D_{com7} = 163,28 \text{ kVA}$$

A.6.2.3.1.8 CCM8

a) Filatórios I

$$D_f = 10 \times 20,68 \times 0,65 = 134,42 \text{ kVA}$$

$$D_{com8} = 134,42 \text{ kVA}$$

Obs.: segundo observações feitas pelo autor, na aplicação das tabelas dos fatores de simultaneidade e de utilização em várias indústrias em operação no estado do Ceará, constatou-se que a demanda prevista em projeto, conforme a

metodologia anteriormente apresentada, se aproxima bastante da demanda máxima verificada por medição registrada no medidor de demanda, durante o período de operação das indústrias pesquisadas. Verificou-se, porém, que nas indústrias têxteis, de fiação e tecelagem, havia distorção de resultados, isto é, o valor de demanda previsto em projeto era inferior aos resultados registrados no medidor de demanda dessas indústrias. Em face dessas observações, cabe alertar ao projetista quanto à necessidade de conhecer o processo de operação das indústrias, antes de decidir aplicar os fatores de simultaneidade na carga motriz. Como regra geral, para as indústrias que mantêm em operação simultânea basicamente todas as máquinas de produção, como é o caso das indústrias têxteis, nas quais a curva de carga é aproximadamente plana durante um ciclo completo de atividade, somente devem ser aplicados os fatores de utilização. No entanto, para fins de exemplificação, o autor resolveu aplicar, por completo, a metodologia de cálculo da demanda máxima prevista para as cargas motrizes.

A.6.2.3.2 Demanda total dos CCMs

$$D_{ccm} = D_{ccm1} + D_{ccm2} + D_{ccm3} + D_{ccm4} + D_{ccm5} + D_{ccm6} + D_{ccm7} + D_{ccm8}$$

$$D_{ccm} = 70,47 + 39,20 + 54,46 + 348,62 + 80,05 + 99,18 + 163,28 + 134,42$$

$$D_{con} = 989,68 \text{ kVA}$$

A.6.2.4 Demanda máxima coincidente da indústria

$$D_{ind} = D_{qdl} + D_{com} + D_{exp} = 163,95 + 989,68 + 180$$

$$D_{exp} = 180 \text{ kVA (demanda de expansão prevista)}$$

$$D_{ind} = 1.333 \text{ kVA}$$

A.7 Determinação da potência da subestação

$$P_{se} = 2 \times 750 = 1.500 \text{ kVA}$$

A potência máxima sobejante da subestação vale:

$$P = 1.500 - 1.333 = 167 \text{ kVA}$$

A.8 Fator de potência

A.8.1 Cálculo do fator de potência previsto

A.8.1.1 Determinação das potências ativa e reativa por setor de produção

a) CCM1

$$30 \text{ cv} \rightarrow F_{p1} = 0,83$$

$$7,5 \text{ cv} \rightarrow F_{p2} = 0,81$$

$$P_a = 2 \times 30 \times 0,736 + 6 \times 7,5 \times 0,736 = 44,16 + 33,12 = 77,28 \text{ kW}$$

$$P_r = 44,16 \times \text{tg ar cos } 0,83 + 33,12 \times \text{tg ar cos } 0,81 = 53,65 \text{ kVAr}$$

b) CCM2

$$3 \text{ cv} \rightarrow F_{p1} = 0,73$$

$$5 \text{ cv} \rightarrow F_{p2} = 0,83$$

$$P_a = 9 \times 3 \times 0,736 + 6 \times 5 \times 0,736 = 19,87 + 22,08 = 41,95 \text{ kW}$$

$$P_r = 19,87 \times \operatorname{tg} \arccos 0,73 + 22,08 \times \operatorname{tg} \arccos 0,83 = 33,44 \text{ kVAr}$$

c) CCM3

$$5 \text{ cv} \rightarrow F_{p1} = 0,83$$

$$10 \text{ cv} \rightarrow F_{p2} = 0,85$$

$$P_a = 7 \times 10 \times 0,736 + 3 \times 5 \times 0,736 = 51,52 + 11,04 = 62,56 \text{ kW}$$

$$P_r = 51,52 \times \operatorname{tg} \arccos 0,85 + 11,04 \times \operatorname{tg} \arccos 0,83 = 39,34 \text{ kVAr}$$

d) CCM4

$$250 \text{ cv} \rightarrow F_{p1} = 0,87$$

$$P_a = 2 \times 250 \times 0,736 = 368,00 \text{ kW}$$

$$P_r = 368 \times \operatorname{tg} \arccos 0,87 = 208,55 \text{ kVAr}$$

e) CCM5

$$7,5 \text{ cv} \rightarrow F_{p1} = 0,81$$

$$15 \text{ cv} \rightarrow F_{p2} = 0,75$$

$$P_a = 3 \times 7,5 \times 0,736 + 6 \times 15 \times 0,736 = 16,56 + 66,24 = 82,80 \text{ kW}$$

$$P_r = 16,56 \times \operatorname{tg} \arccos 0,81 + 66,24 \times \operatorname{tg} \arccos 0,75 = 70,40 \text{ kVAr}$$

f) CCM6

$$20 \text{ cv} \rightarrow F_{p1} = 0,86$$

$$P_a = 8 \times 20 \times 0,736 = 117,76 \text{ kW}$$

$$P_r = 117,76 \times \text{tg ar cos } 0,86 = 69,87 \text{ kVAr}$$

g) CCM7

$$30 \text{ cv} \rightarrow F_{pl} = 0,83$$

$$P_a = 10 \times 30 \times 0,736 = 220,80 \text{ kW}$$

$$P_r = 220,80 \times \text{tg ar cos } 0,83 = 148,37 \text{ kVA}$$

h) CCM 8

$$25 \text{ cv} \rightarrow F_{pl} = 0,84$$

$$P_c = 10 \times 25 \times 0,736 = 184,00 \text{ kW} \quad P_r = 184,00 \times \text{tg ar cos } 0,84 = 118,85 \text{ kVAr}$$

i) Carga de iluminação

Como todos os reatores são compensados, está-se estimando o fator de potência médio de toda a carga de iluminação e tomadas igual a 0,90.

$$P_a = 147.560 \text{ W} = 147,56 \text{ kW} \text{ (já calculado na Seção A.6.2.2)}$$

$$P_r = 147,56 \times \text{tg ar cos } 0,90$$

$$P_r = 71,46 \text{ kVAr}$$

j) Fator de potência médio da carga total

$$P_{ta} = \Sigma P_{pa} = 77,28 + 41,95 + 62,56 + 368,00 + 82,80 + 117,76 + 220,80 + 184,00 + 147,56$$

$$P_{ta} = 1.302,71 \text{ kW}$$

$$P_{tr} = \Sigma P_r = 53,65 + 33,44 + 39,34 + 208,5S + 70,40 + 69,87 + 148,37 + 118,85 + 71,46$$

$$P_{tr} = 813,93\text{kW}$$

$$F_p = \cos \text{artg} \frac{P_{tr}}{P_{ta}} = \cos \text{artg} \frac{813,93}{1.302,71}$$

$$F_p = 0,84$$

A.8.2 Cálculo da correção do fator de potência

O fator de potência deve ser elevado para 0,92, devendo-se manter aproximadamente fixo com a operação contínua do banco de capacitores, já que o fator de carga da indústria é muito elevado.

$$P_c = P_{ta} \times (\text{tg}\psi_1 - \text{tg}\psi_2)$$

$$\psi_1 = \ar \cos 0,84 = 32,8^\circ$$

$$\psi_2 = \ar \cos 0,92 = 23,0^\circ$$

$$P_c = 1.302,71 \times (\text{tg} 32,8 - \text{tg} 23,0) = 286 \text{ kVAr}$$

A.8.3 Potência nominal do banco de capacitores

$$N_{uc} = \frac{286}{25} = 11,4 \rightarrow N_{uc} = 12$$

$$P_{bc} = 2 \times 6 \times 25 = 300 \text{ WAR (2 bancos de capacitores de 150 kVAr)}$$

A.9 Determinação da seção dos condutores e eletrodutos

Foi considerado que a temperatura ambiente é de 30 °C.

A.9.1 Circuitos terminais de iluminação e tomadas

Todos os condutores são de cobre, isolados em PVC/70 °C e embutidos em eletrodutos. Os eletrodutos aparentes são de ferro galvanizado (série extra), enquanto os eletrodutos embutidos nas paredes são de PVC, classificação B. A queda máxima de tensão admitida é de 2 %.

- Circuitos de 1 a 12: iluminação (circuito em eletroduto aparente)
 - Capacidade de corrente

$$I_c = \frac{P_c}{V \times \cos \psi} = \frac{4.900}{220 \times 0,90} = 24,7 \text{ A}$$

$I_c = 24,7 \text{ A} \rightarrow S_c = 4 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.66 — para 2 condutores carregados — referência B1 da [Tabela 3.4](#) — método de instalação 3 – condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente e de seção circular sobre parede ou espaçado da mesma.)

- Fator de correção para agrupamento

$$N_{\text{cir}} = 4 \rightarrow Fa = 0,65 \text{ (Tabela 3.15)}$$

Foi considerado o trecho de eletroduto de subida do QDL1 até a primeira luminária (circuitos 1-2-3-4).

$$I_c = \frac{24,7}{0,65} = 38 \text{ A} \rightarrow S_c = 6 \text{ mm}^2$$

- Queda da tensão (para a condição mais severa: 53 m)

De forma simplificada e de acordo com a Equação (3.16), tem-se:

$$S_c = \frac{200 \times \rho \times L_c \times I_c}{V \times \Delta V \%} = \frac{200 \times (1/56) \times 53 \times 24,7}{220 \times 2} = 10,6 \text{ mm}^2$$

– Condutor adotado: $S_c = 16 \text{ mm}^2$

Ou ainda pela [Tabela 3.11](#):

$$P_c = 5.000 \text{ W} \rightarrow L_c = 60\text{m} \rightarrow S_c = 16 \text{ mm}^2$$

– Eletroduto para cada linha de luminárias

Da [Tabela 3.44](#), obtém-se a seção externa dos condutores:

$$S_c = 4 \times 37,4 = 149,6 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Tabela 3.43} - \text{coluna: } > 3 \text{ cabos extra}) \rightarrow \phi d = 1''$$

– Eletroduto de subida dos circuitos 1-2-3-4

$$S_{ei} = 4 \times 4 \times 37,4 = 598,4 \text{ mm}^2 \rightarrow (\text{Tabela 3.43} - \text{coluna: } > \text{ cabos extra}) \rightarrow \phi = 2''$$

- Circuito 13: tomadas monofásicas (circuito em eletroduto aparente)

$$P_c = 400 \text{ W} \quad I_c = 1,8 \text{ A} \rightarrow S_c = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo)}$$

- Fator de correção para agrupamento

$$N_{\text{cir}} = 2 \rightarrow F_a = 0,8$$

$$I_c = \frac{1,8}{0,80} = 2,25 \text{ A}$$

Em função da seção do circuito 14 adiante calculado que deve ocupar o mesmo eletroduto, a seção do circuito 13 será , o que caracteriza um grupo de *cabos semelhantes*. De acordo com a Seção 3.5.1.1.4.3 do Capítulo 3, os condutores do circuito 13 não devem ser contados para compor o número de cabos se conduzirem menos que 30 % de sua capacidade de corrente, ou seja:

$$\frac{1,8}{36} \times 100 = 5 \%$$

– Eletroduto

$$S_{ei} = 2 \times 18,8 = 37,6 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{ei} = 1/2'' \text{ (utilizado nas derivações)}$$

- Circuito 14: tomadas trifásicas (circuito em eletroduto aparente)
 - Capacidade de corrente

$$I_c = \frac{P_c}{V \times \cos \psi} = 4 \times \frac{6.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 4 \times 10,12 = 40,5 \text{ A (cabos de saída do QDL1)}$$

$I_c = 40,5 \text{ A} \rightarrow S_c = 10 \text{ mm}^2$ (referência: método de instalação 3 — [Tabela 3.4](#) — coluna B1 para 3 condutores carregados da [Tabela 3.6](#)).

- Queda da tensão (para a condição mais severa: 25 m e 3 tomadas)

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3} \times I_c \times L_c \times (R \times \cos \phi + X \times \sin \phi)}{10 \times N_{cp} \times V_{ff}}$$

$$\ar \cos 0,90 = 25,84^\circ$$

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3} \times 3 \times 10,12 \times 25 \times (2,2221 \times \cos 25,84 + 0,1207 \times \sin 25,84)}{10 \times 1 \times 380} = 0,71 \%$$

Os valores de R e X são dados na [Tabela 3.22](#).

De forma simplificada, tem-se:

$$S_c = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{V \times \Delta V \%} = \frac{173,2 \times (1/56) \times (50/2) \times 3 \times 10,12}{380 \times 2} = 3,0 \text{ mm}^2 \text{ (veja o circuito na planta 2)}$$

- Condutor de fase adotado: $S_c = 10 \text{ mm}^2$
- Condutor de proteção: $S_p = 10 \text{ mm}^2$
- Eletroduto: circuito 14

$$S_{el} = 4 \times 37,4 + 3 \times 18,8 = 206 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1''$$

- Circuito 15: reserva
- Circuito 16: tomadas trifásicas
 - Capacidade de corrente

$$I_c = \frac{P_c}{V \times \cos \psi} = 6 \times \frac{6.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 6 \times 10,12 = 60,7 \text{ A (cabos de saída do QDL2)}$$

$I_c = 60,6 \text{ A} \rightarrow S_c = 16 \text{ mm}^2$ (método de instalação 3 — [Tabela 3.4](#) — coluna B1 para 3 condutores carregados da [Tabela 3.6](#)).

- Fator de correção para agrupamento

$$N_{cir} = 2 \rightarrow F_a = 0,80$$

$$\frac{60,7}{0,80} = 75,8 \rightarrow S_c = 25 \text{ mm}^2 \text{ (queda da tensão para a condição mais severa: 25 m e 4 tomadas)}$$

$$S_c = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{V \times \Delta V \%} = \frac{173,2 \times (1/56) \times (50/2) \times 4 \times 10,1}{380 \times 2} = 4,1 \text{ mm}^2 \text{ (veja o circuito na planta 2)}$$

- Conductor adotado: $S_c = 25 \text{ mm}^2$
- Conductor de proteção: $S_p = 16 \text{ mm}^2$
- Eletroduto: circuito 16

$$S_{el} = 3 \times 56,7 + 1 \times 37,4 + 3 \times 27,3 = 289,4 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi = 1 1/4''$$

$$S_{el} = 3 \times 56,7 + 1 \times 37,4 = 207,5 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1''$$

- Circuito 17: tomadas monofásicas

A partir deste ponto, a seção dos condutores será determinada de forma expedita, utilizando-se a [Tabela 3.11](#). Será omitido doravante o cálculo da seção dos eletrodutos. O leitor deve seguir o mesmo método anterior. O valor de L_c é tomado pela metade do comprimento em planta do circuito que corresponde ao centro de carga. Será aplicado o método de instalação 7 —

Tabela 3.4 e método de referência B1.

$$P_c = 800 \text{ W} \rightarrow I_c = 4,0 \text{ A} \rightarrow L_c = 20 \text{ m} \rightarrow S_c = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo)}$$

Como os circuitos 16 e 17 estão no mesmo eletroduto, a seção mínima do circuito 17 vale $S_c = 10 \text{ mm}^2$, o que resulta em um eletroduto de $\varphi_{el} = 1/2''$. Como também os condutores do circuito 17 conduzem apenas 19 % da capacidade nominal dos condutores, logo não será aplicado nenhum fator de agrupamento.

- Circuito 18: reserva
- Circuito 19: tomadas

$$P_c = 1.500 \text{ W} \rightarrow I_c = 7,5 \text{ A} \rightarrow L_c = 17 \text{ m} \rightarrow S_c = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo)}$$

- Circuito 20: tomadas

$$P_c = 1.200 \text{ W} \rightarrow I_c = 6,0 \text{ A} \rightarrow L_c = 10 \text{ m} \rightarrow S_c = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo)}$$

- Circuito 21: iluminação

$$P_c = 2.720 \text{ W} \rightarrow I_c = 13,7 \text{ A} \rightarrow L_c = 8 \text{ m} \rightarrow S_c = 1,5 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{cir}} = 2 \rightarrow F_a = 0,80 \rightarrow I_c = \frac{13,7}{0,80} = 17,1 \text{ A} \rightarrow L_c = 8 \text{ m} \rightarrow S_c = 1,5 \text{ mm}^2$$

De acordo com a Seção A.13.1.3 deste Apêndice, o condutor deve ter seção

- Circuito 22 (iluminação):

$$P_c = 2.560 \text{ W} \rightarrow I_c = 12,9 \text{ A} \rightarrow L_c = 9 \text{ m} \rightarrow S_c = 1,5 \text{ mm}^2$$

- Circuito 23: iluminação

$$P_c = 1.440 \text{ W} \rightarrow I_c = 7,2 \text{ A} \rightarrow S_c = 15 \text{ mm}^2$$

- Circuito 24: iluminação

$$P_c = 1.440 \text{ W} \rightarrow I_c = 7,2 \text{ A} \rightarrow S_c = 1,5 \text{ mm}^2$$

- Circuito 25 (máquina de embalagem)

$$P_c = 1.900 \text{ W} \rightarrow I_c = 9,5 \text{ A} \rightarrow S_c = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo)}$$

- Circuito 26: tomadas

$$P_c = 1.200 \text{ W} \rightarrow I_c \rightarrow 6,0 \text{ A} \rightarrow L_c = 18 \text{ m} \rightarrow S_c = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo)}$$

- Circuito 27: iluminação

$$P_c = 1.280 \text{ W} \rightarrow I_c = 6,4 \text{ A} \rightarrow L_c = 17 \text{ m} \rightarrow S_c = 1,5 \text{ mm}^2$$

- Circuito 28: iluminação

$$P_c = 1.400 \text{ W} \rightarrow I_c = 7,0 \text{ A} \rightarrow L_c = 15 \text{ m} \rightarrow S_c = 1,5 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{cir}} = 2 \rightarrow F_a = 0,80 \rightarrow I_c = \frac{6,3}{0,80} = 7,8 \text{ A} \rightarrow L_c = 15 \text{ m} \rightarrow S_c = 1,5 \text{ mm}^2$$

- Circuito 29: tomadas

$$P_c = 1.800 \text{ W} \rightarrow I_c = 9,0 \text{ A} \rightarrow L_c = 15 \text{ m} \rightarrow S_c = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo)}$$

$$N_{\text{cir}} = 2 \rightarrow F_a = 0,80 \rightarrow I_c = \frac{9,0}{0,80} = 11,2 \text{ A} \rightarrow L_c = 15 \text{ m} \rightarrow S_c = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo)}$$

- Circuito 30: iluminação

$$P_c = 1.000 \text{ W} \rightarrow I_c = 5 \text{ A} \rightarrow L_c = 25 \text{ m} \rightarrow S_c = 1,5 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{cir}} = 2 \rightarrow F_a = 0,80 \rightarrow I_c = \frac{5,0}{0,80} = 6,2 \text{ A} \rightarrow L_c = 25 \text{ m} \rightarrow S_c = 1,5 \text{ mm}^2$$

- Circuito 31: tomadas

$$P_c = 3.200 \text{ W} \rightarrow I_c = 16,1 \text{ A} \rightarrow L_c = 35\text{m} \rightarrow S_c = 4 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{cir}} = 2 \rightarrow F_a = 0,80 \rightarrow I_c = \frac{16,1}{0,80} = 20 \text{ A} \rightarrow L_c = 35 \text{ m} \rightarrow S_c = 6 \text{ mm}^2$$

- Circuito 32: iluminação

$$P_c = 4.000 \text{ W} \rightarrow I_c = 20,2 \text{ A on } 2.800 \text{ W} \rightarrow L_c = 60\text{m} \rightarrow I_c = 14,1\text{A} \rightarrow S_c = 10 \text{ mm}^2$$

O valor de 2.800 W corresponde à parte do circuito mais carregada (veja planta 2).

- Circuito 33: iluminação

$$P_c = 480 \text{ W} \rightarrow I_c = 2,4 \text{ A} \rightarrow L_c = 15 \text{ m} \rightarrow S_c = 1,5 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{cir}} = 2 \rightarrow F_a = 0,80 \rightarrow I_c = \frac{2,4}{0,80} = 3,0 \text{ A} \rightarrow L_c = 15 \text{ m} \rightarrow S_c = 1,5 \text{ mm}^2$$

- Circuito 34: iluminação

$$P_c = 640 \text{ W} \rightarrow I_c = 3,2 \text{ A} \rightarrow L_c = 10 \text{ m} \rightarrow S_c = 1,5 \text{ mm}^2$$

$$N_{\text{cir}} = 2 \rightarrow F_a = 0,80 \rightarrow I_c = \frac{3,2}{0,80} = 4,0 \text{ A} \rightarrow L_c = 10 \text{ m} \rightarrow S_c = 1,5 \text{ mm}^2$$

- Circuito 35: tomadas

$$P_c = 2.600 \text{ W} \rightarrow I_c = 13,1 \text{ A} \rightarrow L_c = 10 \text{ m} \rightarrow S_c = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo)}$$

$$N_{\text{cir}} = 2 \rightarrow F_a = 0,80 \rightarrow I_c = \frac{13,1}{0,80} = 16,3 \text{ A} \rightarrow L_c = 10 \text{ m} \rightarrow S_c = 2,5 \text{ mm}^2$$

- Circuito 36: iluminação

$$P_c = 800\text{W} \rightarrow I_c = 4,0\text{A} \rightarrow L_c = 13\text{m} \rightarrow S_c = 1,5\text{mm}^2$$

- Circuito 37: tomadas trifásicas

$$P_c = 12.000\text{ W} \rightarrow I_c = 20,2\text{ A} \rightarrow L_c = 12\text{ m} \rightarrow S_c = 2,5\text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo)}$$

$$N_{\text{cr}} = 2 \rightarrow F_a = 0,80 \rightarrow I_c = \frac{20,2}{0,80} = 25,0\text{ A} \rightarrow L_c = 12\text{ m} \rightarrow S_c = 2,5\text{ mm}^2$$

De acordo com a Seção 13.1.6 deste Apêndice, o condutor deve ter seção:

$$S_c = 4\text{ mm}^2$$

$$S_p = 4\text{ mm}^2$$

A.9.2 Circuitos terminais dos motores

Condições de todos os circuitos para os condutores de fase, neutro e de proteção: condutor unipolar em PVC/70 °C embutido em eletroduto de PVC e queda de tensão máxima permitida de 2 %. O menor eletroduto utilizado deve ser de 1/2". Os eletrodutos serão de PVC, classificação B. Os eletrodutos serão enterrados sob o piso (método de instalação 61A — método de referência D). Admitir que a resistividade térmica do solo é de 2,5 K·m/W. Como não é permitido instalar condutor nu no interior de eletroduto, o condutor de proteção é da mesma característica do condutor de fase.

A.9.2.1 CCM1

A.9.2.1.1 Motor A: 30 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$I_c = 43,3 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 10 \text{ mm}^2$ (Tabela 3.4 - método de instalação nº 61A - referenda D)

- Limite da queda de tensão

$$\arccos 0,83 = 33,90^\circ$$

$$\Delta V_c = \frac{\sqrt{3} \times 43,3 \times 5 \times 25 \times (2,2221 \times \cos 33,90 + 0,1207 \times \sin 33,90)}{10 \times 1 \times 380} = 0,18 \%$$

Os valores de R e X são dados na Tabela 3.22.

$$S_{cf} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 5 \times 43,3}{2 \times 380} = 0,88 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 10 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$$S_{cf} = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cq} = 10 \text{ mm}^2$$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$$S_{el} = 3 \times S_{ecf} + 1 \times S_{ecp}$$

$$S_{el} = 3 \times 50,2 + 1 \times 50,2 = 200,8 \text{ mm}^2 \text{ (Tabela 3.46 - classificação B: } > 3 \text{ cabos - 40\%)} \rightarrow \phi_{el} = 1''$$

$$S_{ecf} = 50,2 \text{ mm}^2 \text{ (Tabela 3.46)}$$

S_{ecf} = seção externa do condutor fase

S_{ecp} = seção externa do condutor de proteção

$$S_{cp} = 10 \text{ mm}^2$$

A.9.2.1.2 Motor B: 7,5 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução da corrente

$$I_c = 11,9 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor m\u00ednimo permitido)}$$

- Fator de corre\u00e7\u00e3o de agrupamento

$$N_{cir} = 6 \rightarrow F_a = 0,57$$

$$I_c = \frac{11,9}{0,57} = 20,8 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tens\u00e3o

$$S_{cf} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 30 \times 11,9}{2 \times 380} = 1,45 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2$$

- Se\u00e7\u00e3o adotada: $S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2$

b) Condutor de prote\u00e7\u00e3o

$$S_{cf} 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 2,5 \text{ mm}^2$$

c) Eletroduto de liga\u00e7\u00e3o individual dos motores

$$S_{el} = 3 \times 28,2 + 1 \times 28,2 = 112,8 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 3/4''$$

$$S_{ecf} = 28,2 \text{ mm}^2 \text{ (Tabela 3.46)}$$

d) Eletrodutos de distribui\u00e7\u00e3o

- Trecho 1 – 2

$$S_{el} = 6 \times 3 \times 28,2 + 1 \times 28,2 = 535,8 \text{ mm}^2 \text{ (Tabela 3.46 - classifica\u00e7\u00e3o B - 3 cabos: >40 \%)} \rightarrow \phi_{el} = 1 \frac{1}{2}''$$

- Trecho 2 – 3

$$S_{el} = 4 \times 3 \times 28,2 + 1 \times 28,2 = 366,6 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1\frac{1}{4}''$$

- Trecho 3 – 4

$$S_{el} = 2 \times 3 \times 28,2 + 1 \times 28,2 = 197,4 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1''$$

A.9.2.2 CCM2

A.9.2.2.1 Motor C: 5 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_c = 7,9 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo permitido)}$$

- Fator de correção de agrupamento

$$N_{cir} = 15 \rightarrow F_a = 0,45$$

$$I_c = \frac{7,9}{0,45} = 17,5 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 25 \times 7,9}{2 \times 380} = 0,80 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 25 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$$S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 2,5 \text{ mm}^2$$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$$S_{el} = 3 \times 28,2 + 1 \times 28,2 = 112,8 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 3/4''$$

A.9.2.2.2 Motor D: 3 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução da corrente

$$I_c = 5,5 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo permitido)}$$

- Fator de correção de agrupamento

$$N_{cir} = 15 \rightarrow F_a = 0,45$$

$$I_c = \frac{5,5}{0,45} = 12,2 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 26 \times 5,5}{2 \times 380} = 0,58 \text{ mm}^2$$

- Seção adotada: $S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$$S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 2,5 \text{ mm}^2$$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$$S_{el} = 3 \times 28,2 + 1 \times 28,2 = 112,8 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 3/4''$$

d) Eletrodutos de distribuição

- Trecho 1 – 2

$$S_{el} = 15 \times 3 \times 28,2 + 1 \times 28,2 = 1.297,2 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 2\frac{1}{2}''$$

- Trecho 2 – 3

$$S_{el} = 7 \times 3 \times 28,2 + 2 \times 28,2 = 620,4 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 2''$$

- Trechos 3 – 4, 2 – 5, 6 – 7 e 8 – 9

$$S_{el} = 2 \times 3 \times 28,2 + 1 \times 28,2 = 197,4 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1''$$

- Trecho 2 – 6

$$S_{el} = 7 \times 3 \times 28,2 + 1 \times 28,2 = 620,4 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 2''$$

- Trecho 6 – 8

$$S_{el} = 3 \times 3 \times 28,2 + 1 \times 28,2 = 282 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1\frac{1}{4}''$$

A.9.2.3 CCM3

A.9.2.3.1 Motor F: 10 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_c = 15,4 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor m}^\text{c}nimo permitido)$$

- Fator de correção de agrupamento

$$N_{\text{c\`{i}r}} = 7 \rightarrow F_a = 0,54$$

$$I_c = \frac{15,4}{0,54} = 28,5 \text{ A} \rightarrow S_{\text{cf}} = 4 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tens\~{a}o

$$S_{\text{cf}} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V\% \times V_{\text{ff}}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 20 \times 15,4}{2 \times 380} = 1,2 \text{ mm}^2$$

- Se\~{c}o\~{a} adotada: $S_{\text{cf}} = 4 \text{ mm}^2$

b) Condutor de prote\~{c}o\~{a}

$$S_{\text{cf}} = 4 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{cp}} = 4 \text{ mm}^2$$

c) Eletroduto de liga\~{c}o\~{a} individual dos motores

$$S_{\text{el}} = 3 \times 36,3 + 1 \times 36,3 = 145,2 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{\text{el}} = 1''$$

A.9.2.3.2 Motor G: 5 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condu\~{c}o\~{a} da corrente

$$I_c = 7,9 \text{ A} \rightarrow S_{\text{cf}} = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor m\`{i}nimo permitido)}$$

- Fator de corre\~{c}o\~{a} de agrupamento

$$N_{\text{c\`{i}r}} = 3 \rightarrow F_a = 0,70$$

$$I_c = \frac{7,9}{0,70} = 11,2 \text{ A} \rightarrow S_{\text{cf}} = 2,5 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tens\~{a}o

$$S_{cf} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 17 \times 7,9}{2 \times 380} = 0,54 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$$S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 2,5 \text{ mm}^2$$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$$S_{el} = 3 \times 28,2 + 1 \times 28,2 = 112,8 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = \frac{3}{4}''$$

d) Eletrodutos de distribuição

- Trecho 1 – 2

$$S_{el} = 7 \times 3 \times 36,3 + 1 \times 36,3 = 798,6 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 2''$$

- Trecho 3 – 4

$$S_{el} = 3 \times 3 \times 36,3 + 1 \times 36,3 = 363 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1 \frac{1}{4}''$$

- Trecho 1 – 5

$$S_{el} = 3 \times 3 \times 28,2 + 1 \times 28,2 = 282 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 1 \frac{1}{4}''$$

A.9.2.4 CCM4

A.9.2.4.1 Motor M: 250 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$I_c = 327,4 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 300 \text{ mm}^2$ (método de instalação 61 A - referenda D)

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 10 \times 327,4}{2 \times 380} = 13,3 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 300 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$$S_{cf} = 300 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 150 \text{ mm}^2$$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$$S_{el} = 3 \times S_{ecf} + 1 \times S_{ecp}$$

$$S_{ecf} = 683,5 \text{ mm}^2 \text{ (Tabela 3.45)}$$

$$S_{ecp} = 359,6 \text{ mm}^2 \text{ (Tabela 3.45)}$$

$$3 \times 683,5 + 1 \times 359,6 = 2.410,1 \text{ mm}^2 \rightarrow \phi_{el} = 3'' \text{ (ago-carbono extra)}$$

A.9.2.5 CCM5

A.9.2.5.1 Motor E: 7,5 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_c = 11,9 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo permitido)}$$

- Fator de correção de agrupamento

$$N_{\text{cir}} = 9 \rightarrow F_a = 0,50$$

$$I_c = \frac{11,9}{0,50} = 23,8 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 2,5 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 20 \times 11,9}{2 \times 380} = 0,96 \text{ mm}^2$$

- Seção adotada: $S_{cf} = 4 \text{ mm}^2$

Obs.: veja a observação da Seção A.9.2.5.2.

b) Condutor de proteção

$$S_{cf} = 4 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 4 \text{ mm}^2$$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$$S_{el} = 3 \times 36,3 + 1 \times 36,3 = 145,2 \text{ mm}^2 \rightarrow \varphi_{el} = 1''$$

A.9.2.5.2 Motor H: 15 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução da corrente

$$I_c = 26,0 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 4 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção de agrupamento

$$N_{\text{cir}} = 9 \rightarrow F_a = 0,50$$

$$I_c = \frac{26,0}{0,50} = 52,0 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 10 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 18 \times 26}{2 \times 380} = 1,9 \text{ mm}^2$$

- Seção adotada: $S_{cf} = 10 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$$S_{cf} = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 10 \text{ mm}^2$$

Obs.: como não é permitido instalar no mesmo duto condutores com 4 seções de diferença, optou-se por elevar a seção dos condutores dos motores de 7,5 cv de 2,5 mm² para 4 mm², ou seja: 4 – 6 – 10 mm², caracterizando assim um agrupamento de *cabos semelhantes*. Poder-se-ia optar pela adoção de eletrodutos separados para os motores de 7,5 e 15 cv.

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$$S_{el} = 3 \times 50,2 + 1 \times 50,2 = 200,8 \text{ mm}^2 \rightarrow \varphi_{el} = 1''$$

d) Eletrodutos de distribuição

- Trecho 1 – 2

$$S_{el} = 3 \times 3 \times 36,3 + 6 \times 3 \times 50,2 + 1 \times 36,3 + 1 \times 50,2 = 1.316,8 \text{ mm}^2 \rightarrow \varphi_{el} = 2\frac{1}{2}''$$

- Trecho 2 – 3

$$S_{el} = 3 \times 3 \times 36,3 + 3 \times 3 \times 50,2 + 1 \times 36,3 + 1 \times 50,2 = 865,0 \text{ mm}^2 \rightarrow \varphi_{el} = 2''$$

- Trecho 3 – 4

$$S_c = 3 \times 3 \times 50,2 + 1 \times 50,2 = 502,0 \text{ mm}^2 \rightarrow \varphi_{el} = 1\frac{1}{2}''$$

- Trecho 3 – 5

$$S_{el} = 3 \times 3 \times 36,3 + 1 \times 36,3 = 363 \text{ mm}^2 \rightarrow \varphi_{el} = 1\frac{1}{4}''$$

A.9.2.6 CCM6

A.9.2.6.1 Motor I: 20 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_c = 28,8 \text{ A} \rightarrow S_{cf} \text{ mm}^2$$

- Fator de correção de agrupamento

$$N_{cir} = 8 \rightarrow F_a = 0,52$$

$$I_c = \frac{28,8}{0,52} = 55,3 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 16 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 24 \times 28,8}{2 \times 380} = 2,8 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 16 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$$S_{cf} = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 16 \text{ mm}^2$$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$$S_{el} = 3 \times 63,6 + 1 \times 63,6 = 254,4 \text{ mm}^2 \rightarrow \varphi_{el} = 1\frac{1}{4}''$$

d) Eletrodutos de distribuição

- Trecho 1 – 2

$$S_{el} = 8 \times 3 \times 63,6 + 1 \times 63,6 = 1.590 \text{ mm}^2 \rightarrow \varphi_{el} = 3''$$

- Trecho 2 – 3

$$S_{el} = 4 \times 3 \times 63,6 + 1 \times 63,6 = 826,8 \text{ mm}^2 \rightarrow \varphi_{el} = 2''$$

A.9.2.7 CCM7

A.9.2.7.1 Motor K: 30 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_c = 43,3 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 10 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção de agrupamento

$$N_{cir} = 5 \rightarrow F_a = 0,60$$

$$I_c = \frac{43,3}{0,60} = 72,1 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 25 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 22 \times 43,3}{2 \times 380} = 3,8 \text{ mm}^2$$

- Seção adotada: $S_{cf} = 25 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$$S_{el} = 25 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 16 \text{ mm}^2$$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$$S_{el} = 3 \times 91,6 + 1 \times 63,6 = 338,4 \text{ mm}^2 \rightarrow \varphi_{el} = 1\frac{1}{4}''$$

d) Eletrodutos de distribuição

- Trechos 1 – 2 e 1 – 3

$$S_{el} = 5 \times 3 \times 91,6 + 1 \times 63,6 = 1.437,6 \rightarrow \varphi_{el} = 3''$$

- Trechos 2 – 4 e 3 – 5

$$S_{el} = 3 \times 3 \times 91,6 + 1 \times 63,6 = 888 \text{ mm}^2 \varphi_{el} = 2\frac{1}{2}''$$

A.9.2.8 CCM8

A.9.2.8.1 Motor J: 25 cv

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_c = 35,5 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 6 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção de agrupamento

$$N_{cir} = 10 \rightarrow F_a = 0,50$$

$$I_c = \frac{35,5}{0,50} = 71,0 \text{ A} \rightarrow S_{cf} = 25 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{cf} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 23 \times 35,5}{2 \times 380} = 3,3 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{cf} = 25 \text{ mm}^2$

b) Condutor de proteção

$$S_{el} = 25 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{cp} = 16 \text{ mm}^2$$

c) Eletroduto de ligação individual dos motores

$$S_{el} = 3 \times 91,6 + 1 \times 63,6 = 338,4 \text{ mm}^2 \rightarrow \varphi_{el} = 1\frac{1}{4}"$$

d) Eletrodutos de distribuição

- Trecho 1 – 2

$$S_{el} = 10 \times 3 \times 91,6 + 1 \times 63,6 = 2.811,6 \text{ mm}^2 \rightarrow \varphi_{el} = 3\frac{1}{4}" \text{ (eletroduto de aço-carbono — Tabela 3.43)}$$

- Trecho 2 – 3

$$S_{el} = 6 \times 3 \times 91,6 + 1 \times 63,6 = 1.712,4 \text{ mm}^2 \rightarrow \varphi_{el} = 3"$$

A.9.3 Circuitos de distribuição dos CCMs e QDLs

Condições de todos os circuitos para os condutores de fase, neutro e de proteção: condutor unipolar, isolamento em PVC/70 °C embutido em canaleta fechada (método de instalação 61 — referência D da Tabela 3.4) e queda de tensão máxima permitida de 3 %. Os cabos são instalados juntos na canaleta, sem espaçamento entre eles. Cada circuito será instalado no interior da canaleta na formação trifólio, amarrado com abraçadeira plástica e identificado por plaquetas. Para cada circuito será determinada a seção do condutor de proteção para que se possa, no final, indicar a maior seção do

condutor de proteção como uma única seção para cada linha de dutos: 1) canaleta na direção QGF – CCM8; 2) canaleta na direção QGF – CCM6. O condutor de proteção é nu.

A.9.3.1 Circuito QGF – QDL1

Será instalado na canaleta 1 (veja planta 1).

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{qdl1} = \frac{D_{qdl1}}{\sqrt{3} \times V_{ff}} = \frac{47.860}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 80,7 \text{ A} \rightarrow S_{qdl1} = 25 \text{ mm}^2 \text{ (Tabela 3.6, de acordo com o método de instalação 61 — Tabela 3.4 — método de referência D)}$$

- Fator de correção de agrupamento para a linha de duto QGF – CCM8

$N_{cond} = 3 \text{ circuitos} \times 4 \text{ condutores carregados (QDL1 – QDL3 – QDL4)} + 2 \text{ circuitos} \times 3 \text{ condutores carregados (CCM7 – CCM8)} = 12 + 6 = 18$ condutores carregados.

Como o CCM7 e o CCM8 deverão ser alimentados cada um por um circuito com 2 condutores por fase, logo o valor $N_{cond} = 18 + 6 = 24$ condutores carregados. Veja Seção A.9.3.13 deste Apêndice.

$$N_{cond} = 24 \text{ condutores}$$

$$N_{cir} = \frac{24}{3} = 8 \rightarrow F_a = 0,52$$

$$I_{qdl1} = \frac{80,7}{0,52} = 155,1 \text{ A} \rightarrow S_{qdl4} = 95 \text{ mm}^2 \text{ (Tabela 3.6 – coluna D para 3 condutores carregados)}$$

- Limite da queda de tensão

Como as quedas de tensão são pequenas, calculamos os seus valores pela fórmula simplificada.

$$S_{qdl1} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 32 \times 80,7}{3 \times 380} = 7,0 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{qdl1} = 95 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$$S_{qdl1} = 95 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nqdl1} = 50 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$$S_{qdl1} = 95 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nqdl1} = 50 \text{ mm}^2$$

A.9.3.2 Circuito QGF – QDL2

Será instalado na canaleta 2 (veja planta 1).

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{qdl2} = \frac{D_{qdl2}}{\sqrt{3} \times V_{ff}} = \frac{56.540}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 95,4 \text{ A} \rightarrow S_{qdl2} = 35 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$N_{cond} = 3 \text{ circuitos} \times 4 \text{ condutores carregados (QDL2 – QDL5 – QDL6)} + 6 \text{ circuitos} \times 3 \text{ condutores carregados (CCM1 – CCM2 – CCM3 – CCM4 – CCM5 – CCM6)} = 12 + 18 = 30 \text{ condutores carregados.}$

Como os CCM4 e CCM6 deverão ser alimentados cada um por um circuito, respectivamente, com 4 e 2 condutores por fase, logo o valor $N_{cond} = 30 + 12 = 42$ condutores carregados. Veja as Seções A.9.3.10 e A.9.3.12 deste Apêndice.

$$N_{cir} = \frac{42}{3} = 14 \rightarrow F_a = 0,45$$

$$I_{qdl2} = \frac{95,4}{0,45} = 212 \text{ A} \rightarrow S_{qdl2} = 150 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{qdl2} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 92 \times 95,4}{3 \times 380} = 23,8 \text{ mm}^2$$

- Seção adotada: $S_{qdl2} = 150 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$$S_{qdl2} = 150 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nqdl2} = 70 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$$S_{qdl2} = 150 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pqdl2} = 70 \text{ mm}^2$$

A.9.3.3 Circuito QGF – QDL3

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{qdl3} = \frac{D_{qdl3}}{\sqrt{3} \times V_{ff}} = \frac{7.980}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 13,4 \text{ A} \rightarrow S_{qdl3} = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo permitido)}$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF –

CCM8

$$N_{\text{cond}} = 24 \text{ condutores}$$

$$N_{\text{cir}} = \frac{24}{3} = 8 \rightarrow F_a = 0,52$$

$$I_{qdl3} = \frac{13,4}{0,52} = 25,7 \text{ A} \rightarrow S_{qdl3} = 4 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{qdl3} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 48 \times 13,4}{3 \times 380} = 1,74 \text{ mm}^2$$

- Seção adotada: $S_{qdl3} = 4 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$$S_{qdl3} = 4 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nqdl4} = \text{mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$$S_{qdl3} = 4 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pqdl3} = 4 \text{ mm}^2$$

A.9.3.4 Circuito QGF – QDL4

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{qdl4} = \frac{D_{qdl4}}{\sqrt{3} \times V_{ff}} = \frac{4.780}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 8,0 \text{ A} \rightarrow S_{qdl4} = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor mínimo permitido)}$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM8

$$N_{\text{cond}} = 24 \text{ condutores} \quad N_{\text{cir}} = \frac{24}{3} = 8 \quad \rightarrow \quad F_a = 0,52$$

$$I_{\text{qdl4}} = \frac{8,0}{0,52} = 15,3 \text{ A} \quad \rightarrow \quad S_{\text{qdl6}} = 2,5 \text{ mm}^2 \text{ (valor m\u00ednimo permitido)}$$

Como os condutores de se\u00e7\u00e3o de 2,5 mm² conduzem 30 % de sua capacidade nominal de corrente, podem n\u00e3o ser considerados para efeito do fator de agrupamento.

- Limite da queda de tens\u00e3o

$$S_{\text{qdl4}} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 29 \times 8,0}{3 \times 380} = 0,62 \text{ mm}^2$$

- Se\u00e7\u00e3o adotada: $S_{\text{qdl4}} = 2,5 \text{ mm}^2$ (valor m\u00ednimo)

b) Condutor neutro

$$S_{\text{qdl4}} = 2,5 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \quad S_{\text{nqdl4}} = 2,5 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de prote\u00e7\u00e3o

$$S_{\text{qdl4}} = 2,5 \text{ mm}^2 \quad \rightarrow \quad S_{\text{pqdl3}} = 2,5 \text{ mm}^2$$

A.9.3.5 Circuito QGF – QDL5

a) Condutores de fase

- Capacidade de condu\u00e7\u00e3o de corrente

$$I_{\text{qdl5}} = \frac{D_{\text{qdl5}}}{\sqrt{3} \times V_{ff}} = \frac{13.880}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 23,4 \text{ A} \quad \rightarrow \quad S_{\text{qdl5}} = 2,5 \text{ mm}^2$$

- Fator de corre\u00e7\u00e3o para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$$N_{\text{cond}} = 42 \text{ condutores}$$

$$N_{\text{cir}} = \frac{42}{3} = 14 \rightarrow F_a = 0,45$$

$$I_{\text{qdl5}} = \frac{23,4}{0,45} = 52 \text{ A} \rightarrow S_{\text{qdl5}} = 10 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{\text{qdl5}} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 18 \times 23,4}{3 \times 380} = 1,1 \text{ mm}^2$$

- Seção adotada: $S_{\text{qdl5}} = 10 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$$S_{\text{qdl5}} = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{nqdl5}} = 10 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$$S_{\text{qdl5}} = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{pqdl5}} = 10 \text{ mm}^2$$

A.9.3.6 Circuito QGF – QDL6

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{\text{qdl6}} = \frac{D_{\text{qdl6}}}{\sqrt{3} \times V_{ff}} = \frac{16.520}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 27,8 \text{ A} \rightarrow S_{\text{qdl6}} = 4 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$$N_{\text{cond}} = 42 \text{ condutores}$$

$$N_{\text{cir}} = \frac{42}{3} = 14 \rightarrow F_a = 0,45$$

$$I_{\text{qdl6}} = \frac{27,8}{0,45} = 61,7 \text{ A} \rightarrow S_{\text{qdl6}} = 16 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{\text{qdl6}} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{\text{ff}}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 64 \times 27,8}{3 \times 380} = 4,8 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{\text{qdl6}} = 16 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$$S_{\text{qdl6}} = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{nqdl6}} = 16 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$$S_{\text{qdl6}} = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{pqdl6}} = 16 \text{ mm}^2$$

A.9.3.7 Circuito QGF – CCM1

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$S_{\text{can1}} = 2 \times 43,3 + 6 \times 11,9 = 158,0 \text{ A} \rightarrow S_{\text{con1}} = 95 \text{ mm}^2 \text{ (método de instalação n}^\circ \text{ 61 - referência D)}$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$$N_{\text{cond}} = 42 \text{ condutores}$$

$$N_{\text{cir}} = \frac{42}{3} = 14 \rightarrow F_a = 0,45$$

$$I_{\text{ccm1c}} = \frac{158,0}{0,45} = 351,1 \text{ A} \rightarrow S_{\text{ccm1c}} = 400 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{\text{ccm1}} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{\text{ff}}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 17 \times 158,0}{3 \times 380} = 7,2 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{\text{con1}} = 400 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$$S_{\text{ccm1}} = 400 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{nccm1}} = 240 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$$S_{\text{ccm1}} = 400 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{pccm1}} = 240 \text{ mm}^2$$

A.9.3.8 Circuito QGF – CCM2

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{\text{ccm2}} = 6 \times 7,9 + 9 \times 5,5 = 96,9 \text{ A} \rightarrow S_{\text{ccm2}} = 35 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$$I_{\text{ccm2c}} = \frac{96,6}{0,45} = 214,6 \text{ A} \rightarrow S_{\text{ccm2c}} = 150 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm2} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 47 \times 96,5}{3 \times 380} = 12,3 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{con2} = 150 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$$S_{ccm2} = 150 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nccm2} = 70 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$$S_{ccm2} = 150 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pccm2} = 70 \text{ mm}^2$$

A.9.3.9 Circuito QGF – CCM3

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{ccm3} = 7 \times 15,4 + 3 \times 7,9 = 131,5 \text{ A} \rightarrow S_{ccm3} = 70 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$$I_{ccm3c} = \frac{131,5}{0,45} = 292,2 \text{ A} \rightarrow S_{ccm3c} = 240 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm3} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 61 \times 131,5}{3 \times 380} = 21,7 \text{ mm}^2$$

– Seção adotada: $S_{con3} = 240 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$$S_{ccm3} = 240 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nccm3} = 120 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$$S_{ccm3} = 240 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pccm3} = 120 \text{ mm}^2$$

A.9.3.10 Circuito QGF – CCM4

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{ccm4} = 2 \times 327,4 = 654,8 \text{ A} \rightarrow S_{ccm4} = 2 \times 300 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$$I_{ccm4c} = \frac{654,8}{0,45} = 1.445,1 \text{ A}$$

$$\frac{I_{ccm4c}}{4} = \frac{1.445,1}{4} = 361,2 \text{ A} \rightarrow S_{ccm4c} = 4 \times 400 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm4} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 75 \times 654,8 / 4}{3 \times 380} = 33,3 \text{ mm}^2$$

- Seção adotada: $S_{ccm4} = 4 \times 400 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$$S_{ccm4} = 4 \times 400 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nccm4} = 2 \times 400 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$$S_{ccm4} = 4 \times 400 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pccm4} = 2 \times 400 \text{ mm}^2$$

A.9.3.11 Circuito QGF – CCM5

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{ccm5} = 3 \times 11,9 + 6 \times 26 = 191,7 \text{ A} \rightarrow S_{con5} = 120 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$$I_{ccm5c} = \frac{191,7}{0,45} = 426,0 \text{ A} \rightarrow S_{ccm5c} = 500 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm5} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 97 \times 191,7}{3 \times 380} = 50,4 \text{ mm}^2$$

- Seção adotada: $S_{con5} = 500 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$$S_{ccm5} = 500 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nccm5} = 185 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$$S_{ccm5} = 500 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pccm5} = 240 \text{ mm}^2$$

A.9.3.12 Circuito QGF – CCM6

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{ccm6} = 8 \times 28,8 = 230,4 \text{ A} \rightarrow S_{ccm6} = 150 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM6

$$I_{ccm6c} = \frac{230,4}{0,45} = 512,0 \text{ A} \rightarrow \frac{512}{2} = 256 \text{ A} \rightarrow S_{ccm6c} = 2 \times 185 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm6} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 115 \times 230,4 / 2}{3 \times 380} = 35,9 \text{ mm}^2$$

- Seção adotada: $S_{con6} = 2 \times 185 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$$S_{ccm6} = 2 \times 185 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nccm6} = 185 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$$S_{ccm6} = 2 \times 185 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pccm6} = 185 \text{ mm}^2$$

A.9.3.13 Circuito QGF – CCM7

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{ccm7} = 10 \times 43,3 = 433 \text{ A} \rightarrow S_{ccm7} = 500 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF –

CCM8

$$I_{ccm7c} = \frac{433}{0,52} = 832,6 \text{ A}$$

$$\frac{832,6}{2} = 416,3 \text{ A} \rightarrow S_{ccm7c} = 2 \times 500 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm1} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 57 \times 433 / 2}{3 \times 380} = 33,4 \text{ mm}^2$$

- Seção adotada: $S_{con7} = 2 \times 500 \text{ mm}^2$

b) Condutor neutro

$$S_{ccm7} = 2 \times 500 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{nccm7} = 1 \times 500 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$$S_{ccm7} = 2 \times 500 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pccm7} = 1 \times 500 \text{ mm}^2$$

A.9.3.14 Circuito QGF – CCM8

a) Condutores de fase

- Capacidade de condução de corrente

$$I_{ccm8} = 10 \times 35,5 = 355,0 \text{ A} \rightarrow S_{ccm8} = 400 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento para a linha de duto QGF – CCM8

$$I_{ccm8c} = \frac{355}{0,52} = 682 \text{ A}$$

$$\frac{682}{2} = 341,0 \text{ A} \rightarrow S_{ccm8c} = 2 \times 400 \text{ mm}^2$$

- Limite da queda de tensão

$$S_{ccm8} = \frac{173,2 \times \rho \times L_c \times I_c}{\Delta V \% \times V_{ff}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 87 \times 355,0 / 2}{3 \times 380} = 41,9 \text{ mm}^2$$

- Seção adotada:

b) Condutor neutro

$$S_{ccm8} = 2 \times 400 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pccms} = 400 \text{ mm}^2$$

c) Condutor de proteção

$$S_{ccm8} = 2 \times 400 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{pccms} = 400 \text{ mm}^2$$

A.9.3.15 Seção do condutor de proteção

Em cada linha de duto será instalado um condutor de proteção que atenda à condição de maior seção entre aquelas determinadas para cada circuito.

a) Canaleta na direção QGF – CCM8

$$S_{cp} = 2 \times 500 \text{ mm}^2 \text{ (condutor nu)}$$

b) Canaleta na direção QGF – CCM6

$$S_{cp} = 2 \times 400 \text{ mm}^2 \text{ (condutor nu)}$$

A.9.3.16 Dimensionamento das canaletas

Os cabos serão arranjados no interior das canaletas, conforme já explanado na Seção A.9.3. As dimensões da canaleta serão determinadas pelo o perímetro P_c que os cabos irão ocupar.

a) Canaleta na direção QGF - CCM8

$$P_c = 3 \times S_{95} + 1 \times S_{50N} + 3 \times S_4 + 1 \times S_{4N} + 3 \times S_{2,5} + 1 \times S_{2,5N} + 2 \times 3 \times S_{500} + 1 \times S_{500N} + \\ + 2 \times 3 \times S_{400} + 1 \times S_{400N} + 2 \times S_{500}$$

$$P_c = 3 \times 246 + 151,7 + 3 \times 36,3 + 1 \times 36,3 + 3 \times 28,2 + 1 \times 28,2 + 2 \times 3 \times 1.092,7 + 2 \times 1.092,7 + \\ 2 \times 3 \times 881,40 + 1 \times 881,40 + 1 \times 1.092,7$$

$$S_{can} = 16.059,1 \text{ mm}^2$$

$$S_{can} = \frac{29.102,4}{0,30} = 97.008 \text{ mm}^2$$

- Dimensões da canaleta: $500 \times 500 \text{ mm}$ (valor adotado) $\rightarrow P_c = 500 \times 500 = 250.000 \text{ mm}^2$

Obs.: os cabos devem ser arranjados no interior da canaleta de forma que os conjuntos em trifólio sejam reunidos em agrupamento de *cabos semelhantes*.

b) Canaleta na direção QGF – CCM6

$$P_c = 3 \times S_{150} + 1 \times S_{70N} + 3 \times S_{10} + 1 \times S_{10N} + 3 \times S_{16} + 1 \times S_{16N} + 3 \times S_{400} + 1 \times S_{240N} + 3 \times S_{150} +$$

$$+ 1 \times S_{70N} + 3 \times S_{240} + 1 \times S_{120N} + 4 \times 3 \times S_{400} + 2 \times S_{400N} + 3 \times S_{500} + 1 \times S_{185} + 2 \times 3 \times S_{185} +$$

$$1 \times S_{185N} + 2 \times S_{400N}$$

$$P_c = 3 \times 359,60 + 188,7 + 3 \times 50,2 + 1 \times 50,2 + 3 \times 63,6 + 1 \times 63,6 + 3 \times 881,4 + 559,9 + 3 \times 359,6 + 188,7 +$$

$$+ 3 \times 559,9 + 1 \times 289,5 + 4 \times 3 \times 881,4 + 2 \times 881,4 + 3 \times 1.092,7 + 1 \times 444,8 + 2 \times 3 \times 444,8 + 1 \times 444,8 +$$

$$+ 2 \times 881,4$$

$$S_{can} = 29.102,4 \text{ mm}$$

$$S_{can} = \frac{29.102,4}{0,30} = 97.008 \text{ mm}^2$$

- Dimensões da canaleta: $500 \times 500 \text{ mm}$ (valor adotado) $\rightarrow P_c = 500 \times 500 = 250.000 \text{ mm}^2$ (veja a observação da Seção A.9.3.16(a) deste Apêndice)

A.9.4 Circuito de alimentação do QGF

Condições dos circuitos para os condutores de fase, neutro e de proteção: condutor unipolar, isolamento em XLPE/90°C, embutido em canaleta fechada e queda de tensão máxima permitida de 2 %. Os condutores são distribuídos nas paredes e fundo da canaleta com um espaçamento igual ao dobro do seu diâmetro. Será adotado, portanto, o método de instalação 61 — método de referência D.

a) Condutores de fase para cada transformador

- Capacidade de condução da corrente

$$I_{tr1} = I_{tr2} = \frac{750}{\sqrt{3} \times 0,38} = 1.139,5 \text{ A} \rightarrow \frac{1.139,5}{3} = 379,8 \text{ A} \rightarrow S_{tr1} = S_{tr2} = 3 \times 300 \text{ mm}^2$$

- Fator de correção para agrupamento

Os cabos serão fixados no interior da canaleta espaçados com o dobro de seu diâmetro. Portanto, não haverá necessidade de aplicar nenhum fator de agrupamento.

- Limite da queda de tensão

$$S_{tr1} = S_{tr2} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 16 \times (1.139,5/3)}{2 \times 380} = 24,7 \text{ mm}^2$$

b) Condutor neutro

$$S_{ntr1} = S_{ntr2} = 2 \times 300 \text{ mm}^2$$

Obs.: adotou-se a seção dos condutores neutros com a mesma seção dos condutores de fase para facilidade de manutenção de emergência, quando, por ocasião de um defeito em um dos condutores de fase, este possa ser permutado por um condutor neutro.

- Condutor de proteção

$$S_{tr1} = 4 \times 300 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{ptr1} = S_{ptr2} = 500 \text{ mm}^2 \text{ (condutor nu)}$$

A.10 Determinação da impedância dos circuitos

Serão consideradas somente as impedâncias dos circuitos, desde o ponto de entrega de energia (inclusive) até os terminais dos circuitos de distribuição, isto porque as correntes de curto-circuito serão também calculadas até os referidos pontos, onde estão localizadas todas as proteções dos motores e os dispositivos de comando e seccionamento. Será adotada como potência base $P_b = 100.000 \text{ kVA}$.

A.10.1 Sistema de alimentação da instalação industrial

A.10.1.1 Cálculo das impedâncias reduzidas do sistema

Os valores de impedância equivalentes fornecidos pela concessionária na base de 100 MVA são:

- $R_{eqp} = 0,00342 pu$ (resistência de sequência positiva)
- $X_{eqp} = 0,00866 pu$ (reatância de sequência positiva)
- $R_{eqz} = 0,06564 pu$ (resistência de sequência zero)
- $X_{eqz} = 0,17555 pu$ (reatância de sequência zero)

$$Z_{pcl} = 0,00342 + j0,00866 pu$$

$$Z_{spt} = 0,06564 + j0,17555 pu$$

A.10.1.2 Cálculo da impedância do alimentador da fábrica

Corresponde à impedância do trecho entre a subestação da concessionária e a subestação da fábrica. O cabo é de alumínio e a seção é de 266,8 MCM, com comprimento de 1,5 km. Os valores de impedância do cabo valem:

- $R_{pcc} = 0,2391 \Omega /km$ (resistência de sequência positiva do cabo)
- $X_{pcc} = 0,3788 \Omega /km$ (reatância de sequência positiva do cabo)
- $R_{zcc} = 0,4169 \Omega /km$ (resistência de sequência zero do cabo)
- $X_{zcc} = 1,5557 \Omega /km$ (reatância de sequência zero do cabo)

Logo, a impedância na base de 100 MVA vale:

$$Z_{c1} = Z_{cc1} \times L_c \times \left(\frac{P_b}{V_b^2} \right)$$

$$R_{pc1} = R_{pcc1} \times L_c \times \left(\frac{P_b}{V_b^2} \right) = 0,02391 \times 1,5 \times \left(\frac{100}{13,80^2} \right) = 0,0019 pu$$

$$X_{pc1} = X_{pcc1} \times L_c \times \left(\frac{P_b}{V_b^2} \right) = 0,3788 \times 1,5 \times \left(\frac{100}{13,80^2} \right) = 0,2984 pu$$

$$R_{zc1} = R_{zcc1} \times L_c \times \left(\frac{P_b}{V_b^2} \right) = 0,4169 \times 1,5 \times \left(\frac{100}{13,80^2} \right) = 0,3284 pu$$

$$X_{zc1} = X_{zcc1} \times L_c \times \left(\frac{P_b}{V_b^2} \right) = 1,5557 \times 1,5 \times \left(\frac{100}{13,80^2} \right) = 1,2253 pu$$

$$Z_{pc1} = 0,0019 + j0,2984 pu$$

$$Z_{spt} = 0,3284 + j1,2253 pu$$

A.10.1.3 Cálculo da impedância total do sistema de alimentação até o ponto de entrega (SE da fábrica)

$$R_{pe} = R_{pe} + jX_{pe} = (0,00342 + j0,00866) + (0,0019 + j0,2984)$$

$$Z_{pe} = R_{pe} + jX_{pe} = (0,06564 + j0,17555) + (0,3284 + j1,2253)$$

$$Z_{ptpe} = 0,00532 + j0,30706 pu$$

$$Z_{ztp} = 0,39404 + j1,40035 pu$$

A.10.2 Transformador de força

A.10.2.1 Impedância de sequência positiva

A impedância em pu do transformador na base de sua potência nominal vale:

$$Z_{pt} = 5,5 \% = 0,055pu$$

$$P_{cu} = 8.500 \text{ W}$$

a) Resistência

$$R_{pt} = \frac{P_{cu}}{10 \times P_{nt}} = \frac{8.500}{10 \times 750} = 1,133 = 0,0113pu \text{ (nas bases de 750 kVA)}$$

b) Reatância

$$X_{ut} = \sqrt{0,055^2 - 0,0113^2} = 0,0538pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 0,0113 + j0,0538pu$$

Mudando para a base de 100.000 kVA, temos:

$$Z_{tr} = Z_n \times \frac{P_b}{P_{tr}} (pu)$$

$$R_{tr} = R_n \times \frac{P_b}{P_{tr}} = 0,0113 \times \frac{100.000}{750} = 1,5067pu$$

$$X_{ut} = R_n \times \frac{P_b}{P_{tr}} = 0,0538 \times \frac{100.000}{750} = 7,1733pu$$

$$\vec{Z}_{ut} = 1,5067 + j7,1733pu$$

- Cálculo da impedância de contato com a terra

Será considerado o valor indicado pela concessionária, que é de 100 ?.

$$X_{\alpha} = X_n \times \left(\frac{P_b}{V_b^2} \right) = 100 \times \left(\frac{100}{13,80^2} \right) = 52,51 pu$$

A.10.3 Circuitos TR1 – QGF ou TR2 – QGF

A.10.3.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_{uc1} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{\varphi}} \right) \times \left(\frac{P_b}{1.000 \times V_b^2} \right)$$

Sendo o termo $\frac{P_b}{1.000 \times V_b^2}$ constante, tem-se:

$$K = \frac{P_b}{1.000 \times V_b^2} = \frac{100.000}{1.000 \times 0,38^2} = 692,52$$

$$R_{uc1} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{\varphi}} \right) \times K = \left(\frac{0,0781 \times 12}{1.000 \times 3} \right) \times 692,52 = 0,21634 pu$$

b) Reatância

$$X_{uc1} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{\varphi}} \right) \times \left(\frac{P_b}{1.000 \times V_b^2} \right)$$

$$X_{uc1} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{n\varphi}} \right) \times K = \left(\frac{0,1068 \times 12}{1.000 \times 3} \right) \times 692,52 = 0,29584 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{uc1} = 0,21634 + j0,29584 pu$$

A.10.3.2 Impedância de sequência zero

a) **Resistência**

$$R_{uc01} = \left(\frac{R_{u0\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{cp}} \right) \times K = \left(\frac{1,8781 \times 12}{1.000 \times 3} \right) \times 692,52 = 5,20249pu$$

b) **Reatância**

$$X_{uc01} = \left(\frac{X_{u0\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{cp}} \right) \times K = \left(\frac{2,4067 \times 12}{1.000 \times 3} \right) \times 692,52 = 6,66675pu$$

c) **Impedância**

$$\vec{Z}_{uc01} = 5,20249 + j6,66675pu$$

A.10.4 Impedância paralela dos dois transformadores e seus respectivos circuitos

A.10.4.1 Impedância de sequência positiva

$$\vec{Z}_1 = \vec{Z}_2 = 1,5067 + j7,1733 + 0,21634 + j0,29584$$

$$\vec{Z}_1 = \vec{Z}_2 = 1,72304 + j7,46914pu$$

$$\vec{Z}_{upt} = \frac{\vec{Z}_1 \times \vec{Z}_2}{\vec{Z}_1 + \vec{Z}_2} = \frac{(\vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{uc1}) \times (\vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{uc1})}{(\vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{uc1}) + (\vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{uc1})}$$

$$\vec{Z}_{upt} = \frac{(1,72304 + j7,46914) \times (1,72304 + j7,46914)}{(1,72304 + j7,46914) + (1,72304 + j7,46914)}$$

$$\vec{Z}_{upt} = 0,86152 + j3,73457pu$$

A.10.4.2 Impedância de sequência zero

$$\vec{Z}_{10} = \vec{Z}_{20} = 1,5067 + j7,1733 + 5,20249 + j6,66675pu$$

$$\vec{Z}_{20} = 6,70914 + j13,84005pu$$

$$\vec{Z}_{u0pt} = \frac{(\vec{Z}_{u0tr} + \vec{Z}_{uc01}) \times (\vec{Z}_{u0tr} + \vec{Z}_{uc01})}{(\vec{Z}_{u0tr} + \vec{Z}_{uc01}) + (\vec{Z}_{u0tr} + \vec{Z}_{uc01})}$$

$$\vec{Z}_{upt} = \frac{(6,70914 + j13,84005) \times (6,70914 + j13,84005)}{(6,70914 + j13,84005) + (6,70914 + j13,84005)}$$

$$\vec{Z}_{upt} = 3,35457 + j6,92003pu$$

ou ainda:

$$\vec{Z}_{upt} = \frac{\vec{Z}_{utr} + \vec{Z}_{uc01}}{2} = \frac{1,72304 + j7,46914}{2} = 0,86152 + j3,73457pu$$

$$\vec{Z}_{u0pt} = \frac{\vec{Z}_{u0tr} + \vec{Z}_{uc01}}{2} = \frac{6,70914 + j13,84005}{2} = 3,35457 + j6,92003pu$$

A.10.5 Barramentos do QGF

Serão adotadas barras retangulares de cobre com 1/fase.

A.10.5.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_{ub1} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{nbp}} \right) \times K = \left(\frac{0,0273 \times 3,7}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 0,06995pu$$

$L_{bl} = 7,4$ m (considerou-se metade da barra, admitindo-se que a alimentação da mesma seja efetuada no seu ponto central).

- Dados da barra: (Tabela 3.38 — valor inicial)

b) Reatância

$$X_{ub1} = \left(\frac{X_{uf\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{nbp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1530 \times 3,7}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 0,39204 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ub1} = 0,06995 + j0,39204 pu$$

A.10.5.2 Impedância de sequência zero

Não será considerada:

$$\vec{Z}_{u0b1} = 0 + j0$$

A.10.6 Impedância acumulada até os terminais de saída do QGF

A.10.6.1 Impedância de sequência positiva

$$Z_{ut} = (0,00532 + j0,30706) + (0,86152 + j3,73457) + (0,06995 + j0,39204)$$

$$\vec{Z}_{ut} = 0,93679 + j4,43367 pu$$

A.10.6.2 Impedância de sequência zero

$$\vec{Z}_{u0t} = (0,39404 + j1,40035) + (3,35457 + j6,92003) + (0 + j0) pu$$

$$\vec{Z}_{u0t} = 3,74861 + j8,32235 pu$$

A.10.7 QGF – QDL1

A.10.7.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,2352 \times 32}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 5,21218 pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1090 \times 32}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 2,41551 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 5,21218 + j2,41551 pu$$

A.10.7.1.1 Impedância de sequência positiva acumulada até o QDL1

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,93679 + 5,21218 = 6,14897 pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = 4,43367 + 2,41551 = 6,84918 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 6,14897 + j6,84918 pu$$

A.10.7.2 Impedância de sequência zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,0352 \times 32}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 45,10133 pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,5325 \times 32}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 56,12182 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 45,10133 + j56,12182 pu$$

A.10.7.2.1 Impedância de sequência zero acumulada até o QDL1

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 45,10133 = 48,84994 pu$$

b) Reatância

$$X_{um} = 8,32235 + 56,12182 = 64,44417 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 48,29264 + j64,44417 pu$$

A.10.8 QGF – QDL2

A.10.8.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1502 \times 92}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 9,56952 pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1074 \times 92}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 6,84265pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 9,56952 + j6,84265pu$$

A.10.8.1.1 Impedância de sequência positiva acumulada até o QDL2

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,93679 + 9,56952 = 10,50631pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = 4,43367 + 6,84265 = 11,27632pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 10,50631 + j11,27632pu$$

A.10.8.2 Impedância de sequência zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{1,9502 \times 92}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 124,25083pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,4843 \times 92}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 158,27932 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 124,25083 + j158,27932 pu$$

A.10.8.2.1 Impedância de sequência zero acumulada até o QDL2

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 124,25083 = 127,99944 pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = 8,32235 + 158,27932 = 166,60167 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 127,99944 + j166,60167 pu$$

A.10.9 QGF – QDL3

A.10.9.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{5,5518 \times 48}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 184,54716 pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1279 \times 48}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 4,25152 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 184,54716 + 4,25152pu$$

A.10.9.1.1 Impedância de sequência positiva acumulada até o QDL3

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 124,25083 = 127,99944pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = 8,32235 + 158,27932 = 166,60167pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 185,48395 + j8,68519pu$$

A.10.9.2 Impedância de sequência zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{7,3552 \times 48}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 244,49391pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,8349 \times 48}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 94,23480pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 244,49391 + j94,23480pu$$

A.10.9.2.1 Impedância de sequência zero acumulada até o QDL3

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 24,16202 = 27,91063pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = 8,32235 + j30,84787 = 39,17022 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 248,24252 + j102,55715pu$$

A.10.10 QGF – QDL4

A.10.10.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{8,8882 \times 29}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 178,50243pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1345 \times 29}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 2,70117pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 178,50243 + j2,70117pu$$

A.10.10.1.1 Impedância de sequência positiva acumulada até o QDL4

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,93679 + 178,50243 = 179,43922pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = 4,43367 + 2,70117 = 7,13484pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 178,50243 + j2,70117pu$$

A.10.10.2 Impedância de sequência zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{10,6882 \times 29}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 214,65198pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,8755 \times 29}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 57,74890pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 214,65198 + j57,74890pu$$

A.10.10.2.1 Impedância de sequência zero acumulada até o QDL4

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 214,65198 = 218,40059pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = 8,32235 + 57,74890 = j66,07125pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 218,40059 + j66,07125pu$$

A.10.11 QGF – QDL5

A.10.11.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,2221 \times 18}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 27,69928pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1207 \times 18}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 1,50457pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 27,69928 + j1,50457pu$$

A.10.11.1.1 Impedância de sequência positiva acumulada até o QDL5

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,93679 + 27,69928 = 28,63607pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = 4,43367 + 1,50457 = 5,93824pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 28,63607 + j5,93824pu$$

A.10.11.2 Impedância de sequência zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{4,0222 \times 18}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 50,13817pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,7639 \times 18}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 34,45301pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 50,13817 + j34,45301pu$$

A.10.11.2.1 Impedância de sequência zero acumulada até o QDL5

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 50,13817 = 53,88678pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = 8,32235 + 34,45301 = 42,77536pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 53,88678 + j42,77536pu$$

A.10.12 QGF – QDL6

A.10.12.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{1,3899 \times 64}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 61,60215pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1173 \times 64}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 5,19889pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 61,60215 + j5,19889pu$$

A.10.12.1.1 Impedância de sequência positiva acumulada até o QDL6

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,93679 + 61,60215 = 62,53894pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = 4,43367 + 5,19889 = 9,63253pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 62,53894 + j9,63253pu$$

A.10.12.2 Impedância de sequência zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{3,1890 \times 64}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 141,34056 pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,7173 \times 64}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 120,43421 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 141,34056 + 120,43421 pu$$

A.10.12.2.1 Impedância de sequência zero acumulada até o QDL6

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 141,34056 = 145,08867 pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = 8,32235 + 120,43421 = 128,75656 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 144,53287 + 125,86811 pu$$

A.10.13 QGF – CCM1

A.10.13.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,0608 \times 17}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 0,71579pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1058 \times 17}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 1,24557pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 0,71579 + j1,24557pu$$

A.10.13.1 Impedância de sequência positiva acumulada até o CCM1

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,93679 + 0,71579 = 1,65258pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = 4,43367 + 1,24557 = 5,67924pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 1,65258 + j5,67924pu$$

A.10.13.2 Impedância de sequência zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{1,8608 \times 17}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 21,90690 pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,3757 \times 17}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 27,96874 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 21,90690 + j27,96874 pu$$

A.10.13.2.1 Impedância de sequência zero acumulada até o CCM1

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 21,90690 = 25,65551 pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = 8,32235 + 27,96874 = 36,28919 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 25,65551 + j36,28919 pu$$

A.10.14 QGF – CCM2

A.10.14.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1502 \times 47}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 4,88878 pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1074 \times 47}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 3,49570 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 4,88878 + j3,49570 pu$$

A.10.14.1.1 Impedância de sequência positiva acumulada até o CCM2

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,93679 + 4,88878 = 5,82557 pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = 4,43367 + 3,49570 = 7,92937 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 5,82557 + j7,92937 pu$$

A.10.14.2 Impedância de sequência zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{1,9502 \times 47}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 63,47597 pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,4843 \times 47}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 80,86009 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 63,47597 + j80,86009 pu$$

A.10.14.2.1 Impedância de sequência zero acumulada até o CCM2

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 63,47597 = 67,22458 pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = 8,32235 + 80,86009 = 89,18244 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 67,22458 + j89,18244 pu$$

A.10.15 QGF – CCM3

A.10.15.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,0958 \times 61}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 4,04695 pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1070 \times 61}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 4,52008 pu$$

c) Impedância

$$Z_u = 4,04695 + j'4,52008pu$$

A.10.15.1.1 Impedância de sequência positiva acumulada até o CCM3

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,93679 + 4,04695 = 4,98374pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = 4,43367 + 4,52008 = 8,95375pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 4,98374 + j8,95375pu$$

A.10.15.2 Impedância de sequência zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{1,8958 \times 61}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 80,08564pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,4312 \times 61}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 102,70293pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 80,08564 + j102,70293pu$$

A.10.15.2.1 Impedância de sequência zero acumulada até o CCM3

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 80,08564 = 83,83425pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = 8,32235 + j102,70293 = 111,02528pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 83,83425 + j111,02528pu$$

A.10.16 QGF – CCM4

A.10.16.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,0608 \times 75}{1.000 \times 4} \right) \times 692,52 = 0,78947pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1058 \times 75}{1.000 \times 4} \right) \times 692,52 = 1,37379pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 0,78947 + j1,37379pu$$

A.10.16.1.1 Impedância de sequência positiva acumulada até o CCM4

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,93679 + 0,78947 = 1,72626pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = 4,43367 + 1,37379 = 5,80746pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 1,72627 + j5,80746pu$$

A.10.16.2 Impedância de sequência zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{1,8608 \times 75}{1.000 \times 4} \right) \times 692,52 = 24,16202pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,3757 \times 75}{1.000 \times 4} \right) \times 692,52 = 30,84787pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 24,16202 + j30,84787pu$$

A.10.16.2.1 Impedância de sequência zero acumulada até o CCM4

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 24,16202 = 27,91063pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = 8,32235 + j30,84787 = 39,17022 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 27,91063 + j39,17022 pu$$

A.10.17 QGF – CCM5

A.10.17.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,0507 \times 97}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 3,40574 pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1051 \times 97}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 7,06003 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 3,40574 + j7,06003 pu$$

A.10.17.1.1 Impedância de sequência positiva acumulada até o CCM5

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,93679 + 3,40574 = 4,34253 pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = 4,43367 + 7,06003 = 11,49370 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 4,34253 + j11,49370pu$$

A.10.17.2 Impedância de sequência zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{1,8550 \times 97}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 124,60859pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,3491 \times 97}{1.000 \times 1} \right) \times 692,52 = 157,79948pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 124,60859 + j157,79948pu$$

A.10.17.2.1 Impedância de sequência zero acumulada até o CCM5

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 124,60859 = 128,35720pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = 8,32235 + 157,79948 = 166,12183pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 128,35720 + j166,12183pu$$

A.10.18 QGF – CCM6

A.10.18.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1226 \times 115}{1.000 \times 2} \right) \times 692,52 = 4,88192 pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1073 \times 115}{1.000 \times 2} \right) \times 692,52 = 4,27268 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 4,88192 + j4,27268 pu$$

A.10.18.1.1 Impedância de sequência positiva acumulada até o CCM6

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,93679 + 4,88192 = 5,81871 pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = 4,43367 + 4,27268 = 8,70635 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 5,81181 + j8,70635 pu$$

A.10.18.2 Impedância de sequência zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{1,9226 \times 115}{1.000 \times 2} \right) \times 692,52 = 76,55774 pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,4594 \times 115}{1.000 \times 2} \right) \times 692,52 = 97,93306 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 76,55774 + j97,93306 pu$$

A.10.18.2.1 Impedância de sequência zero acumulada até o CCM6

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 76,55774 = 80,30635 pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = 8,32235 + 97,93306 = 106,25541 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 80,30635 + j106,25541 pu$$

A.10.19 QGF – CCM7

A.10.19.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{n\varphi}} \right) \times K = \left(\frac{0,0507 \times 65}{1.000 \times 2} \right) \times 692,52 = 1,14110 pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{n\varphi}} \right) \times K = \left(\frac{0,1051 \times 65}{1.000 \times 2} \right) \times 692,52 = 2,36548 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 1,14110 + j2,36548 pu$$

A.10.19.1 Impedância de sequência positiva acumulada até o CCM7

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,93679 + 1,14110 = 2,07789 pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = 4,43367 + 2,36548 = 6,79915 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 2,07789 + j6,79975 pu$$

A.10.19.2 Impedância de sequência zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{n\varphi}} \right) \times K = \left(\frac{1,8550 \times 65}{1.000 \times 2} \right) \times 692,52 = 41,75030 pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,3491 \times 65}{1.000 \times 2} \right) \times 692,52 = 52,87096pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 41,75030 + j52,87096pu$$

A.10.19.2.1 Impedância de sequência zero acumulada até o CCM7

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 41,75030 = 45,49891pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = 8,32235 + 52,87096 = 61,19331pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0t} = 45,49891 + j61,19331pu$$

A.10.20 QGF – CCM8

A.10.20.1 Impedância de sequência positiva

a) Resistência

$$R_u = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,0608 \times 87}{1.000 \times 2} \right) \times 692,52 = 1,83158pu$$

b) Reatância

$$X_u = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{0,1058 \times 87}{1.000 \times 2} \right) \times 692,52 = 3,18718 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_u = 1,83158 + j3,18718 pu$$

A.10.20.1.1 Impedância de sequência positiva acumulada até o CCM8

a) Resistência

$$R_{ut} = 0,93679 + 1,83158 = 2,76837 pu$$

b) Reatância

$$X_{ut} = 4,43367 + 3,18718 = 7,62085 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{ut} = 2,76837 + j7,62085 pu$$

A.10.20.2 Impedância de sequência zero

a) Resistência

$$R_{u0} = \left(\frac{R_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{1,8608 \times 87}{1.000 \times 2} \right) \times 692,52 = 56,05589 pu$$

b) Reatância

$$X_{u0} = \left(\frac{X_{u\Omega} \times L_c}{1.000 \times N_{ncp}} \right) \times K = \left(\frac{2,3757 \times 87}{1.000 \times 2} \right) \times 692,50 = 71,56706 pu$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{u0} = 56,05589 + j71,56706 pu$$

A.10.20.2.1 Impedância de sequência zero acumulada até o CCM8

a) Resistência

$$R_{u0t} = 3,74861 + 56,05589 = 59,80450 pu$$

b) Reatância

$$X_{u0t} = 8,32235 + 71,56499 = 79,88734 pu$$

c) Impedância

A.11 Cálculo das correntes de curto-circuito

A.11.1 Ponto de conexão (entrega de energia)

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{0,00532 + j0,30706} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 13,80} = \frac{1}{0,30711 \angle 89,00^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 13,80} = 13.622 \angle -89,00^\circ A$$

b) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (0,00532 + j0,30706) + (0,39404 + j1,40035)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 13,80}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{0,40468 + j1,71741} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 13,80} = \frac{3}{1,76444 \angle 76,74^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 13,80} = 7.113 \angle -76,74^\circ A$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

Será considerado o valor indicado pela concessionária, que é de 100 Ω.

$$Z_c = Z_{\Omega} \times \left(\frac{P_b}{V_b^2} \right) = 100 \times \left(\frac{100}{13,80^2} \right) = 52,51 \text{ pu}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínimo

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (0,00532 + j0,30706) + (0,39404 + j1,40035) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 13,80}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{52,91468 + j2,01447} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 13,80} = \frac{3}{52,95301 \angle 2,18^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 13,80} = 237 \angle 2,18^\circ \text{ A}$$

A.11.2 Barramento do QGF

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{0,93679 + j4,43367} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{4,53156 \angle 78,06^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 33.528 \angle -78,06^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{4,43367}{0,93679} = 4,73 \rightarrow F_a = 1,42$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,42 \times 33.528 = 67.330 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (0,93679 + j4,43367) + (3,74861 + j8,32235)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{5,62219 + j17,18969} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{18,08575 \angle 71,88^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 25.202 \angle -71,88^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 25.202 = 21.824 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{sp} + \vec{Z}_{sn} + \vec{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{u0t} + \vec{Z}_{mat}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínimo

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times 0,93679 + j4,43367 + (3,74861 + j8,32235) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{58,13219 + j12,79851} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{59,52439 \angle 12,41^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 7.657 \angle 12,41^\circ \text{ A}$$

A.11.3 Barramento do QDL1

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{6,14897 + j6,84918} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{9,20441 \angle 48,08^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 16.506 \angle -48,08^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{6,84918}{6,14897} = 1,11 \rightarrow F_a = 1,05$$

$$I_{c3f} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,05 \times 24.510 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (6,14897 + j6,84918) + (48,29264 + j64,44417)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{60,59358 + j78,14253} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{98,88295 \angle 52,21^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 4.609 \angle -52,21^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 4.609 = 3.991 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{sp} + \vec{Z}_{sn} + \vec{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{u0t} + \vec{Z}_{mat}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínimo

$$I_{cc} = \frac{3}{Z_{zpc}} \times I_b = \frac{3}{2 \times (6,14897 + j6,84918) + (48,29264 + j64,44417) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{113,10058 + j81,56894} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{139,446617 \angle 35,79^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 3.268 \angle 35,79^\circ \text{ A}$$

A.11.4 Barramento do QDL2

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{10,50631 + j11,27632} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{15,41227 \angle 47,02^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 9.858 \angle -47,02^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{11,27632}{10,50631} = 1,07 \rightarrow F_a = 1,04$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,04 \times 9.858 = 14.498 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (10,50631 + j11,27632) + (127,99944 + j166,60167)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{149,01206 + j189,15431} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{240,79856 \angle 51,77^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 1892 \angle -51,77^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 1.892 = 1.638 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{sp} + \vec{Z}_{sn} + \vec{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{u0t} + \vec{Z}_{mat}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínimo

$$I_{cc} = \frac{3}{Z_{zpc}} \times I_b = \frac{3}{2 \times (10,50631 + j11,27632) + (127,99944 + j166,60167) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{258,33401 + j192,58072} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{332,21700 \angle 36,70^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 1.372 \angle 36,70^\circ \text{ A}$$

A.11.5 Barramento do QDL3

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{185,48395 + j8,68519} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{185,68718 \angle 2,68^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 818 \angle -2,68^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{8,68519}{185,48395} = 0,04 \rightarrow F_a = 1,0$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,0 \times 818 = 1.156 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (185,48395 + j8,68519) + (244,49391 + j94,23480)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{615,46181 + j111,60518} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{625,49897 \angle 10,27^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 728 \angle -10,27^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 818 = 708 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{sp} + \vec{Z}_{sn} + \vec{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{u0t} + \vec{Z}_{mat}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínima

$$I_{cc} = \frac{3}{Z_{zpc}} \times I_b = \frac{3}{2 \times (185,48395 + j8,68519) + (244,49391 + j94,23480) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{667,97181 + j111,60518} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{677,23117 \angle 9,48^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 673 \angle 9,48^\circ \text{ A}$$

A.11.6 Barramento do QDL4

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{179,43922 + j7,13484} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{179,58101 \angle 2,27^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 846 \angle -2,27^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{7,13484}{179,43992} = 0,04 \rightarrow F_a = 1,0$$

$$I_{c3s} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{c3f} = \sqrt{2} \times 1,0 \times 846 = 1.196 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (179,43922 + j7,13484) + (218,40059 + j66,07125)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{577,27903 + j80,34093} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{582,84281 \angle 7,92^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 782 \angle -7,92^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{c3f} = 0,866 \times 846 = 732 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{sp} + \vec{Z}_{sn} + \vec{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{u0t} + \vec{Z}_{mat}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínimo

$$I_{cc} = \frac{3}{Z_{zpc}} \times I_b = \frac{3}{2 \times (179,43922 + j7,13484) + (218,40059 + j66,07125) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{629,78903 + j78,33344} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{634,641,91 \angle 7,09^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 718 \angle 7,09^\circ \text{ A}$$

A.11.7 Barramento do QDL5

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{zpc}} = \frac{1}{28,63607 + j5,93824} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{29,24529 \angle 11,71^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 5.195 \angle -11,71^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{5,93824}{28,63607} = 0,20 \rightarrow F_a = 1,0$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,0 \times 5195 = 7.346 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (28,63607 + j5,93824) + (53,88678 + j42,77536)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{111,15892 + j54,65184} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{123,86739 \angle 26,18^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 3.679 \angle -26,18^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 5.195 = 4.499 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{fmi} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{sp} + \vec{Z}_{sn} + \vec{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{u0t} + \vec{Z}_{mat}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínimo

$$I_{cc} = \frac{3}{Z_{zpc}} \times I_b = \frac{3}{2 \times (28,63607 + j5,93824) + (53,88678 + j42,77536) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{682,29903 + j78,33344} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{686,78097 \angle 6,54^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 663 \angle 6,54^\circ \text{ A}$$

A.11.8 Barramento do QDL6

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{62,53894 + j9,63253} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{63,27641 \angle 8,75^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 2.401 \angle -8,75^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{9,63253}{62,53894} = 0,15 \rightarrow F_a = 1,0$$

$$I_{ccs} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,0 \times 2.401 = 3.395 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (62,53894 + j9,63253) + (144,53287 + j125,86811)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{269,61075 + j145,13317} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{306,19209 \angle 28,29^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 1.488 \angle -28,19^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 5.195 = 4.499 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{sp} + \vec{Z}_{sn} + \vec{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{u0t} + \vec{Z}_{mat}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínimo

$$I_{cc} = \frac{3}{Z_{zpc}} \times I_b = \frac{3}{2 \times (62,53894 + j9,63253) + (144,53287 + j125,86811) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{322,12075 + j145,13317} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{353,30646 \angle 24,25^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 1.290 \angle 24,25^\circ \text{ A}$$

A.11.9 Barramento do CCM1

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{1,65258 + j5,67924} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{5,91479 \angle 73,77^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 25.687 \angle -73,67^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{5,67924}{1,65258} = 3,43 \rightarrow F_a = 1,34$$

$$I_{\alpha s} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,34 \times 25,687 = 48.678 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (1,65258 + j5,67924) + (25,65551 + j36,28919)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{28,96067 + j47,64767} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{55,75859 \angle 58,70^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 8.174 \angle -58,70^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 25.687 = 22.224 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{sp} + \vec{Z}_{sn} + \vec{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{u0t} + \vec{Z}_{mat}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínimo

$$I_{cc} = \frac{3}{Z_{zpc}} \times I_b = \frac{3}{2 \times (1,65258 + j5,67924) + (25,65551 + j36,28919) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{81,47067 + j47,64767} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{94,38099 \angle 30,32^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 4.829 \angle 30,32^\circ \text{ A}$$

A.11.10 Barramento do CCM2

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{5,82557 + j7,92937} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{9,83932 \angle 53,69^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 15.441 \angle -53,69^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{7,92937}{5,82557} = 1,36 \rightarrow F_a = 1,09$$

$$I_{\text{ccs}} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{\text{cs}} = \sqrt{2} \times 1,09 \times 15.441 = 23.802 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{\text{cc}} = \frac{3 \times I_b}{Z_{\text{zpc}}} = \frac{3}{2 \times (5,82557 + j7,92937) + (67,22458 + j89,18244)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{\text{cc}} = \frac{3}{78,87572 + j105,04118} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{131,35840 \angle 53,09^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 3.470 \angle -53,09^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{\text{cs}} = 0,866 \times 15.441 = 13.371 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{\text{ftmi}} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{\text{sp}} + \vec{Z}_{\text{sn}} + \vec{Z}_{\text{sz}}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{\text{ut}} + \vec{Z}_{\text{u0t}} + \vec{Z}_{\text{mat}}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínimo

$$I_{\text{cc}} = \frac{3}{Z_{\text{zpc}}} \times I_b = \frac{3}{2 \times (5,82557 + j7,92937) + (67,22458 + j89,18244) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{\text{cc}} = \frac{3}{131,88572 + j105,04118} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{168,60455 \angle 38,53^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 2.703 \angle 38,53^\circ \text{ A}$$

A.11.11 Barramento do CCM3

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{csf} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{4,98374 + j8,95375} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{10,24731 \angle 60,89^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 14.826 \angle -60,89^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{8,95375}{4,98374} = 1,79 \rightarrow F_a = 1,16$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,16 \times 14.826 = 24.321 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (4,98374 + j8,95375) + (83,83425 + j111,02528)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{93,80191 + j128,93278} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{159,44422 \angle 53,96^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 2.858 \angle -53,96^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 15.441 = 13.371 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{sp} + \vec{Z}_{sn} + \vec{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{u0t} + \vec{Z}_{mat}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínimo

$$I_{cc} = \frac{3}{Z_{zpc}} \times I_b = \frac{3}{2 \times (4,98374 + j8,95375) + (83,83425 + j111,02528) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{146,31191 + j128,93278} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{195,01497 \angle 41,38^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 2.337 \angle 41,38^\circ \text{ A}$$

A.11.12 Barramento do CCM4

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{1,72627 + j5,80746} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{6,05860 \angle 73,44^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 25.077 \angle -73,44^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{5,80746}{1,72627} = 3,36 \rightarrow F_a = 1,33$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,33 \times 25.077 = 47.167 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (1,72627 + j5,80746) + (27,91063 + j39,17022)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{31,36317 + j50,78514} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{59,68902 \angle 58,30^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 7.636 \angle -58,30^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 15.441 = 13.371 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{sp} + \vec{Z}_{sn} + \vec{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{u0t} + \vec{Z}_{mat}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínima

$$I_{cc} = \frac{3}{Z_{zpc}} \times I_b = \frac{3}{2 \times (1,72627 + j5,80746) + (27,91063 + j39,17022) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{83,87317 + j50,78514} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{98,05019 \angle 31,19^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 4.648 \angle 31,19^\circ \text{ A}$$

A.11.13 Barramento do CCM5

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{4,34253 + j11,49370} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{12,28669 \angle 69,30^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 12.365 \angle -69,30^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{11,49370}{4,34253} = 2,64 \rightarrow F_a = 1,26$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,26 \times 12.365 = 22.033 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (4,34253 + j11,49370) + (128,35720 + j166,12183)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{137,04226 + j189,10923} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{233,54418 \angle 54,07^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 1.951 \angle -54,07^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 12.365 = 10.700 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{sp} + \vec{Z}_{sn} + \vec{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{u0t} + \vec{Z}_{mat}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínima

$$I_{cc} = \frac{3}{Z_{zpc}} \times I_b = \frac{3}{2 \times (4,34253 + j11,49370) + (128,35720 + j166,12183) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{189,55226 + j189,10923} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{267,74984 \angle 44,93^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 1.702 \angle 44,93^\circ \text{ A}$$

A.11.14 Barramento do CCM6

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{5,81181 + j8,70635} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{10,46794 \angle 56,27^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 14.514 \angle -56,27^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{8,70635}{5,81181} = 1,49 \rightarrow F_a = 1,12$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,12 \times 14.514 = 22.989 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (5,81181 + j8,70635) + (80,30635 + j106,25541)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{91,92997 + j123,66811} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{154,09387 \angle 53,37^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 2.958 \angle -53,37^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 12.365 = 10.700 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{sp} + \vec{Z}_{sn} + \vec{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{u0t} + \vec{Z}_{mat}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínimo

$$I_{cc} = \frac{3}{Z_{zpc}} \times I_b = \frac{3}{2 \times (5,81181 + j8,70635) + (80,30635 + j106,25541) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{144,43997 + j123,66811} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{190,14917 \angle 40,56^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 2.397 \angle 40,56^\circ \text{ A}$$

A.11.15 Barramento do CCM7

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{2,07789 + j6,79975} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{7,11015 \angle 73,00^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 21.368 \angle -73,00^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{6,79975}{2,07789} = 3,27 \rightarrow F_a = 1,32$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,32 \times 21.368 = 39.889 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (2,07789 + j6,79975) + (45,49891 + j61,19331)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{49,65469 + j74,79281} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{89,77501 \angle 56,41^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 5.077 \angle -56,41^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 21.368 = 18.504 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{sp} + \vec{Z}_{sn} + \vec{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{u0t} + \vec{Z}_{mat}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínimo

$$I_{cc} = \frac{3}{Z_{zpc}} \times I_b = \frac{3}{2 \times (2,07789 + j6,79975) + (45,49891 + j61,19331) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{102,16469 + j74,79281} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{126,61591 \angle 36,20^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 3599 \angle -36,20^\circ \text{ A}$$

A.11.16 Barramento do CCM8

a) Curto-circuito trifásico simétrico, valor eficaz

$$I_{c3f} = \frac{I_b}{Z_{ppc}} = \frac{1}{2,76837 + j7,62085} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{1}{8,10810 \angle 70,03^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 18.738 \angle -70,03^\circ \text{ A}$$

b) Corrente trifásica, valor de crista

$$\frac{X}{R} = \frac{7,62085}{2,76837} = 2,75 \rightarrow F_a = 1,27$$

$$I_{cas} = \sqrt{2} \times F_a \times I_{cs} = \sqrt{2} \times 1,27 \times 18.738 = 33.650 \text{ A}$$

c) Corrente de curto-circuito fase-terra máxima

$$I_{cc} = \frac{3 \times I_b}{Z_{zpc}} = \frac{3}{2 \times (2,76837 + j7,62085) + (59,80450 + j79,88734)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{65,34124 + j95,12904} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{115,40802 \angle 55,51^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 3.949 \angle -55,51^\circ \text{ A}$$

d) Corrente bifásica simétrica, valor eficaz

$$I_{cb} = 0,866 \times I_{cs} = 0,866 \times 18.738 = 16.227 \text{ A}$$

e) Corrente de curto-circuito fase-terra mínima

- Cálculo da impedância de contato com a terra

$$Z_c = 52,51 \text{ pu}$$

$$I_{ftmi} = \frac{3 \times I_b}{\vec{Z}_{sp} + \vec{Z}_{sn} + \vec{Z}_{sz}} = \frac{3 \times I_b}{2 \times \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{u0t} + \vec{Z}_{mat}}$$

- Cálculo da corrente de curto-circuito fase-terra mínima

$$I_{cc} = \frac{3}{Z_{zpc}} \times I_b = \frac{3}{2 \times (2,76837 + j7,62085) + (59,80450 + j79,88734) + (52,51 + j0)} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38}$$

$$I_{cc} = \frac{3}{117,85124 + j95,12904} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = \frac{3}{151,45445 \angle 38,91^\circ} \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 3.009 \angle 38,91^\circ \text{ A}$$

A.12 Condição de partida dos motores

Fica estabelecido que a queda de tensão, durante a partida de um motor qualquer, não poderá ultrapassar 4 % na barra do seu respectivo CCM. Todos os motores, em princípio, devem partir sob tensão plena e em carga nominal. O tempo de partida para todos os motores é de 3 s.

A.12.1 Motor de 250 cv

Será analisado o motor de 250 cv (o de maior potência) ligado ao CCM4.

$$P_{nm} = \frac{250 \times 0,736}{0,95 \times 0,87} = 222,6 \text{ kVA}$$

A.12.1.1 Impedância de sequência positiva do motor

a) Resistência

$R_{um} \approx 0$ (valor muito pequeno quando comparado à reatância)

b) Reatância

$$X_{um} = \frac{I_{nm}}{I_p} = \frac{1}{6,8} = 0,147 \text{ pu (na base de 250 cv)}$$

$$X_{um1} = X_{um} \times \frac{P_b}{P_{nm}} \times \left(\frac{V_{nm}}{V_b} \right)^2$$

Passando o valor de X_{um} para a base de 100.000 kVA, temos:

$$X_{um} = 0,147 \times \frac{100.000}{222,6} = 66,03774 \text{ pu}$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{um} = 0 + j66,0377 \text{ pu}$$

d) Corrente de partida

$$I_p = \frac{1}{\vec{Z}_{us} + \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{ucb} + \vec{Z}_{umb}} = \frac{1}{\vec{Z}_{tm}} = \frac{1}{\vec{Z}_{ccm4}}$$
$$I_p = \frac{1}{1,72627 + j5,80746 + j66,03774} = \frac{1}{1,72627 + j71,84520}$$

$$I_p = 0,01391pu$$

$$I_p = 0,01391 \times I_b = 0,01391 \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 2.113 \text{ A}$$

A.12.1.2 Queda de tensão nos terminais do CCM4 na partida direta

$$\Delta \vec{V}_{um} = \vec{Z}_{ccm4} \times I_p = (1,72627 + j5,80746) \times 0,01391$$

$$\Delta \vec{V}_{um} = \vec{Z}_{ccm4} \times I_p = 6,05860 \times 0,01391 = 0,08428pu = 8,4 \%$$

$$\Delta \vec{V}_{um} = 8,4 \% > 4 \% \text{ (condição não satisfeita)}$$

A.12.1.3 Queda de tensão nos terminais do CCM4 na partida através de chave compensadora

a) Ajuste do tape da chave: 80 %

$$\Delta \vec{V}_{um} = (1,72627 + j5,80746) \times 0,64 \times 0,01391 = 0,054pu = 5,4 \%$$

$$\Delta \vec{V}_{um} = 5,4 \% > 4 \% \text{ (condição não satisfeita)}$$

b) Ajuste do tape da chave: 65 %

$$\Delta \vec{V}_{um} = (1,72627 + j5,80746) \times 0,42 \times 0,01391 = 0,035 pu = 3,5 \%$$

$$\Delta \vec{V}_{um} = 3,5 \% < 4 \% \text{ (condição satisfeita)}$$

A.12.1.4 Queda de tensão nos terminais do CCM4 na partida através de chave estrela-triângulo

$$\Delta \vec{V}_{um} = (1,72627 + j5,80746) \times 0,33 \times 0,01391 = 0,028 pu = 2,8 \%$$

$$\Delta \vec{V}_{um} = 2,8 \% < 4 \% \text{ (condição satisfeita)}$$

A aplicação da chave estrela-triângulo é opção alternativa.

A.12.1.5 Conjugado de partida durante o acionamento através de chave estrela-triângulo

$$C_{up} = C_{ump} \times \left(\frac{1 - \Delta V_{um}}{\sqrt{3}} \right)^2 = C_{ump} \times \left(\frac{1 - 0,028}{\sqrt{3}} \right)^2 = 0,314 \times C_{ump}$$

$$C_{up} = 31,4 \% \quad C_{ump}$$

A.12.1.6 Queda de tensão nos terminais do CCM4 na partida através de chave de partida estática

Para manter a queda de tensão em 4 %, a corrente ajustada na chave estática deve ser de:

$$\vec{\Delta V} = \vec{Z}_{ccm4} \times I_p$$

Para se ter $\Delta V \% = 4 \% = 0,04 pu$ como limite de queda de tensão, deve-se ter:

$$0,04 = 0,04688 \times I_p$$

$$I_p = 0,853 \text{ pu} \rightarrow I_p = 0,853 \times I_b = 0,853 \times 1.139 = 971,5 \text{ A}$$

$$R_{cpm} = \frac{I_p}{I_{nm}} = \frac{971,5}{327,4} = 2,9$$

Logo, a corrente limitada pela chave *soft-starter* deve ser $2,9 \times I_{nm}$. Será adotada, portanto, a chave de partida estática SSW-02-340-WEG.

A.12.2 Motor de 30 cv

Será analisado o motor de 30 cv ligado ao CCM7 por apresentar a segunda condição mais desfavorável na partida.

$$P_{nm} = \frac{30 \times 0,736}{0,90 \times 0,83} = 29,5 \text{ kVA}$$

A.12.2.1 Impedância de sequência positiva do motor

a) Resistência

$R_{um} \approx 0$ (valor muito pequeno quando comparado à reatância)

b) Reatância

$$X_{um} = \frac{I_{nm}}{I_p} = \frac{1}{6,8} = 0,147 \text{ pu (na base de 30 cv)}$$

$$X_{um1} = X_{um} \times \frac{P_b}{P_{nm}} \times \left(\frac{V_{nm}}{V_b} \right)^2$$

$$X_{um} = 0,147 \times \frac{100.000}{29,5} \times \left(\frac{0,38}{0,38} \right)^2 = 498,30 \text{ pu}$$

c) Impedância

$$\vec{Z}_{um} = 0 + j498,30pu$$

d) Corrente de partida

$$I_p = \frac{1}{\vec{Z}_{us} + \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{ucb} + \vec{Z}_{umb}} = \frac{1}{\vec{Z}_{tm}} = \frac{1}{\vec{Z}_{ccm7}}$$

$$I_p = \frac{1}{2,07789 + j6,79975 + j498,30} = \frac{1}{2,07789 + j505,09}$$

$$I_p = 0,00198pu$$

$$I_p = 0,00198 \times I_b = 0,00198 \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 300,8 \text{ A}$$

A.12.2.2 Queda de tensão nos terminais do CCM7 na partida direta

$$\Delta \vec{V}_{um} = \vec{Z}_{ccm7} \times I_p = (2,07789 + j6,79975) \times I_p$$

$$\Delta \vec{V}_{um} = 7,11015 \times 0,00198 = 0,01408pu$$

$$\Delta \vec{V}_{um} = 1,4 \% < 4 \% \text{ (condição satisfeita)}$$

A.12.3 Motor de 20 cv

Será analisado o motor de 20 cv ligado ao CCM6 por estar mais distante do QGF.

$$P_{nm} = \frac{20 \times 0,736}{0,88 \times 0,86} = 19,4 \text{ kVA}$$

A.12.3.1 Impedância de sequência positiva do motor

a) **Resistência**

$R_{um} \approx 0$ (valor muito pequeno quando comparado à reatância)

b) **Reatância**

$$X_{um} = \frac{I_{nm}}{I_p} = \frac{1}{6,8} = 0,147 pu \text{ (na base de 20 cv)}$$

$$X_{um1} = X_{um} \times \frac{P_b}{P_{nm}} \times \left(\frac{V_{nm}}{V_b} \right)^2$$

$$X_{umm} = 0,147 \times \frac{100.000}{19,4} \times \left(\frac{0,38}{0,38} \right)^2 = 757,73 pu$$

c) **Impedância**

$$\vec{Z}_{um} = 0 + j757,73 pu$$

d) **Corrente de partida**

$$I_p = \frac{1}{\vec{Z}_{us} + \vec{Z}_{ut} + \vec{Z}_{ucb} + \vec{Z}_{umb}} = \frac{1}{\vec{Z}_{tm}} = \frac{1}{\vec{Z}_{ccm6}}$$

$$I_p = \frac{1}{5,81181 + j8,70635 + j757,73} = \frac{1}{5,81181 + j766,43}$$

$$I_p = 0,00130 pu$$

$$I_p = 0,00130 \times I_b = 0,00130 \times \frac{100.000}{\sqrt{3} \times 0,38} = 197,5 \text{ A}$$

A.12.3.2 Queda de tensão nos terminais do CCM6 na partida direta

$$\Delta \vec{V}_{um} = \vec{Z}_{ccm6} \times I_p = (5,81181 + j8,70635) + 0,00130$$

$$\Delta \vec{V}_{um} = 0,0136pu$$

$$\Delta \vec{V}_{um} = 1,3 \% < 4 \% \text{ (condição satisfeita)}$$

Com base nos cálculos anteriores, pode-se afirmar:

- Somente o motor de 250 cv deve partir através de chave de compensação (chave *soft-starter*).
- Todos os demais motores podem partir a plena tensão, por meio de chave contatora.

A.13 Proteção e coordenação do sistema

Foi considerado que a temperatura no interior dos cubículos (QGF – CCMs e QDLs) é de 40 °C.

A.13.1 Circuitos terminais

A.13.1.1 QDL1

a) Circuitos: de 1 a 6

$$S = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 68 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{4.900}{220 \times 0,90} = 24,7 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{4.900}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 35,3 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 40 \text{ A (Tabela 10.4)}$$

I_{nd} = corrente nominal do disjuntor

$$I_a = 40 \times 0,70 = 28,0 \text{ A (corrente de acionamento ou de ajuste)}$$

$F_{cd} = 0,70$ (fator de correção de corrente para disjuntores não tropicalizados)

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 28 \text{ A} > 24,7 \text{ A (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 28 \text{ A} < 68 \text{ A (satisfaz)}$$

- Capacidade de ruptura

$$I_{cs} = 16,5 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 6 \text{ kA} \text{ — Tabela 10.4 (não satisfaz)}$$

É necessário pré-ligar um fusível no condutor fase, ou seja:

$$I_{nf} \geq 1,15 \times I_c \geq 1,15 \times 24,7 \geq 28,4 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A} \text{ — NH}$$

$$I_{cs} = 16,5 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 3,5 \text{ kA (Figura 10.27)} \rightarrow I_{rd} > I_{corte} \text{ (satisfaz)}$$

b) Circuitos: 13

$$S = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 21 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{400}{220 \times 0,90} = 2,0 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{400}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 2,8 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A (corrente nominal do disjuntor)}$$

$$I_a = 10 \times 0,70 = 7 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 7 \text{ A} > 2 \text{ A (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7 \text{ A} < 21 \text{ A (satisfaz)}$$

- Capacidade de ruptura

$$I_{cs} = 16,5 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 3,5 \text{ kA (não satisfaz)}$$

É necessário pré-ligar um fusível no condutor fase, ou seja:

$$I_{nf} \geq 1,15 \times I_c \geq 1,15 \times 2 \geq 2,3 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 6 \text{ A} - NH$$

$$I_{cs} = 16,2 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 6 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 1,2 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} > I_{corte} \text{ (satisfaz)}$$

c) Circuitos: 14

$$S = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 50 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times F_p} = 4 \times \frac{6.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 40,5 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times F_{cd} \times F_p} = 4 \times \frac{6.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,70 \times 0,90} = 57,8 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 60 \text{ A}$$

$$I_a = 60 \times 0,70 = 42 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 42 \text{ A} > 40,5 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 42 \text{ A} < 50 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

- Capacidade de ruptura

$$I_{cs} = 16,5 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 4 \text{ kA} \text{ (não satisfaz)}$$

É necessário pré-ligar um fusível nos condutores fase, ou seja:

$$I_{nf} \geq 1,15 \times I_c \geq 1,15 \times 40,5 \geq 46,5 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 50 \text{ A} - \text{NH}$$

$$I_{cs} = 16,5 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 50 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 4,1 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} \cong I_{corte} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.1.2 QDL2

a) Circuitos: 7 a 12

$$S = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 68 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{4.900}{220 \times 0,90} = 24,7 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{4.900}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 35,5 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 40 \text{ A}$$

$$I_a = 40 \times 0,70 = 28 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 28 \text{ A} > 24,7 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 28 \text{ A} < 68 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

- Capacidade de ruptura

$$I_{cs} = 9,8 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 6 \text{ kA} \text{ (não satisfaz)}$$

É necessário pré-ligar um fusível no condutor fase, ou seja:

$$I_{nf} \geq 1,15 \times I_c \geq 1,15 \times 24,7 \geq 28,4 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A} - \text{NH}$$

$$I_{cs} = 9,8 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 3,1 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} \cong I_{corte} \text{ (satisfaz)}$$

b) Circuitos: 16

$$S = 25 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 89 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times F_p} = \frac{36.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 60,7 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{36.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,70 \times 0,90} = 86,8 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 100 \text{ A}$$

$$I_a = 100 \times 0,70 = 70 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 70 \text{ A} > 60,7 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 70 \text{ A} < 89 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

- Capacidade de ruptura

$$I_{cs} = 9,8 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 6 \text{ kA} \text{ (não satisfaz)}$$

É necessário pré-ligar um fusível nos condutores fase, ou seja:

$$I_{nf} \geq 1,15 \times I_c \geq 1,15 \times 60,7 \geq 69,8 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 80 \text{ A}$$

$$I_{cs} = 9,8 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 80 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 6 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} \cong I_{corte} \text{ (satisfaz)}$$

c) Circuito: 17

$S = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 50 \text{ A}$ (veja Seção 9.1 deste Apêndice — circuito 17)

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{800}{220 \times 0,90} = 4 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{800}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 5,7 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A}$$

$$I_a = 10 \times 0,70 = 7 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 7 \text{ A} > 4 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7 \text{ A} < 50 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_{adc} \leq I_{nc}$$

$$I_{adc} = K \times I_a \rightarrow I_{adc} = 1,35 \times 7 = 9,4 \text{ A} \rightarrow I_{adc} < I_{nc} \text{ (satisfaz)}$$

- Capacidade de ruptura

$$I_{cs} = 9,8 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 4 \text{ kA} \text{ (não satisfaz)}$$

É necessário pré-ligar um fusível no condutor fase, ou seja:

$$I_{nf} \geq 1,15 \times I_c \geq 1,15 \times 4 \geq 4,6 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 6 \text{ A}$$

$$I_{cs} = 9,8 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 6 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 1 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} > I_{corte} \text{ (satisfaz)}$$

Obs.: deixa-se para o leitor determinar doravante a capacidade de ruptura dos disjuntores monoplares e tripolares utilizando o mesmo procedimento. Caso a corrente de corte para determinado fusível ainda seja superior à capacidade de ruptura do disjuntor, é necessário adotar um

disjuntor com características adequadas.

A.13.1.3 QDL3

a) Circuito: 19

$$S = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 21 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.500}{220 \times 0,90} = 7,5 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.500}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 10,8 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 15 \text{ A}$$

$$I_a = 15 \times 0,70 = 10,5 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 10,5 \text{ A} > 7,5 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_c \rightarrow 10,5 \text{ A} < 21 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

b) Circuito: 20

$$S = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 21 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.200}{220 \times 0,90} = 6 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.200}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 8,6 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A}$$

$$I_a = 10 \times 0,70 = 7 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 7 \text{ A} > 6 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7 \text{ A} < 21 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

c) Circuito: 21

$$S = 1,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 15,5 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{2.720}{220 \times 0,90} = 13,7 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{2.720}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 19,6 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 20 \text{ A}$$

$$I_a = 20 \times 0,70 = 14 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 14 \text{ A} > 13,7 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 14 \text{ A} < 15,5 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

Deve-se alterar a seção do condutor para $S = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} \text{ A}$ (satisfaz)

d) Circuito: 22

$$S = 1,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 15,5 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{2.560}{220 \times 0,90} = 12,9 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{2.560}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 18,4 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 20 \text{ A}$$

$$I_a = 20 \times 0,70 = 14 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 14 \text{ A} > 12,9 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 14 \text{ A} < 15,5 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

Deve-se alterar a seção do condutor para $S_c = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 21 \text{ A}$ (satisfaz)

A.13.1.4 QDL4

a) Circuitos: 23 e 24

$$S = 1,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 15,5 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.440}{220 \times 0,90} = 7,2 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.440}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 10,3 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 15 \text{ A}$$

$$I_a = 15 \times 0,70 = 10,5 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 10,5 \text{ A} > 7,2 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_c \rightarrow 10,5 \text{ A} < 15,5 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

b) Circuito da máquina de embalagem

$$S = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 21 \text{ A (valor mínimo)}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.900}{220 \times 0,90} = 9,5 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.900}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 13,7 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 15 \text{ A}$$

$$I_a = 15 \times 0,70 = 10,5 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 10,5 \text{ A} > 9,5 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_c \rightarrow 10,5 \text{ A} < 21 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_{adc} \leq I_{nc}$$

$$I_{adc} = K \times I_a \rightarrow I_{adc} = 1,35 \times 10,5 = 14,1 \text{ A} \rightarrow I_{adc} < I_{nc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.1.5 QDL5

a) Circuito: 26

$$S = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 21 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.200}{220 \times 0,90} = 6,0 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.200}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 8,6 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A}$$

$$I_a = 10 \times 0,70 = 7 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 7 \text{ A} > 6,0 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7 \text{ A} < 21 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

b) Circuito: 27

$$S = 1,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 15,5 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.280}{220 \times 0,90} = 6,4 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.280}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 9,2 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A}$$

$$I_a = 10 \times 0,70 = 7 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 7 \text{ A} > 6,4 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7 \text{ A} < 15,5 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_{adc} \leq I_{nc}$$

$$I_{adc} = K \times I_a \rightarrow I_{adc} = 1,35 \times 7 = 9,4 \text{ A} \rightarrow I_{adc} < I_{nc}$$

c) Circuito: 28

$$S = 1,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 15,5 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.400}{220 \times 0,90} = 7,0 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.400}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 10,1 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 15 \text{ A}$$

$$I_a = 15 \times 0,70 = 10,5 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 10,5 \text{ A} > 7,0 \text{ A (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 10,5 \text{ A} < 15,5 \text{ A (satisfaz)}$$

d) Circuito: 29

$$S = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 21 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.800}{220 \times 0,90} = 9,0 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.800}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 12,9 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 15 \text{ A}$$

$$I_a = 15 \times 0,70 = 10,5 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 10,5 \text{ A} > 9 \text{ A (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 10,5 \text{ A} < 21 \text{ A (satisfaz)}$$

e) Circuito: 30

$$S = 1,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 15,5 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.280}{220 \times 0,90} = 6,4 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.280}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 9,2 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A}$$

$$I_a = 10 \times 0,70 = 7 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 7 \text{ A} > 5 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7 \text{ A} < 15,5 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

f) Circuito: 31

$$S = 1,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 15,5 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{1.400}{220 \times 0,90} = 7,0 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{1.400}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 10,1 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 15 \text{ A}$$

$$I_a = 15 \times 0,70 = 10,5 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 17,5 \text{ A} > 16,1 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 17,5 \text{ A} < 36 \text{ A (satisfaz)}$$

g) Circuito: 32

$$S = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 50 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{4.000}{220 \times 0,90} = 20,2 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{4.000}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 28,8 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 30 \text{ A}$$

$$I_a = 30 \times 0,70 = 21 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 21 \text{ A} > 20,2 \text{ A (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 21 \text{ A} < 50 \text{ A (satisfaz)}$$

A.13.1.6 QDL6

a) Circuito: 33

$$S = 1,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 15,5 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{480}{220 \times 0,90} = 2,4 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{480}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 3,46 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A}$$

$$I_a = 10 \times 0,70 = 7 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 7 \text{ A} > 2,4 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7 \text{ A} < 15,5 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

b) Circuito: 34

$$S = 1,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 15,5 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{640}{220 \times 0,90} = 3,2 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{640}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 4,6 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A}$$

$$I_a = 10 \times 0,70 = 7 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 7 \text{ A} > 3,2 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 7 \text{ A} < 15,5 \text{ A (satisfaz)}$$

c) Circuito: 35

$$S = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 21 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{2.600}{220 \times 0,90} = 13,1 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{2.600}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 18,7 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 20 \text{ A}$$

$$I_a = 20 \times 0,70 = 14 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 14 \text{ A} > 13,1 \text{ A (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 14 \text{ A} < 21 \text{ A (satisfaz)}$$

d) Circuito: 36

$$S = 1,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 15,5 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{V \times F_p} = \frac{800}{220 \times 0,90} = 4 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{800}{220 \times 0,70 \times 0,90} = 5,7 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 10 \text{ A}$$

$$I_a = 10 \times 0,70 = 7 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 7 \text{ A} > 4 \text{ A (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 74 \text{ A} < 15,5 \text{ A (satisfaz)}$$

e) Circuito: 37

$$S = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 21 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times F_p} = \frac{12.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 20,2 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{12.000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,70 \times 0,90} = 28,9 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 30 \text{ A}$$

$$I_a = 30 \times 0,70 = 21 \text{ A}$$

$$F_{cd} = 0,70$$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 21 \text{ A} > 20,2 \text{ A (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 21 \text{ A} < 21 \text{ A (satisfaz)}$$

Deve-se alterar a seção do condutor para $S_c = 4 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 28 \text{ A}$ (satisfaz).

A.13.1.7 CCM1

Foi considerado que o tempo de partida de todos os motores é de

Foi considerado que a corrente de partida do motor corresponderia à corrente nominal de partida (motor ligado a uma barra infinita). Assim, não se considerou a queda de tensão na partida do motor para reduzir o trabalho

de cálculo. Esse procedimento para a forma aqui empregada é perfeitamente válido e está a favor da segurança.

a) Motor de 30 cv

$$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 43,3 \times 6,8 = 294,4 \text{ A}$$

$$I_{nm} = 43,3 \text{ A}$$

$$R_{cpm} = 6,8 \text{ A}$$

$$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$$

$$K = 0,4$$

$$I_{nf} \leq 294,4 \times 0,4 \leq 117,7 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 100 \text{ A}$$

- Condição de partida: fusível

$$I_{pm} = 294,4 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 9 \text{ s (9 a 120 s)} \rightarrow T_{pm} < T_{af} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do contator
 - Tipo: 3TF 46 – Siemens ([Tabela 9.15](#))

$$I_{mf} = 100 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Relé térmico
 - Tipo: 3UA58-00-2F – Siemens ([Tabela 10.2](#))

$$I_{mf} = 100 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Faixa de ajuste: (32–50) A

$$I_{nm} = 43,3 \text{ A} \rightarrow I_{ar} = 44 \text{ A}$$

– Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{294,4}{44} = 6,69 \rightarrow T_{ar} = 5,5 \text{ s} \rightarrow T_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

Será admitida a corrente de curto-circuito na barra dos CCMs, que é superior à corrente de curto-circuito na extremidade de carga do cabo (não calculada).

$$I_{cs} = 25,6 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 100 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s (Figura 10.21)}$$

$$I_{ra} = 25,6 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 100 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 10 \text{ kA (Figura 10.27)}$$

Com base na Equação (3.19), pode-se determinar o valor do tempo de suportabilidade da isolamento do condutor perante as correntes de curto-circuito.

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 10^2}{10^2} = 0,013 \text{ s}$$

$$T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

b) Motor de 7,5 cv

$$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 11,9 \times 7 = 83,3 \text{ A}$$

$$I_{nm} = 11,9 \text{ A}$$

$$R_{cpm} = 7$$

$$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$$

$$K = 0,4$$

$$I_{nf} \leq 83,3 \times 0,4 \leq 33,3 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 25 \text{ A}$$

- Condição de partida: fusível

$$I_{pm} = 83,3 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 1 \text{ s (1,0 a 20 s)} \rightarrow T_{pm} > T_{af} \text{ (não satisfaz)}$$

Como o fusível pode atuar durante a partida do motor, deve-se redimensionar sua corrente nominal, ou seja:

$$I_{nf} = 32 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 4 \text{ s (4 a 120 s)} \rightarrow T_{pm} < T_{af} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do contator
 - Tipo: 3TF 41-10 – Siemens ([Tabela 9.15](#))

$$I_{mf} = 16 \text{ A} \rightarrow I_{nf} > I_{mf} \text{ (não satisfaz)}$$

O contator deve ser alterado para o tipo: 3TF 44-11 – Siemens

$$I_{mf} = 63 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Relé térmico
 - Tipo: 3UA 55-00-2A – Siemens ([Tabela 10.2](#))

$$I_{mf} = 32 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Faixa de ajuste: (10–16) A

$$I_{nm} = 11,9 \text{ A} \rightarrow I_{ar} = 12 \text{ A}$$

- Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{83,3}{12} = 6,9 \rightarrow T_{ar} = 5 \text{ s} \rightarrow T_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 25,6 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s (Figura 10.22)}$$

$$I_{cs} = 25,6 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 4 \text{ kA (Figura 10.27)}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 2,5^2}{4^2} = 0,005 \text{ s}$$

$$T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz: veja Figura 10.22)}$$

A.13.1.8 CCM2

a) Motor de 3 cv

$$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 5,5 \times 6,6 = 36,3 \text{ A}$$

$$I_{nm} = 5,5 \text{ A}$$

$$R_{cpm} = 6,6$$

$$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$$

$$K = 0,5$$

$$I_{nf} \leq 36,3 \times 0,5 \leq 18,1 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 16 \text{ A}$$

- Condição de partida: fusível

$$I_{pm} = 36,3 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 4 \text{ s (4 a 140 s)} \rightarrow T_{pm} < T_{af} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do contator
 - Tipo: 3TF 43-10 – Siemens (Tabela 10.2)

$$I_{mf} = 25 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Relé térmico

- Tipo: 3UA 55-00-1J – Siemens (Tabela 10.2)

$$I_{mf} = 25 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Faixa de ajuste: (6,3–10) A

$$I_{nm} = 5,5 \text{ A} \rightarrow I_{ar} = 6 \text{ A}$$

- Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{36,3}{6} = 6,0 \rightarrow T_{ar} = 6 \text{ s} \rightarrow T_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 15,4 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 16 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s (Figura 10.21)}$$

$$I_{cs} = 15,4 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 16 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 2 \text{ kA (Figura 10.27)}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 2,5^2}{2^2} = 0,020 \text{ s}$$

$$T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

b) Motor de 5 cv

$$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} 7,9 \times 7 = 55,3 \text{ A}$$

$$I_{nm} = 7,9 \text{ A}$$

$$R_{cpm} = 7$$

$$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$$

$$K = 0,4$$

$$I_{nf} \leq 55,3 \times 0,4 \leq 22,1 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 20 \text{ A}$$

- Condição de partida: fusível

$$I_{pm} = 55,3 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 15\text{s}(15 \text{ a } 40) \text{ s} \rightarrow T_{pm} < T_{af} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do contator
 - Tipo: 3TF 40-10 – Siemens ([Tabela 10.2](#))

$$I_{mf} = 16 \text{ A} \rightarrow I_{nf} > I_{mf} \text{ (não satisfaz)}$$

O contator deve ser alterado para o tipo 3TF 43-10 – Siemens $\rightarrow I_{mf} = 25 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf}$ (satisfaz)

- Relé térmico
 - Tipo: 3UA 55-00-1J – Siemens ([Tabela 10.2](#))

$$I_{mf} = 25 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Ajuste do relé térmico
- Faixa de ajuste: (6,3–10) A

$$I_{nm} = 7,9 \text{ A} \rightarrow I_{ar} = 8 \text{ A}$$

- Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{55,3}{8} = 6,9 \rightarrow T_{ar} = 5 \text{ s} \rightarrow T_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 15,4 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 20 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s (Figura 10.20)}$$

$$I_{cs} = 15,4 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 20 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 2,7 \text{ kA (Figura 10.27)}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 2,5^2}{2,7^2} = 0,011 \text{ s}$$

$$T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.1.9 CCM3

a) Motor de 10 cv

$$I_{pm} = Inm \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 15,4 \times 6,6 = 101,6 \text{ A}$$

$$I_{nm} = 15,4 \text{ A}$$

$$R_{cpm} = 6,6$$

$$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$$

$$K = 0,4$$

$$I_{nf} \leq 101,6 \times 0,4 \leq 40,6 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A}$$

- Condição de partida: fusível

$$I_{pm} = 101,6 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 3,5 \text{ s (3,5 a 100 s)} \rightarrow T_{pm} < T_{af} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do contator
 - Tipo: 3TF 42-10 – Siemens (Tabela 9.15)

$$I_{mf} = 25 \text{ A} \rightarrow I_{nf} > I_{mf} \text{ (não satisfaz)}$$

Alterar o contator para o tipo 3TF 44-11 – Siemens (Tabela 9.15)

$$I_{mf} = 63 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Relé térmico

- Tipo: 3UA 55-00-2B – Siemens (Tabela 10.2)

$$I_{mf} = 50 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Faixa de ajuste: (12,5–20) A

$$I_{nm} = 15,4 \text{ A} \rightarrow I_{ar} = 16 \text{ A}$$

- Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{101,6}{16} = 6,3 \rightarrow T_{ar} = 6 \text{ s} \rightarrow I_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 14,8 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s (Figura 10.22)}$$

$$I_{cs} = 14,8 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 3,5 \text{ kA (Figura 10.27)}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 4^2}{3,5^2} = 0,017 \text{ s}$$

$$T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

b) Motor de 5 cv

$$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 7,9 \times 7 = 55,3 \text{ A}$$

$$I_{nm} = 7,9 \text{ A}$$

$$R_{cpm} = 7$$

$$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$$

$$K = 0,4$$

$$I_{nf} \leq 55,3 \times 0,4 \leq 22,1 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 20 \text{ A}$$

- Condição de partida: fusível

$$I_{pm} = 55,3 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 4\text{s}(4 \text{ a } 200) \text{ s} \rightarrow T_{pm} < T_{af} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do contator
 - Tipo: 3TF 43-10 – Siemens

$$I_{mf} = 25 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Relé térmico
 - Tipo: 3UA 55-00-1J – Siemens

$$I_{mf} = 25 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Faixa de ajuste: (6,3-10) A

$$I_{nm} = 7,9 \text{ A} \rightarrow I_{ar} = 8 \text{ A}$$

- Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{55,3}{8} = 6,9 \rightarrow T_{ar} = 5 \text{ s} \rightarrow I_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 14,8 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 20 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s (Figura 10.20)}$$

$$I_{cs} = 14,8 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 20 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 2,8 \text{ kA (Figura 10.27)}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 2,5^2}{2,8^2} = 0,010 \text{ s}$$

$$T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.1.10 CCM4

O motor será acionado através de chave partida estática.

a) Motor de 250 cv

$$I_{pm} = 2.107 \text{ A (veja Seção A.12.1.6 deste Apêndice)}$$

$$I_{nf} \leq 0,40 \times 2.107 \leq 842,8 \text{ A}$$

$$I_{nf} = 630 \text{ A}$$

- Tipo do fusível: partida rápida

Deve-se utilizar um fusível de característica rápida, tipo NH, para garantir a proteção dos componentes semicondutores da chave. O fusível deve garantir a partida do motor.

- Chave de partida adotada: chave de partida estática (soft-starter)
 - Tipo: SSW-02-340 – WEG (Tabela 9.17)
- Relé térmico eletrônico incorporado à chave

Deve-se ajustar a proteção de sobrecarga de acordo com o catálogo do fabricante da chave *soft-starter*.

A.13.1.11 CCM5

a) Motor de 15 cv

$$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 26 \times 7,8 = 202,8 \text{ A}$$

$$I_{nm} = 26 \text{ A}$$

$$R_{cpm} = 7,8$$

$$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$$

$$K = 0,4$$

$$I_{nf} \leq 202,8 \times 0,4 \leq 81,1 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 80 \text{ A}$$

- Condição de partida: fusível

$$I_{pm} = 202,8 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 40 \text{ s (40 a 500 s)} \rightarrow T_{pm} < T_{af} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do contator
 - Tipo: 3TF 43-10 – Siemens ([Tabela 9.15](#))

$$I_{mf} = 25 \text{ A} \rightarrow I_{nf} > I_{mf} \text{ (não satisfaz)}$$

Alterar o contator para o tipo 3TF 44-11 e também a corrente nominal do fusível para $I_{nf} = 63 \text{ A}$, ou seja:

$$I_{nf} = 63 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_{pm} = 202,8 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 4 \text{ s (4 a 40 s)}$$

$$T_{pm} < T_{af} \text{ (satisfaz)}$$

- Relé térmico
 - Tipo: 3UA 55-00-2D – Siemens ([Tabela 10.2](#))

$$I_{mf} = 63 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Faixa de ajuste: (20–32) A

$$I_{nm} = 26 \text{ A} \rightarrow I_{ar} = 27 \text{ A}$$

- Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{202,8}{27} = 7,5 \rightarrow T_{ar} = 5 \text{ s} \rightarrow I_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 12,3 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 63 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s (Figura 10.21)}$$

$$I_{cs} = 12,3 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 63 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 6 \text{ kA (Figura 10.27)}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 10^2}{6^2} = 0,036 \text{ s}$$

$$T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

b) Motor de 7,5 cv

$$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 11,9 \times 7 = 83,3 \text{ A}$$

$$I_{nm} = 11,9 \text{ A}$$

$$R_{cpm} = 7$$

$$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$$

$$K = 0,4$$

$$I_{nf} \leq 83,3 \times 0,4 \leq 33,3 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 25 \text{ A}$$

- Condição de partida: fusível

$$I_{pm} = 83,3 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 1 \text{ s (1 a 20) s} \rightarrow T_{pm} > T_{af} \text{ (n\~{a}o satisfaz)}$$

Deve-se elevar o valor da corrente nominal do fusível para 32 A

$$I_{pm} = 83,3 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 3,5 \text{ s (3,5 a 120) s} \rightarrow T_{pm} < T_{af} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do contator
 - Tipo: 3TF 41-10 – Siemens ([Tabela 9.15](#))

$$I_{mf} = 16 \text{ A} \rightarrow I_{nf} > I_{mf} \text{ (n\~{a}o satisfaz)}$$

Alterar o contator para o tipo 3TF 44-11 – Siemens ([Tabela 9.5](#))

$$I_{mf} = 63 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Relé térmico
 - Tipo: 3UA 55-00-2A – Siemens ([Tabela 10.2](#))

$$I_{mf} = 32 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Faixa de ajuste: (10–16) A

$$I_{nm} = 11,9 \text{ A} \rightarrow I_{ar} = 12 \text{ A}$$

- Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{83,3}{12} = 6,9 \rightarrow T_{ar} = 5 \text{ s} \rightarrow I_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 12,3 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s (Figura 10.22)}$$

$$I_{cs} = 12,3 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 3,5 \text{ kA (Figura 10.27)}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 4^2}{3,5^2} = 0,017 \text{ s}$$

$$T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.1.12 CCM6

a) Motor de 20 cv

$$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 28,8 \times 6,8 = 195,8 \text{ A}$$

$$I_{nm} = 28,8 \text{ A}$$

$$R_{cpm} = 6,8$$

$$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$$

$$K = 0,4$$

$$I_{nf} \leq 195,8 \times 0,4 \leq 78,3 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 63 \text{ A}$$

- Condição de partida: fusível

$$I_{pm} = 195,8 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 5 \text{ s (5 a 40 s)} \rightarrow T_{pm} < T_{af} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do contator
 - Tipo: 3TF 44-11 – Siemens (Tabela 9.15)

$$I_{nf} = 63 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Relé térmico

- Tipo: 3UA 58-00-2D – Siemens (Tabela 10.2)

$$I_{nf} = 63 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Faixa de ajuste: (20–32) A

$$I_{nm} = 28,8 \text{ A} \rightarrow I_{ar} = 30 \text{ A}$$

- Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{195,8}{30} = 6,5 \rightarrow T_{ar} = 5,5 \text{ s} \rightarrow I_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 14,5 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 63 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s (Figura 10.21)}$$

$$I_{cs} = 14,5 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 63 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 6 \text{ kA (Figura 10.27)}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 16^2}{6^2} = 0,092 \text{ s}$$

$$T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.1.13 CCM7

a) Motor de 30 cv

$$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 43,3 \times 6,8 = 294,4 \text{ A}$$

$$I_{nm} = 43,3 \text{ A}$$

$$R_{cpm} = 6,8$$

$$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$$

$$K = 0,4$$

$$I_{nf} \leq 294,4 \times 0,4 \leq 117,7 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 100 \text{ A}$$

- Condição de partida: fusível

$$I_{pm} = 294,4 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 10 \text{ s (10 a 160 s)} \rightarrow T_{pm} < T_{af} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do contator
 - Tipo: 3TF 46-22 – Siemens ([Tabela 9.15](#))

$$I_{mf} = 100 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do relé térmico
 - Tipo: 3UA 58-00-2F – Siemens ([Tabela 10.2](#))

$$I_{mf} = 100 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Faixa de ajuste: (32–50) A

$$I_{nm} = 43,3 \text{ A} \rightarrow I_{ar} = 44 \text{ A}$$

- Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{294,4}{44} = 6,6 \rightarrow T_{ar} = 5,5 \text{ s} \rightarrow I_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 21,3 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 100 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s (Figura 10.21)}$$

$$I_{cs} = 21,3 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 100 \text{ A} \rightarrow I_{corte} = 9 \text{ kA (Figura 10.27)}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 25^2}{9^2} = 0,100 \text{ s}$$

$$T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.1.14 CCM8

a) Motor de 25 cv

$$I_{pm} = I_{nm} \times R_{cpm} \rightarrow I_{pm} = 35,5 \times 6,7 = 237,8 \text{ A}$$

$$I_{nm} = 35,5 \text{ A}$$

$$R_{cpm} = 6,7$$

$$I_{nf} \leq I_{pm} \times K$$

$$K = 0,4$$

$$I_{nf} \leq 237,8 \times 0,4 \leq 95,1 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 80 \text{ A}$$

- Condição de partida: fusível

$$I_{pm} = 237,8 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 13 \text{ s (13 a 160 s)} \rightarrow T_{pm} < T_{af} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do contator
 - Tipo: 3TF 45-11 – Siemens (Tabela 9.15)

$$I_{mf} = 63 \text{ A} \rightarrow I_{nf} > I_{mf} \text{ (não satisfaz)}$$

Alterar o contator para o tipo 3TF 46-22 – Siemens

$$I_{mf} = 100\text{A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

A redução da corrente nominal do fusível para $I_{nf} = 63\text{ A}$ não é possível em função da partida do motor.

- Relé térmico
 - Tipo: 3UA 55-00-2F – Siemens (Tabela 10.2)

$$I_{mf} = 100\text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Faixa de ajuste: (32–50) A

$$I_{nm} = 35,5\text{ A} \rightarrow I_{ar} = 36\text{ A}$$

- Condição de partida: relé

$$N = \frac{I_{pm}}{I_a} = \frac{237,8}{36} = 6,6 \rightarrow T_{ar} = 5,5\text{ s} \rightarrow I_{pm} < T_{ar} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 18,7\text{kA} \rightarrow I_{nf} = 80\text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01\text{ s (Figura 10.22)}$$

$$I_{cs} = 18,7\text{kA} \rightarrow I_{nf} = 80\text{ A} \rightarrow I_{corte} = 9\text{kA (Figura 10.27)}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 25^2}{9^2} = 0,100\text{ s}$$

$$T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2 Circuitos de distribuição

A.13.2.1 QGF – QDL1

- Disjuntor compensado

$$S = 95 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 179 \text{ A (Tabela 3.6)}$$

$$I_{ad} = \frac{P_c}{\sqrt{3} \times V \times F_p} = \frac{47.860}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 80,7 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 100 \text{ A}$$

- Tipo: 3VF 31 (Tabela 10.6)
- Faixa de ajuste: (80–100) A
- Ajuste: $I_a = 85 \text{ A}$
- Capacidade de ruptura: $I_{rd} = 65 \text{ kA}$
- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 85 \text{ A} > 80,7 \text{ A (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 85 \text{ A} < 179 \text{ A (satisfaz)}$$

- Capacidade de ruptura do disjuntor

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{cs} < I_{rd} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

Será admitida a corrente de curto-circuito na barra do QGF, que é superior à corrente de curto-circuito na extremidade de carga do cabo.

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow N = \frac{I_{cs}}{I_a} = \frac{33.528}{85} = 394 \rightarrow T_{ad} = 0,013 \text{ s (Figura 10.16)}$$

$$S_c = 95 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow T_{sc} = 8 \text{ ciclos (0,133 s) (Figura 3.26)} \rightarrow T_{ad} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.2 QGF – QDL2

- Disjuntor compensado

$$S = 150 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 230 \text{ A (Tabela 3.6)}$$

$$I_{ad} = \frac{P_c}{\sqrt{3} \times V \times F_p} = \frac{56.540}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 95,4 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 160 \text{ A}$$

- Tipo: 3VF 32 (Tabela 10.6)
- Faixa de ajuste: (100–125) A
- Ajuste: $I_a = 100$ A
- Capacidade de ruptura: $I_{rd} = 65$ kA
- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 100 \text{ A} > 95,4 \text{ A (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 100 \text{ A} < 230 \text{ A (satisfaz)}$$

- Capacidade de ruptura do disjuntor

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{cs} < I_{rd} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow N = \frac{I_{cs}}{I_a} = \frac{33.528}{85} = 394 \rightarrow T_{ad} = 0,013 \text{ s (Figura 10.16)}$$

$$S_c = 95 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow T_{sc} = 8 \text{ ciclos (0,133 s) (Figura 3.26)} \rightarrow T_{ad} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.3 QGF – QDL3

- Disjuntor compensado

$$S = 4 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 31 \text{ A (Tabela 3.6)}$$

$$I_{ad} = \frac{P_c}{\sqrt{3} \times V \times F_p} = \frac{7.980}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 13,4 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 25 \text{ A}$$

- Tipo: 3VU13 (Tabela 10.6)
- Faixa de ajuste: (10–16) A
- Ajuste: $I_a = 14$ A
- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 14 \text{ A} > 13,4 \text{ A (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 14 \text{ A} < 31 \text{ A (satisfaz)}$$

- Capacidade de ruptura do disjuntor

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 10 \text{ kA (Tabela 10.6)} \rightarrow I_{cs} > I_{rd} \text{ (n\~{a}o satisfaz)}$$

É necessário pré-ligar ao disjuntor um fusível que obedeça às seguintes condições:

$$I_c = 13,4 \text{ A} \rightarrow I_{nf} \geq 1,15 \times 13,4 \geq 15,4 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 16 \text{ A}$$

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 16 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s} \rightarrow I_{corte} = 2,8 \text{ kA}$$

(Figura 10.27)

$$I_{corte} < I_{rd} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 4^2}{2,8^2} = 0,026 \text{ s}$$

$$T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.4 QGF – QDL4

- Disjuntor compensado

$$S = 2,5 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 24 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P_c}{V \times F_p} = \frac{4780}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 8 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 25 \text{ A}$$

- Tipo: 3VU13 (Tabela 10.6)
- Faixa de ajuste: (10–16) A
- Ajuste: $I_a = 12 \text{ A}$

- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 12 \text{ A} > 8 \text{ A (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 12 \text{ A} < 24 \text{ A (satisfaz)}$$

$$I_{adc} = 1,35 \times I_a \rightarrow I_{adc} = 1,35 \times 12 = 16,2 \text{ A} \rightarrow I_{adc} < I_m \text{ (satisfaz)}$$

- Capacidade de ruptura do disjuntor

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 10 \text{ kA (Tabela 10.6)} \rightarrow I_{cs} > I_{rd} \text{ (não satisfaz)}$$

É necessário pré-ligar ao disjuntor um fusível que obedeça às seguintes condições:

$$I_c = 8 \text{ A} \rightarrow I_{nf} \geq 1,15 \times 8 \geq 9,2 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 10 \text{ A}$$

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 10 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s} \rightarrow I_{corte} = 2,5 \text{ kA}$$

$$I_{corte} < I_{rd} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

Como a atuação do fusível é mais rápida do que a do disjuntor e corta a corrente de defeito em 2,5 kA, em um tempo de $T_{af} \ll 0,001 \text{ s}$, tem-se:

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 2,5^2}{2,5^2} = 0,013 \text{ s}$$

$$T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.5 QGF – QDL5

- Disjuntor compensado

$$S = 10 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 52 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P_c}{\sqrt{3} \times V \times F_p} = \frac{13.880}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 23,4 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 25 \text{ A}$$

- Tipo: 3VU 13 (Tabela 10.6)
- Faixa de ajuste: (18–25) A
- Ajuste: $I_a = 24 \text{ A}$
- Capacidade de ruptura: 6 kA (Tabela 10.6)
- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 24 \text{ A} > 23,4 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 24 \text{ A} < 52 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

- Capacidade de ruptura do disjuntor

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 6 \text{ kA} \rightarrow I_{cs} > I_{rd} \text{ (não satisfaz)}$$

É necessário pré-ligar ao disjuntor um fusível que obedeça às seguintes condições:

$$I_c = 23,4 \text{ A} \rightarrow I_{nf} \geq 1,15 \times 23,4 \geq 26,9 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A}$$

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 32 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s} \rightarrow I_{corte} = 4,5 \text{ kA}$$

$$I_{corte} < I_{rd} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{cs}^2} = \frac{0,01302 \times 10^2}{4,5^2} = 0,064 \text{ s}$$

$$T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.6 QGF – QDL6

- Disjuntor compensado

$$S = 16 \text{ mm}^2 \rightarrow I_{nc} = 67 \text{ A}$$

$$I_{ad} = \frac{P_c}{\sqrt{3} \times V \times F_{cd} \times F_p} = \frac{16.520}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 27,8 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 52 \text{ A}$$

- Tipo: 3VU16 (Tabela 10.6)
- Faixa de ajuste: (28–40) A
- Ajuste: $I_a = 30 \text{ A}$
- Capacidade de ruptura: 35 kA
- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 30 \text{ A} > 27,8 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 30 \text{ A} < 67 \text{ A} \text{ (satisfaz)}$$

- Capacidade de ruptura do disjuntor

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{rd} = 35 \text{ kA} \rightarrow I_{cs} < I_{rd} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow N = \frac{I_{cs}}{I_a} = \frac{33.528}{30} = 1.117 \rightarrow T_{ad} = 0,0038 \text{ s (Figura 10.16)}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{cs}^2} = \frac{0,01302 \times 16^2}{33,5^2} = 0,0099 \text{ s} \rightarrow T_{ad} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.7 QGF – CCM1

- Corrente nominal do fusível

$$I_{nf} \leq I_{pnm} \times K + \Sigma I_{nm}$$

$$I_{nf} \leq 43,3 \times 6,8 \times 0,4 + 6 \times 11,9 + 43,3 < 232,4 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 200 \text{ A}$$

- Chave seccionadora

$$I_{nch} \geq 1,15 \times I_c \geq 1,15 \times (2 \times 43,3 + 6 \times 11,9) \geq 1,15 \times 158 \geq 181,7 \text{ A}$$

- Tipo: S32 – 400/3 $\rightarrow I_{nch} = 190 \text{ A}/380 \text{ V}$ – Siemens (Tabela 9.14)

$$I_{mf} = 400 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow N = \frac{I_{cs}}{I_a} = \frac{33.528}{30} = 1.117 \rightarrow T_{ad} = 0,0038 \text{ s (Figura 10.16)}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{cs}^2} = \frac{0,01302 \times 16^2}{33,5^2} = 0,0099 \text{ s} \rightarrow T_{ad} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.8 QGF – CCM2

- Corrente nominal do fusível

$$I_{nf} \geq I_{pnm} \times K + \Sigma I_{nm}$$

$$I_{nf} \leq 7,9 \times 7 \times 0,4 + 5 \times 7,9 + 9 \times 5,5 \leq 111,12 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 100 \text{ A}$$

- Chave seccionadora

$$I_{nch} \geq 1,15 \times I_c \geq 1,15 \times (6 \times 7,9 + 9 \times 5,5) \geq 1,15 \times 96,9 \geq 111,4 \text{ A}$$

- Tipo: S32 – 250/3 $\rightarrow I_{nch} = 160 \text{ A}$ – Siemens (Tabela 9.14)

$$I_{mf} = 250 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow N = \frac{I_{cs}}{I_a} = \frac{33.528}{30} = 1.117 \rightarrow T_{ad} = 0,0038 \text{ s (Figura 10.16)}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{cs}^2} = \frac{0,01302 \times 16^2}{33,5^2} = 0,0099 \text{ s} \rightarrow T_{ad} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.9 QGF – CCM3

- Corrente nominal do fusível

$$I_{nf} \leq I_{pnm} \times K + \Sigma I_{nm}$$

$$I_{nf} \leq 15,4 \times 6,6 \times 0,4 + 6 \times 15,4 + 3 \times 7,9 \leq 156,7 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 125 \text{ A}$$

- Chave seccionadora

$$I_{nch} \geq 1,15 \times I_c \leq 1,15 \times (7 \times 15,4 + 3 \times 7,9) \leq 1,15 \times 131,5 \leq 151,2 \text{ A}$$

- Tipo: S32 – 400/3 $\rightarrow I_{nch} = 190 \text{ A/380 V}$ – Siemens (Tabela 9.14)

$$I_{mf} = 400 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 125 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s} \rightarrow I_{corte} = 12 \text{ kA}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 240^2}{12^2} = 5,2 \text{ s} \rightarrow T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.10 QGF – CCM4

- Corrente nominal do fusível

$$I_{nf} \leq I_{pnm} \times K + \Sigma I_{nm}$$

$$I_{nf} \leq 327,4 \times 6,8 \times 0,3 + 327,4 \leq 995,2 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 800 \text{ A}$$

- Chave seccionadora

$$I_{nch} \geq 1,15 \times I_c \geq 1,15 \times 2 \times 327,4 \geq 1,15 \times 654,8 \geq 753,0 \text{ A}$$

- Tipo: S32 – 1250/3 $\rightarrow I_{nch} = 870 \text{ A}/380$ – Siemens (Tabela 9.14)

$$I_{mf} = 1.250 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 800 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s} \rightarrow \text{não há limitação de corrente}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{cs}^2} = \frac{0,01302 \times (4 \times 400)^2}{33,5^2} = 29,7 \text{ s} \rightarrow T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.11 QGF – CCM5

- Corrente nominal do fusível

$$I_{nf} \leq I_{pnm} \times K + \Sigma I_{nm}$$

$$I_{nf} \leq 26 \times 7,8 \times 0,4 + 5 \times 26 + 3 \times 11,9 \leq 246,8 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 200 \text{ A}$$

- Chave seccionadora

$$I_{nch} \geq 1,15 \times I_c \geq 1,15 \times (6 \times 26 + 3 \times 11,9) \geq 1,15 \times 191,7 \geq 220,4 \text{ A}$$

- Tipo: S32 – 630/3 $\rightarrow I_{nch} = 382 \text{ A}/380 \text{ V}$ – Siemens (Tabela 9.14)

$$I_{mf} = 630 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 200 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s} \rightarrow I_{corte} = 13 \text{ kA}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{corte}^2} = \frac{0,01302 \times 500^2}{13^2} = 19,2 \text{ s} \rightarrow T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.12 QGF – CCM6

- Corrente nominal do fusível

$$I_{nf} \leq I_{pnm} \times K + \Sigma I_{nm}$$

$$I_{nf} \leq 28,8 \times 6,8 \times 0,4 + 7 \times 28,8 \leq 279,9 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 250 \text{ A}$$

- Chave seccionadora

$$I_{nch} \geq 1,15 \times I_c \geq 1,15 \times 8 \times 28,8 \geq 1,15 \times 230,4 \geq 264,9 \text{ A}$$

- Tipo: S32 – 630/3 $\rightarrow I_{nch} = 382 \text{ A}/380 \text{ V}$ – Siemens (Tabela 9.14)

$$I_{mf} = 630 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 250 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s} \rightarrow I_{corte} = 25 \text{ kA}$$

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{cs}^2} = \frac{0,01302 \times (2 \times 185)^2}{25^2} = 2,85 \text{ s} \rightarrow T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.13 QGF – CCM7

- Corrente nominal do fusível

$$I_{nf} \leq I_{pnm} \times K + \Sigma I_{nm}$$

$$I_{nf} \leq 43,3 \times 6,8 \times 0,4 + 9 \times 43,3 \leq 507,4 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 500 \text{ A}$$

- Chave seccionadora

$$I_{nch} \geq 1,15 \times I_c \geq 1,15 \times 10 \times 43,3 \geq 1,15 \times 433 \geq 497,9 \text{ A}$$

– Tipo: S32 – 1250/3 $\rightarrow I_{nch} = 870 \text{ A}/380 \text{ V}$ – Siemens (Tabela 9.14)

$$I_{mf} = 1.000 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 500 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s} \rightarrow$ não há limitação de corrente

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{cs}^2} = \frac{0,01302 \times (2 \times 500)^2}{33,5^2} = 11,6 \text{ s} \rightarrow T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.14 QGF – CCM8

- Corrente nominal do fusível

$$I_{nf} \leq I_{pnm} \times K + \Sigma I_{nm}$$

$$I_{nf} \leq 35,5 \times 6,7 \times 0,4 + 9 \times 35,5 \leq 414,6 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = 400 \text{ A}$$

- Chave seccionadora

$$I_{nch} \geq 1,15 \times I_c \geq 1,15 \times 10 \times 35,5 \geq 1,15 \times 355 \geq 408,2 \text{ A}$$

– Tipo: S32 – 1.000/3 $\rightarrow I_{nch} = 447 \text{ A}/380 \text{ V}$ – Siemens (Tabela 9.14)

$$I_{mf} = 1.000 \text{ A} \rightarrow I_{nf} < I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

- Proteção do condutor contra curtos-circuitos

$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{nf} = 400 \text{ A} \rightarrow T_{af} \ll 0,01 \text{ s} \rightarrow$ não há limitação de corrente

$$T_{sc} = \frac{0,01302 \times S_c^2}{I_{cs}^2} = \frac{0,01302 \times (2 \times 400)^2}{33,5^2} = 7,4 \text{ s} \rightarrow T_{af} < T_{sc} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.15 TR – QGF (circuito de cada transformador)

$$S_c = 3 \times 300 \text{ mm}_2 \rightarrow I_{nc} = 3 \times 396 \text{ A} = 1.188 \text{ A}$$

$$I_c = \frac{P_{ntr}}{\sqrt{3} \times V} = \frac{750}{\sqrt{3} \times 0,38} = 1.139 \text{ A} \rightarrow I_{nd} = 1.250 \text{ A (Tabela 10.6)}$$

- Tipo: 3WN6 – Siemens (curva na [Figura 10.17](#))
- Relé térmico: 500–1.250 A
- Relé magnético: 5.000–10.000 A
- Classe de temperatura da unidade magnética: 80 ms
- Capacidade de ruptura: $I_s = 65 \text{ kA}/380 \text{ V}$
- Ajuste do relé térmico: $I_a = 1.200 \text{ A}$
- Condição de proteção

$$I_a \geq I_c \rightarrow 1.200 \text{ A} > 1.139 \text{ A (satisfaz)}$$

$$I_a \leq I_{nc} \rightarrow 1.200 \text{ A} \approx 1.180 \text{ A (satisfaz)}$$

- Capacidade de ruptura

$$I_{cs} = 33,5 \text{ kA} \rightarrow I_{cs} < I_{rd} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.2.16 Banco de capacitores

- Corrente nominal do fusível por célula

$$I_{nf} \leq 1,65 \times I_{nca}$$

$$I_{nca} = \frac{25}{\sqrt{3} \times 0,38} = 38 \text{ A}$$

$$I_{nf} \leq 1,65 \times 38 \leq 63 \text{ A}$$

$$I_{nf} = 63 \text{ A}$$

- Corrente nominal da chave seccionadora por célula

$$I_{nch} \geq 1,35 \times I_{nca}$$

$$I_{nch} \geq 1,35 \times 38 = 51,3 \text{ A}$$

$$I_{nch} = 60 \text{ A/380 V (para cargas capacitivas)}$$

$$I_{mf} = 63 \text{ A} \rightarrow I_{nf} = I_{mf} \text{ (satisfaz)}$$

A.13.3 Proteção de média tensão

- a) **Potência nominal dos transformadores vale:**

$$P_{tr} = 750 + 750 = 1.500 \text{ kVA}$$

- b) **Corrente nominal primária do transformador de força**

$$I_{tr} = I_{ma} = \frac{1.500}{\sqrt{3} \times 13,80} = 62,7 \text{ A}$$

- c) **Determinação das características do transformador de corrente**

- RTC do transformador de corrente

$$I_{tc} \geq \frac{I_{\alpha}}{20} = \frac{13.622}{20} \geq 681 \text{ A}$$

$I_{ct} = 13.622 \text{ A}$ (corrente de curto-circuito trifásica no ponto de conexão da subestação – item A.11.1)

As demais características dos TCs devem ser fornecidas pelo fabricante dos equipamentos.

A concessionária forneceu os dados de ajuste do relé referente ao alimentador que será conectado à subestação da indústria, de acordo com a [Tabela A.3](#).

Tabela A.3 Dados da proteção do relé da SE da concessionária

Proteção do alimentador 0112 da SE Concessionária – SEL351-6D4E642X2					
Proteção de sobrecorrente de fase (50/51)			Proteção de sobrecorrente de neutro (50/51N)		
Item	Tipo	Ajuste	Item	Tipo	Ajuste
1	Pick-up	980	1	Pick-up	90
2	Curva	1,5	2	Curva	1,8
3	Tipo de curva	Extremamente inversa	3	Tipo de curva	Extremamente inversa
4	Instantâneo (1)	1.560	4	Instantâneo	1.100
5	Temp do Inst. (1)	0,30 s	5	Temp do Inst.	0,30 s
6	Instantâneo (2)	-	-	-	-
7	Temp do Inst. (2)	-	-	-	-

De acordo com o projeto, o relé está localizado aproximadamente a uma

distância de 1,0 m dos transformadores de corrente (o relé está incorporado ao disjuntor, de acordo com o projeto da subestação) e é alimentado por um circuito em cabo $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$. As principais características técnicas dessa ligação são:

- Impedância de um cabo de $1,5 \text{ mm}^2$; $Z_{\text{cabo}} = 14,81 \text{ } \Omega/\text{km}$ (Tabela 3.22).
- Impedância do relé: $Z_{\text{relé}} = 0,014 \text{ } \Omega$.
- Corrente nominal do relé: $I_{nr} = 5 \text{ A}$.
- Distância entre o relé e os TCs: $L = 1 \text{ m}$.
- Transformador de corrente para proteção: 600/800–5 A.
- Relação de transformação: $800\text{-}5 \text{ A} = 160$.
- Fator de sobrecorrente do TC: 20.

A tensão nos terminais dos TCs vale:

$$E_s = F \times I_{\text{stc}} \times \left(\frac{Z_{\text{cabo}}}{1.000} \times L + Z_{\text{relé}} \right)$$
$$E_s = 20 \times 5 \times \left(\frac{14,81}{1.000} \times 1 + 0,014 \right) = 2,88 \text{ V}$$

Como a tensão no secundário do TC 10B200 é 200 V para uma corrente $I_{cc} = 20 \times I_{nr}$, está garantido que o TC não irá saturar.

As características técnicas do relé Pextron 7104 estão contidas na Tabela A5.

d) Cálculo da corrente de magnetização do transformador de força

A corrente de magnetização do transformador de 750 kVA pode ser considerada igual a $I_{mg} = 8 \times I_{tr}$, com o tempo de duração da ordem de 100 ms. No presente caso, será considerada a manobra simultânea dos dois transformadores de 750 kVA.

$$I_{mg} = 8 \times I_{tr} = 8 \times \frac{2 \times 750}{\sqrt{3} \times 13,8} = 502 \text{ A}$$

$$T_{magt} = 100 \text{ ms} = 0,10 \text{ s}$$

A corrente ANSI, levando em conta a impedância do transformador em operação, vale:

$$I_{ansi} = \frac{I_{nt}}{Z_{tr}} = \left(\frac{2 \times 750}{\sqrt{3} \times 13,8} \right) \times \frac{1}{0,075} = 836 \text{ A}$$

i_{nt} = corrente nominal do transformador de 750 kVA

Z_{nt} = 7,5 % (impedância nominal do transformador de 750 kVA)

T_{ansit} = 3,0 s (valor atribuído para o tempo do ponto ANSI)

e) Proteção temporizada de fase — 51 ($I >$)

- Determinação do tempo de atuação da unidade temporizada de fase do relé da concessionária

Inicialmente, será determinado o tempo de atuação do relé de proteção do alimentador da concessionária para defeitos trifásicos no ponto de conexão. Para isso, a concessionária forneceu os valores de ajuste do referido relé dados na [Tabela A.3](#), na qual é indicado que o relé está ajustado na curva extremamente inversa.

$$T_{ei} = \frac{80}{\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}} \right)^2 - 1} \times T_{ms} = \frac{80}{\left(\frac{13.622}{980} \right)^2 - 1} \times 1,5 = 0,62 \text{ s}$$

- Determinação da corrente de ajuste da unidade de sobrecorrente de fase ($I >$) do relé da subestação da indústria

$K = 1,2$ (valor da sobrecarga admitida para o transformador)

$I_n = 5 \text{ A}$ (corrente nominal do relé)

$\Delta T = 0,30$ (intervalo de tempo de coordenação)

$$T_{ni} = T_{el} - \Delta T = 0,62 - 0,30 = 0,32 \text{ s}$$

Logo, a corrente de ajuste no relé vale:

$$I_{af} = \frac{K \times I_{ma}}{RTC} = \frac{1,2 \times 62,7}{160} = 0,47 \text{ A}$$

- Determinação da corrente de acionamento do relé da indústria

$$I_{ac} = RTC \times I_{af} = 160 \times 0,47 = 75,2 \text{ A}$$

$$I_{ac} > I_{ma} \text{ (condição satisfeita)}$$

- Determinação da curva de operação do relé da indústria

Será utilizado o relé de sobrecorrente digital Pextron URP 7104, curva normalmente inversa, conforme a [Figura 10.61](#) e a Equação (10.52).

$$T_{mi} = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}}\right)^{0,02} - 1} \times T_{ms} \rightarrow T_{ms} = \frac{T_{mi} \times \left[\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14} = \frac{0,32 \times \left[\left(\frac{13.622}{75,2}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14} = 0,25$$

Finalmente, temos:

- Corrente de acionamento: 75,2 A.
 - Ajuste da corrente da unidade temporizada de fase: 0,47 A.
 - Faixa de ajuste da corrente do relé: (0,25 a 16) A \times RTC.
 - Tempo de atuação da unidade temporizada de fase: 0,32 s.
 - Curva de operação do relé: 0,25.
- Verificação da atuação do relé durante a partida do maior motor de

250 cv

A partida do motor será compensada através de chave de partida estática, cujo valor da corrente da partida no primário vale 58,2 A, inferior à corrente de acionamento do relé, ou seja:

$I = 971,5 \text{ A}$ (veja o cálculo da corrente de partida do motor na Seção A12.1.6)

$$I_{pp} = 971,5 \times \frac{380}{13.800} = 26,7 \text{ A}$$

- Verificação da atuação do relé pela corrente de magnetização do transformador

$$I_{mg} = 502 \text{ A}$$

$$\text{Logo, } I_{ac} < I_{mg}.$$

Como a corrente de magnetização é superior à corrente de acionamento, logo o relé seria sensibilizado. Porém, como a corrente de magnetização tem duração de 0,10 s, inferior a 0,28 s, que é o tempo de atuação do relé, não ocorrerá o acionamento da proteção.

f) Proteção de tempo definido de fase — 50 (I >>)

- Determinação da corrente de ajuste da unidade tempo definido de fase do relé da indústria

Será habilitada a função 50 de tempo definido (TD) para uma corrente duas vezes superior à corrente de energização dos transformadores, garantindo, assim, que o relé não atuará durante a energização desses equipamentos, ou seja:

$$I_{2mg} = 2 \times I_{mg} = 2 \times 502 = 1.004 \text{ A}$$

O valor do ajuste da corrente de TD do relé será:

$$I_{tdf} = \frac{I_{2mg}}{RTC} = \frac{1.004}{160} \cong 6,3 \text{ A}$$

A corrente de acionamento vale:

$$I_{ac} = RTC \times I_{tdf} = 160 \times 6,3 = 1.008 \text{ A}$$

$$I_{ac} > I_{mg} \text{ (condição satisfeita)}$$

Devemos também garantir que a corrente de curto-circuito trifásica no secundário do transformador não faça atuar a unidade tempo definido (TD). Para isso, admitimos como garantia que o relé seja ajustado para uma corrente 20 % superior à corrente de curto-circuito trifásica no secundário do transformador.

$$I_{cse} = 1,2 \times 33.528 \times \frac{380}{13.800} = 1.107 \text{ A}$$

Logo, a corrente de ajuste no relé vale:

$$I_{tdf} = \frac{I_{cse}}{RTC} = \frac{1.107}{160} = 6,9 \text{ A}$$

A corrente de acionamento vale:

$$I_{ac} = RTC \times I_{tdf} = 160 \times 6,3 = 1.008 \text{ A}$$

Finalmente, temos:

- Corrente de acionamento: 1.104 A.
- Ajuste da corrente da unidade de tempo definido de fase: 6,9 A.
- Faixa de ajuste da corrente da unidade de tempo definido de fase: (0,25 a 100) A \times RTC.
- Tempo de ajuste da unidade de tempo definido de fase: 0,10 s

(valor definido para este projeto).

g) Proteção temporizada de neutro — 51N ($I >$)

- Determinação do tempo de atuação da unidade temporizada de neutro do relé da concessionária

Inicialmente, será determinado o tempo de atuação do relé de proteção do alimentador da concessionária para defeitos fase-terra no ponto de conexão. Para isso, a concessionária forneceu os valores de ajuste do referido relé dados na [Tabela A.3](#), na qual é indicado que o relé está ajustado na curva extremamente inversa, a corrente de acionamento é de 90 A e a curva selecionada é de 1,8. Já o valor da corrente de curto-circuito fase-terra mínima no ponto de conexão da indústria vale 237 A.

$$T_{ei} = \frac{80}{\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}}\right)^2 - 1} \times T_{ms} = \frac{80}{\left(\frac{237}{90}\right)^2 - 1} \times 1,8 = 24,2 \text{ s}$$

- Determinação da corrente de ajuste da unidade temporizada de sobrecorrente de neutro do relé da subestação da indústria

A corrente de ajuste no relé vale:

$$I_{tdf} = \frac{I_{cse}}{RTC} = \frac{1.107}{160} = 6,9 \text{ A}$$

Como a corrente de acionamento é muito baixa, iremos determinar a corrente de ajuste da unidade de sobrecorrente de neutro tomando o valor da corrente mínima de operação do relé digital, que vale 10 % da corrente primária do transformador de corrente.

$$I_{min} = 0,10 \times 800 = 80 \text{ A}$$

Logo, a corrente mínima de acionamento é de $I_{min} = I_{ac} = 80 \text{ A}$. Nos

terminais do relé, essa corrente vale:

$$I_{af} = \frac{80}{160} = 0,50 \text{ A}$$

- Seleção da curva de atuação do relé temporizado de neutro da indústria (51N)

O tempo de atuação do relé de neutro para a curva normalmente inversa vale:

$$\Delta T = 0,30 \text{ (intervalo de tempo de coordenação)}$$

$$T_{ni} = T_{el} - \Delta T = 24,2 - 0,30 = 23,9 \text{ s}$$

Por ser um tempo muito elevado, utilizaremos o valor de 0,50 s para a seleção da curva temporizada.

$$T_{mi} = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}}\right)^{0,02} - 1} \times T_{ms} \rightarrow T_{ms} = \frac{T_{mi} \times \left[\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14} = \frac{0,50 \times \left[\left(\frac{237}{80}\right)^{0,02} - 1\right]}{0,14} = 0,078$$

Como a menor curva do relé é $T_{ms} = 0,15$, necessitamos calcular o tempo de ajuste do relé para essa condição.

$$T_{mi} = \frac{0,14}{\left(\frac{I_{ma}}{I_{ac}}\right)^{0,02} - 1} \times T_{ms} = \frac{0,14}{\left(\frac{237}{80}\right)^{0,02} - 1} \times 0,15 = 0,96 \text{ s}$$

Tabela A.4 Valores de ajuste do relé da subestação da indústria

Proteção da SE da indústria	
Proteção de sobrecorrente de fase (50/51)	Proteção de sobrecorrente de neutro (50/51N)

Item	Tipo	Ajuste	Item	Tipo	Ajuste
1	Pick-up	75,2	1	Pick-up	80
2	Curva	0,25	2	Curva	0,15
3	Tipo de curva	Normalmente inversa	3	Tipo de curva	Normalmente inversa
4	Tempo definido (1)	1.104	4	Tempo definido	212
5	Temp do TD (1)	0,10 s	5	Temp do TD	0,10 s
6	Tempo definido (2)	-	-	-	-
7	Temp do TD (2)	-	-	-	-

Tabela A.5 Parâmetros de ajuste do relé de fase e neutro da indústria

TABELA – CONSULTA RÁPIDA				
Funções ANSI: 50/51/50N/51N/51GS				
Fase (A-B-C)				
Parâmetro	Curva vermelha	Descrição do parâmetro	Faixa de ajuste recomendada	Ajuste
Fase				
TC	VM	Relação do transformador de corrente	1...250 (degrau de 1) ou 10...1.250 (degrau de 100)	160

I partida	VM	Corrente de partida da unidade de temporização curva inversa de fase	$(0,25...16,0 A) \times TC$	0,47
Curva	VM	Tipo de curva de atuação para fase	NI-MI-EI-LONG-IT-I2T	NI
D.T.	VM	Ajuste do dial de tempo para fase	0,10...2,00 s	0,32
I def.	VM	Corrente de partida da unidade de tempo definido de fase	$(0,25...100 A) \times TC$	6,3
T def.	VM	Tempo de unidade definido de fase	0,10...2,00 s	0,1
I inst.	VM	Corrente da unidade instantânea de fase	$(0,25...100 A) \times TC$	-
Neutro (D)				
Parâmetro	Curva verde	Descrição do parâmetro	Faixa de ajuste recomendada	Ajuste
I partida	VD	Corrente de partida da unidade de temporização curva inversa de neutro	$(0,15...6,50 A) \times TC$	0,5
Curva	VD	Tipo de curva de atuação para neutro	NI-MI-EI-LONG-IT-I2T	NI
D.T.	VD	Ajuste do dial de tempo para	0,10...2,00 s	0,15

		neutro		
I def.	VD	Corrente de partida da unidade de tempo definido de neutro	$(0,15...50 \text{ A}) \times \text{TC}$	1,32
T def.	VD	Tempo de unidade definido de neutro	0,10...240 s	0,1
I inst.	VD	Corrente da unidade instantânea de neutro	$(0,15...50 \text{ A}) \times \text{TC}$	-

Para esse tempo de 0,96 s, temos um intervalo de coordenação extremamente elevado:

$$\Delta T = 24,2 - 0,96 = 23,2\text{s}$$

Finalmente, temos:

- Corrente de acionamento: 80 A.
- Ajuste da corrente da unidade temporizada de neutro: 0,50 A.
- Faixa de ajuste da corrente do relé: $(0,15 \text{ a } 6,50) \text{ A} \times \text{RTC}$.
- Tempo de atuação da unidade temporizada de fase: 0,96 s.
- Curva de operação temporizada do relé: 0,15.

h) Proteção de tempo definido de neutro — 50N ($I \gg$)

- Verificação da atuação do relé da subestação da concessionária

Como a corrente de atuação do relé da subestação da concessionária é de 1.560 A e a corrente de curto-circuito fase-terra no barramento primário da subestação da indústria é de 237 A, então o relé não atuará.

- Determinação da corrente de ajuste da unidade tempo definido de neutro do relé da subestação da indústria

Para garantir a atuação do relé 50 N, adotaremos $F = 0,90$.

$I_{ftmi} = 237 \text{ A}$ (corrente de curto-circuito fase-terra, valor mínimo)

$$I_{tdn} \leq \frac{I_{ftmi}}{RTC} \times F \leq \frac{237}{160} \times 0,9 \leq 1,33 \text{ A} \quad \rightarrow \quad I_{in} = 1,33 \text{ A}$$

$$I_{ac} = I_{tdn} \times RTC = 160 \times 1,33 = 212 \text{ A}$$

$$I_{ac} < I_{ftmi} \text{ (condição atendida)}$$

Finalmente, temos:

- Corrente de acionamento: 212 A.
- Corrente de ajuste da unidade tempo definido de neutro: 1,33 A.
- Faixa de ajuste da corrente da unidade tempo definido de neutro: (0,15 a 50) A \times RTC.
- Tempo de atuação da unidade instantânea de neutro: 0,10 s (valor definido para este projeto).

A [Tabela A.4](#) fornece o resumo dos valores de ajuste do relé da subestação da indústria, enquanto a [Tabela A.5](#) resume os parâmetros do mesmo relé.

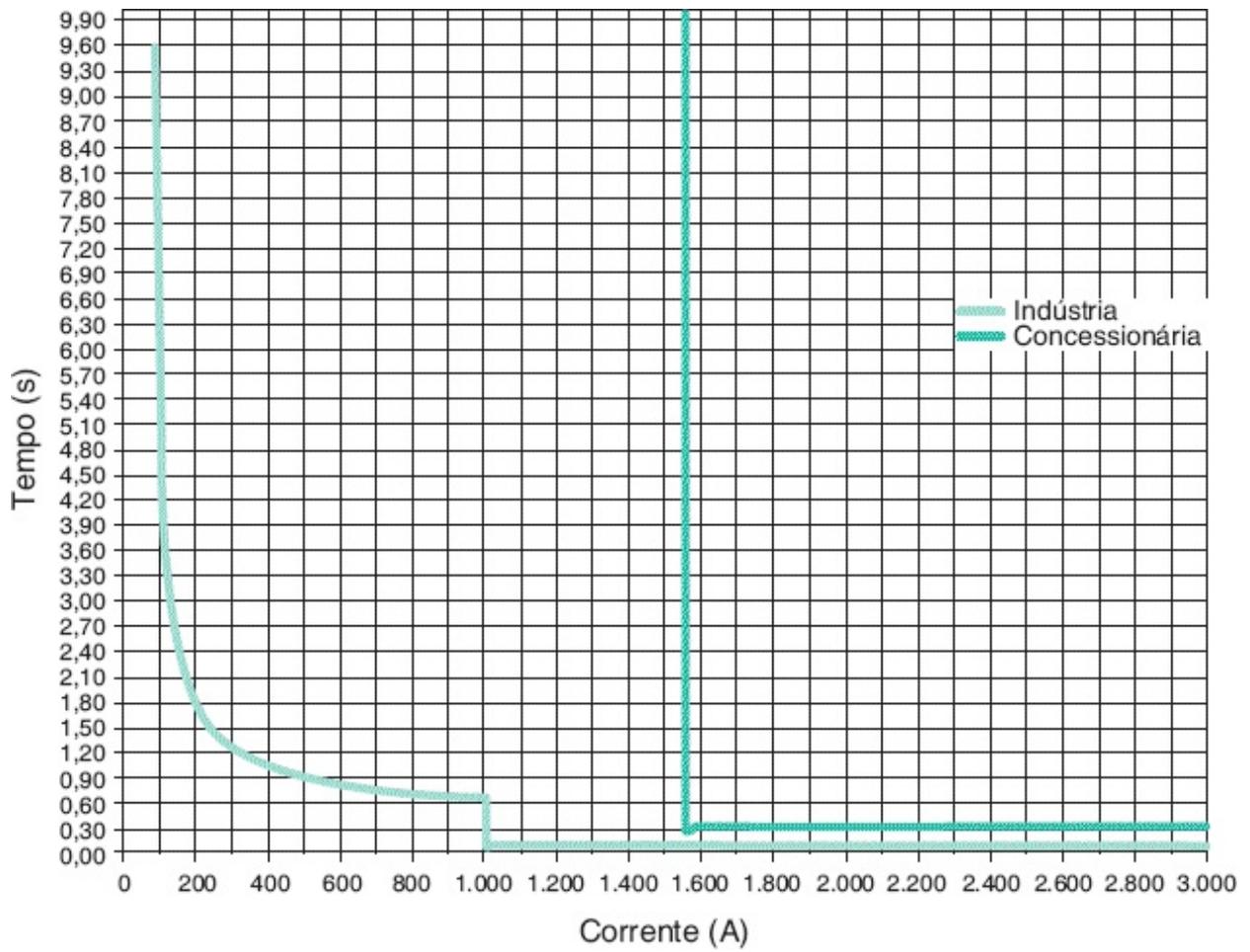


Figura A.1 Coordenograma das proteções primárias dos relés de fase.

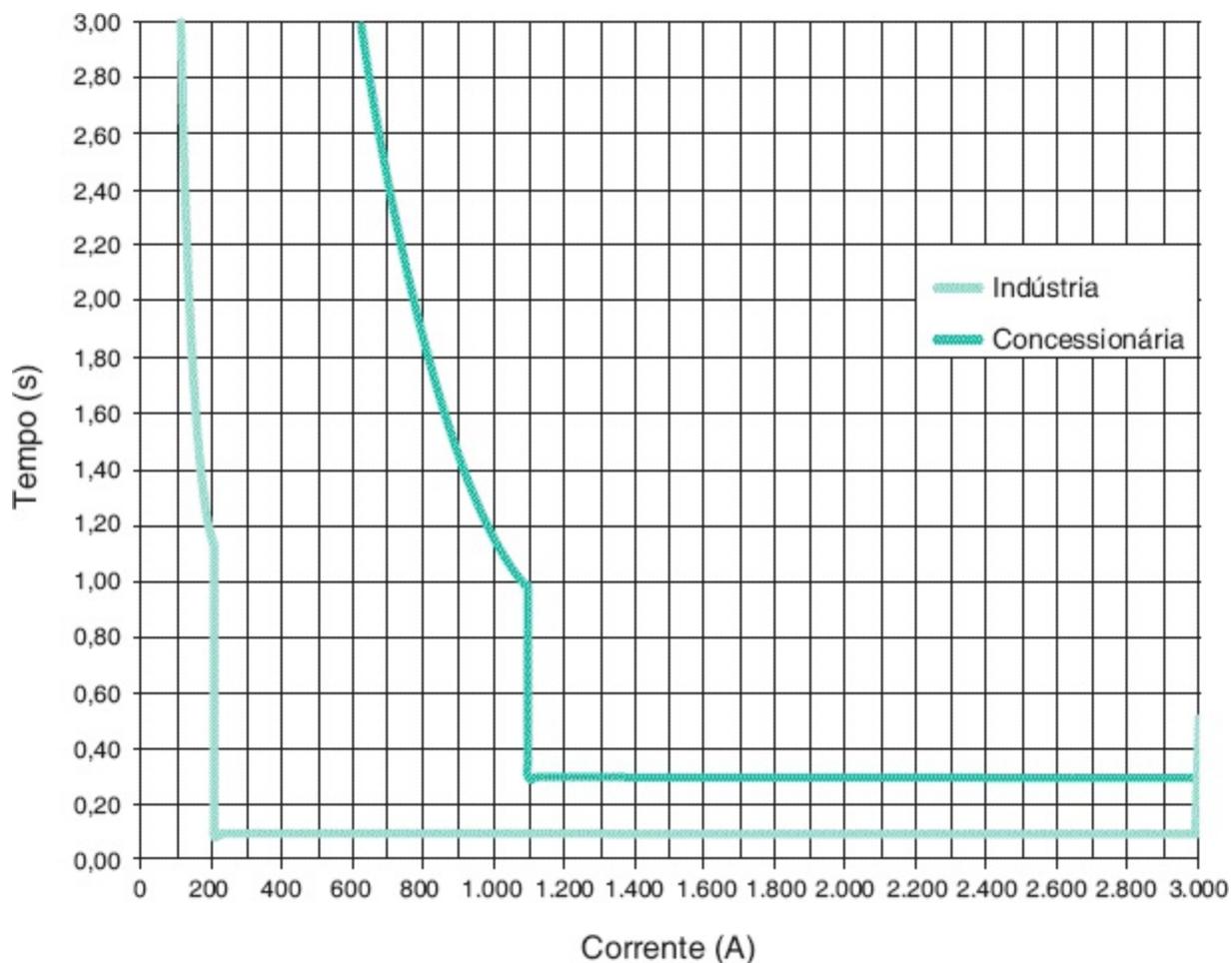


Figura A.2 Coordenograma das proteções primárias dos relés de neutro.

A.13.4 Coordenação

A.13.4.1 Coordenação entre os relés primários da SE Indústria e da SE Concessionária

Foram obtidas todas as coordenações de fase e de neutro entre os relés da subestação da concessionária e os relés da subestação da indústria, conforme se pode observar nos coordenogramas das Figuras 17.1 e 17.2.

A.13.4.2 Coordenação entre os QDLs e CCMs e o QGF

No caso dos CCMs e QGF, está praticamente assegurada a coordenação pela

diferença de valores das correntes nominais ou de ajuste das proteções. No caso de alguns circuitos dos QDLs, devido às baixas correntes envolvidas, a coordenação poderá não ocorrer.

A.13.4.3 Coordenação entre o QGF e o relé primário

- Disjuntor secundário

$$I_{cs} = \frac{33.528}{2} = 16.764 \text{ A}$$

$$N = \frac{I_{cs}}{I_a} = \frac{16.764}{1.200} = 13,9 \rightarrow T_{ad} = 0,15 \text{ s (Figura 10.17), considerando a curva ajustada de 80 ms.}$$

$$\Delta T = 0,30 \text{ s (tempo de coordenação)}$$

- Relé primário

A corrente de curto-circuito do secundário refletida no primário fará o relé do primário atuar em 0,61 s, conforme pode ser verificado pelo coordenograma da [Figura A.1](#).

$$I_{cs} = 33,528 \text{ kA} \rightarrow 33.528 \times \frac{380}{13.800} = 1.107 \text{ A} \rightarrow T_{af} = 0,39 \text{ s}$$

Considerando um tempo de intervalo da coordenação de 0,30 s, o disjuntor de baixa tensão deve atuar para a corrente trifásica de curto-circuito no secundário no tempo de $T_{ar} = 0,39 - 0,30 = 0,09 \text{ s}$ (valor que deve ser ajustado no relé de baixa tensão, isto é, instantâneo). Deixa-se para o leitor traçar a curva do disjuntor para assegurar a coordenação com o relé do primário.

A.14 Cálculo da malha de terra

A.14.1 Medição da resistividade do solo

Foi considerada a realização em campo das medições de resistividade do solo, que resultou na [Tabela A.6](#).

Não há desvio de nenhum valor de resistividade superior a 50 % em relação à média, para a distância considerada, como, por exemplo, para a distância entre eletrodos de 4 m.

$$\left| \frac{38 - 28}{28} \right| \times 100 = 35,7 \% < 50 \%$$

a) Resistividade aparente do solo

Traçar a curva das resistividades médias, conforme a [Tabela A.6](#).

Tabela A.6 Resistividade medida do solo

Posição dos eletrodos	Resistividade média					
Distância em m	Pontos medidos					Valor médio ρ_m
	A	B	C	D	E	
2	34	37	34	38	30	35
4	38	34	25	23	19	28
8	27	27	26	20	25	25
16	21	17	15	20	23	20

- Resistividade média do solo (ρ_m), em Ω o m

Da [Figura A.1](#), tem-se:

$$\rho_1 = 35 \Omega \cdot \text{m}$$

$$\rho_2 = 20 \Omega \cdot \text{m}$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{20}{35} = 0,57$$

Com a relação $\rho_2/\rho_1 = 0,57$ e interpolando esse valor na [Tabela 11.3](#), obtém-se o fator de multiplicação $K = 0,9026$. Dessa forma, podemos ter:

$$\rho = K \times \rho = 0,9026 \times 35 = 31,6 \Omega \cdot \text{m}$$

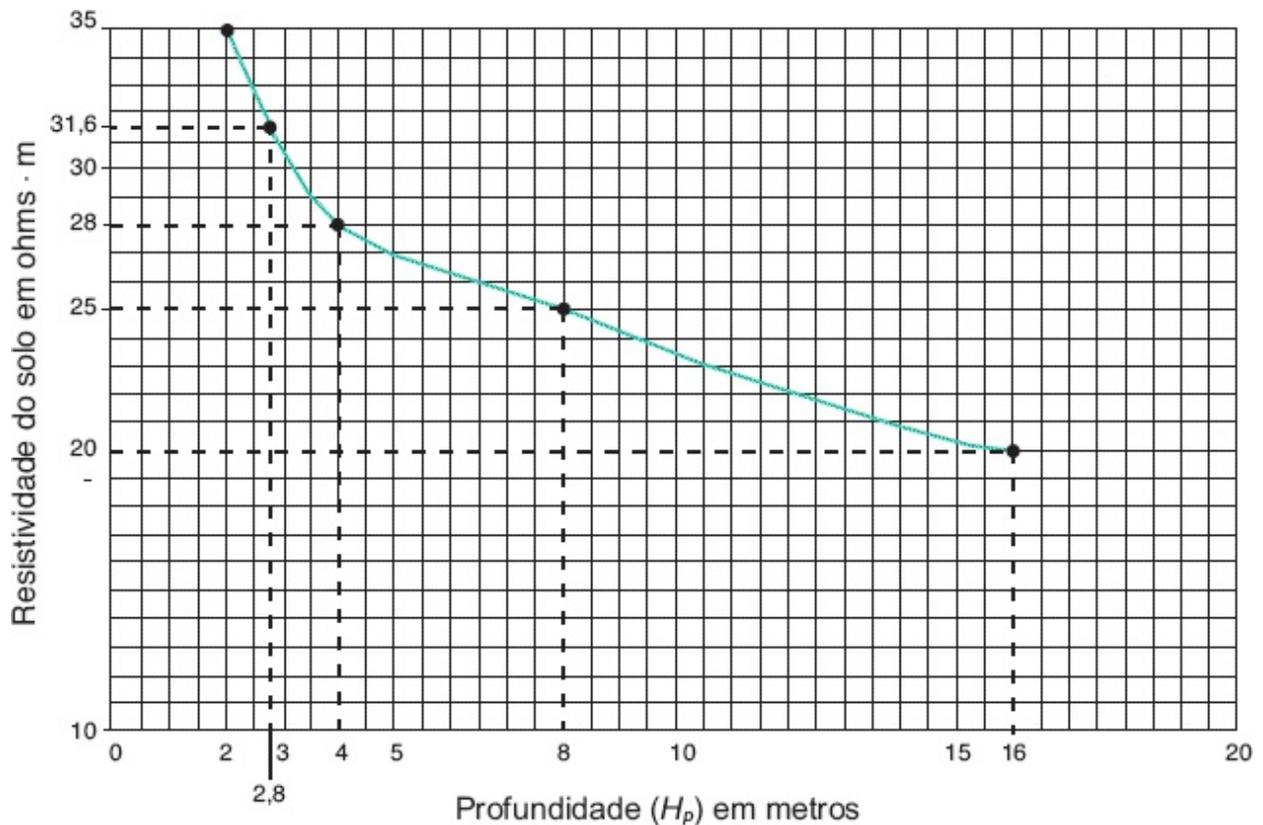


Figura A.3 Curva profundidade × resistividade do solo.

- Profundidade da camada de solo correspondente à resistividade média (ρ_m)

De acordo com a Equação (11.5), tem-se:

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{140}{\pi}} = 6,6 \text{ m}$$

$$S = 14 \times 10 = 140 \text{ m}$$

$$R / H_p = \frac{6,6}{2,8} = 2,3$$

O valor dado de H_p é obtido a partir da curva da [Figura A.3](#), em função de $\rho_m = 31,6 \Omega \cdot \text{m}$:

$$\rho_m = 31,6 \Omega \cdot \text{m} \rightarrow H_p = 2,8 \text{ m}$$

- Resistividade aparente

Com o valor de $R / H_p = 2,3 \text{ m}$ e de $\rho_2 / \rho = 0,57$, obtém-se no gráfico da [Tabela 11.4](#), através de interpolação, o valor de K:

$$\frac{0,20 - 0,50}{0,86 - 0,90} = \frac{0,20 - 0,40}{0,86 - X} \rightarrow X = 0,88$$

$$\frac{0,20 - 0,50}{0,68 - 0,80} = \frac{0,20 - 0,40}{0,68 - Y} \rightarrow Y = 0,76$$

$$\frac{2 - 5}{0,88 - 0,76} = \frac{2 - 2,3}{0,88 - K} \rightarrow K = 0,86$$

$$\rho_a = K \times \rho_1 = 0,86 \times 35 = 30 \Omega \cdot \text{m}$$

b) Determinação da seção mínima do condutor

Para a alternativa de se utilizar o condutor de aço cobreado, a seção mínima do condutor da malha de aterramento pode ser determinada pela Equação (11.8).

$$S_c = \frac{\sqrt{T_f} \times I_{cft}}{2 \times 10^3 \times \beta} \times K \text{ (mm}^2\text{)}$$

$$I_{fma} = 25.202 \text{ A}$$

$$T_f = 30 \text{ Hz}$$

$$\beta = 0,91$$

$$K = 1,3 \text{ (coeficiente de segurança)}$$

$$S_c = \frac{\sqrt{30} \times 25.202}{2 \times 10^3 \times 0,91} \times 1,30 = 128 \text{ mm}^2 \rightarrow S_c = 159, \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Formação: } 19 \times 8$$

Para a alternativa de se utilizar o cabo de cobre nu, pode-se empregar a Equação (11.7).

$$S_c = 0,002533 \times I_{ft}$$

Para $T_f = 0,5$ s, pode-se obter diretamente da [Tabela 11.5](#) o valor da seção em mm^2/A , considerando que a conexão entre os eletrodos de terra seja feita em solda exotérmica e a corrente de curto-circuito fase-terra seja de $I_{fma} = 25.202$ A. Esta condição é obtida quando qualquer parte viva do sistema secundário na subestação ou em suas proximidades entra em contato direto com qualquer condutor de aterramento. Este é o caso de maior circulação de corrente diretamente pelos cabos da malha de terra.

$$S_c = 0,002533 \times 25.202 = 63,8 \text{ mm}_2$$

$$S_c = 70 \text{ mm}_2 \text{ (seção adotada)}$$

Iremos selecionar a alternativa calculada com condutor de cobre.

c) **Determinação do número de condutores principal e de junção**

Como primeira tentativa, será considerado arbitrariamente um espaçamento entre os condutores principais de 2,4 m e de 2,0 m para os condutores de

junção:

$$D_j = 2,0 \text{ m (valor considerado inicialmente)}$$

$$D_p = 2,4 \text{ m (valor considerado inicialmente)}$$

- Condutores principais

Da Equação (11.9), tem-se:

$$N_{cp} = \frac{C_m}{D_p} + 1 = \frac{14}{2,4} + 1 = 7 \text{ condutores}$$

- Condutores de junção

Da Equação (11.10), tem-se:

$$N_{cj} = \frac{L_m}{D_c} + 1 = \frac{10}{2,0} + 1 = 6 \text{ condutores}$$

d) Comprimento dos condutores da malha de terra

Da Equação (11.11), tem-se:

$$L_{cm} = 1,05 \times [(C_m \times N_{cj} + (L_m \times N_{cp})]$$

$$L_{cm} = 1,05 \times [(14 \times 7) + (10 \times 6)] = 166 \text{ m}$$

e) Coeficientes de ajuste

- Coeficiente K_m para os condutores principais

Da Equação (11.12), tem-se:

$$K_m = \frac{1}{2 \times \pi} \times \ln \left(\frac{D^2}{4 \times \pi \times (N-1) \times H \times D_{ca}} \right)$$

$H = 0,5\text{m}$ (profundidade considerada da malha de terra)

$$K_{mp} = \frac{1}{2 \times \pi} \times \ln \left(\frac{2,4^2}{4 \times \pi \times (7-1) \times 0,5 \times 0,00975} \right) = 0,438$$

$$S_c = 70 \text{ mm}^2 \rightarrow D_{ca} = 9,75 \text{ mm} = 0,00975 \text{ mm} \text{ (Tabela 3.44)}$$

- Coeficiente K_m para os condutores de junção

Da Equação (11.12), tem-se:

$$K_{mj} = \frac{1}{2 \times \pi} \times \ln \left(\frac{2,0^2}{4 \times \pi \times (6-1) \times 0,5 \times 0,00975} \right) = 0,409$$

f) Coeficiente de ajuste K_s

- Coeficiente K_s para os condutores principais Da Equação (11.13), tem-se:

$$K_s = \frac{1}{\pi} \times \left\{ \frac{1}{2 \times H} + \frac{1}{D+H} + \ln \left[\frac{0,655 \times (N-1) - 0,328}{D} \right] \right\}$$

$$K_{sp} = \frac{1}{\pi} \times \left\{ \frac{1}{2 \times 0,5} + \frac{1}{2,4+0,5} + \frac{\ln[0,655 \times (7-1) - 0,328]}{2,4^2} \right\} = 0,498$$

- Coeficiente K_s para os condutores de junção

Da Equação (11.13), tem-se:

$$K_{sj} = \frac{1}{\pi} \times \left\{ \frac{1}{2 \times 0,5} + \frac{1}{2,0+0,5} + \frac{\ln[0,655 \times (6-1) - 0,328]}{2,0^2} \right\} = 0,531$$

g) Coeficiente de ajuste K

- Coeficiente K_i para os condutores principais

Da Equação (11.14), tem-se:

$$K_{ip} = 0,65 + 0,172 \times N_{cp} = 0,65 + 0,172 \times 7 = 1,854$$

- Coeficiente K_j para condutores de junção

$$K_{ij} = 0,65 + 0,172 \times N_{cj} = 0,65 + 0,172 \times 6 = 1,682$$

h) Comprimento mínimo do condutor da malha

Será utilizada a corrente de curto-circuito fase-terra que não envolva diretamente nenhum condutor de aterramento: $I_{fmi} = 7.657$ A.

Da Equação (11.16), tem-se:

$$L_c = \frac{K_m \times K_i \times \rho_a \times I_{cft} \times \sqrt{T_f}}{116 + 0,174 \times \rho_s}$$

$$L_c = \frac{0,438 \times 1,854 \times 30 \times 7.657 \times \sqrt{0,5}}{0,116 + 0,174 \times 3.000} = 252 \text{ m}$$

$$\rho_s = 3.000 \Omega \cdot \text{m} \text{ (camada superficial de brita de 10 cm)}$$

Adotar o maior produto $K_m \times K_t$ para uma direção considerada, ou seja: $K_{mp} \times K_{ip}$.

$$L_{cm} < L_c \text{ (condição não satisfeita)}$$

Para satisfazer a esta condição teremos que admitir espaçamentos menores entre os condutores. No entanto, continuaremos o cálculo da malha considerando $L_{cm} = 166$ m.

i) Tensão má × ima de passo

Da Equação (11.19), tem-se:

$$E_{pa} = \frac{116 + 0,7 \times \rho_s}{\sqrt{T_f}} \rightarrow \frac{116 + 0,7 \times 3.000}{\sqrt{0,5}} = 3.133 \text{ V}$$

j) Tensão de passo existente na periferia da malha

Da Equação (11.20), tem-se:

$$E_{per} = \frac{K_s \times K_i \times \rho_1 \times I_{cft}}{L_{cm}} \rightarrow$$

$$E_{per} = \frac{0,531 \times 1,854 \times 35 \times 7.657}{166} = 1.589 \text{ V}$$

$$E_{pa} > E_{per} \text{ (condição satisfeita)}$$

Adotar o maior produto $K_s \times K_i$ para uma direção considerada, ou seja: $K_{sj} \times K_{ij}$.

k) Tensão má × ima de toque

Da Equação (11.22), tem-se:

$$E_{tm} = \frac{116 + 0,174 \times \rho_s}{\sqrt{T_f}} \rightarrow E_{tm} = \frac{116 + 0,174 \times 3.000}{\sqrt{0,5}} = 902,2 \text{ V}$$

l) Tensão de toque existente

Da Equação (11.23), tem-se:

$$E_{te} = \frac{K_m \times K_i \times \rho_1 \times I_{cftm}}{L_{cm}} \rightarrow E_{te} = \frac{0,438 \times 1,682 \times 35 \times 7.657}{277,2} = 1.189 \text{ V}$$

$$E_{tm} < E_{te} \text{ (condição não satisfeita)}$$

Para satisfazer a esta condição devemos reduzir o espaçamento entre os condutores de aterramento. No entanto, continuaremos o cálculo da malha

para avaliação dos demais resultados.

m) Corrente máxima de choque

Da Equação (11.25), tem-se:

$$I_{ch} = \frac{116}{\sqrt{T_f}} \text{ (mA)} \rightarrow I_{ch} = \frac{116}{\sqrt{0,5}} = 164 \text{ mA}$$

n) Corrente de choque existente devida à tensão do passo, sem brita na periferia

Da Equação (11.26), tem-se:

$$I_{pmsb} = \frac{1.000 \times E_{per}}{1.000 + 6 \times \rho_1} \rightarrow I_{pmsb} = \frac{1.000 \times 1.589}{1.000 + 6 \times 35} = 1.313 \text{ mA}$$

$I_{pmsb} > I_{ch}$ (condição não satisfeita, logo há necessidade de se utilizar uma camada de brita na superfície da malha de aterramento).

o) Corrente de choque existente devida à tensão de passo, com a camada de brita na periferia da malha

Da Equação (11.28), tem-se:

$$I_{pmcb} = \frac{1.000 \times E_{per}}{1.000 + 6 \times (\rho_1 \times \rho_s)} \text{ (mA)} \rightarrow I_{pmcb} = \frac{1.000 \times 1.589}{1.000 + 6 \times (35 + 3.000)} = 82 \text{ mA}$$

$$I_{pmcb} < I_{ch} \text{ (condição não satisfeita)}$$

p) Corrente de choque devido à tensão de toque existente, sem brita

$$I_{tmsb} = \frac{1.000 \times E_{te}}{1.000 + 1,5 \times \rho_1} \rightarrow I_{tmsb} = \frac{1.000 \times 1.189}{1.000 + 1,5 \times 35} = 1.129 \text{ mA}$$

$I_{tmsb} > I_{ch}$ (condição não satisfeita, logo há necessidade de se utilizar uma

camada de brita na superfície da malha de aterramento).

Com a utilização de brita, pode-se aplicar a Equação (11.32):

$$I_{tmcb} = \frac{1.000 \times E_{te}}{1.000 + 6 \times (\rho_l \times \rho_s)} \rightarrow I_{tmcb} = \frac{1.000 \times 1.189}{1.000 + 1,5 \times (35 + 3.000)} = 214 \text{ mA}$$

$$I_{tmcb} > I_{ch} \text{ (condição satisfeita)}$$

q) Corrente mínima de acionamento do relé de terra Da Equação (11.34), tem-se:

$$I_a = \frac{(R_{ch} + 1,5 \times \rho_s) \times 9 \times L_{cm}}{1000 \times K_m \times K_i \times \rho_l} \rightarrow I_a = \frac{(1.000 + 1,5 \times 3.000) \times 9 \times 166}{1.000 \times 0,531 \times 1,854 \times 35} = 238 \text{ A}$$

$$R_{ch} = 1.000 \ \Omega \text{ (resistência considerada do corpo humano)}$$

r) Resistência da malha de terra

Da Equação (11.37), tem-se:

$$R_{mc} = \frac{\rho_a}{4 \times R} + \frac{\rho_a}{L_{cm}} \rightarrow R_{mc} = \frac{30}{4 \times 6,6} + \frac{30}{166} = 1,31 \Omega$$

O valor da resistência de terra satisfaz plenamente ao máximo estabelecido pela norma, que é de 10 Ω para subestações de 15 kV.

s) Resistência de um aterramento de eletrodo vertical

Da Equação (11.38), tem-se:

$$R_{ie} = \frac{\rho_a}{2 \times \pi \times L_h} \times \ln \left(\frac{400 \times L_h}{2,54 \times D_h} \right) \rightarrow R_{ie} = \frac{30}{2 \times \pi \times 3} \times \ln \left(\frac{400 \times 3}{2,54 \times 3/4} \right) = 10 \ \Omega$$

$$D_h = 3/4''$$

$$L_h = 3 \text{ m}$$

t) Coeficiente de redução da resistência de um eletrodo vertical

Da Equação (11.39), tem-se:

$$K_h = \frac{1 + A \times B}{N_h} \rightarrow K_h = \frac{1 + 0,0543 \times 5,8917}{9} = 0,146$$

$N_h = 9$ hastes de terra (valor adotado arbitrariamente e visto em planta)

$A = 0,0543$ (Tabela 11.7 para 9 hastes de terra)

$B = 5,8917$ (Tabela 11.8)

u) Resistência de aterramento do conjunto de eletrodos verticais

Da Equação (11.40), tem-se:

$$R_{ne} = K_h \times R_{ie} = 0,146 \times 10 = 1,46 \Omega$$

v) Resistência mútua dos cabos e eletrodos verticais

Da Equação (11.41), tem-se:

$$R_{mu} = \frac{\rho_m}{\pi \times L_{cm}} \times \left[\ln \left(\frac{2 \times L_{cm}}{L_{th}} + K_1 \times \frac{L_{cm}}{\sqrt{S}} - K_2 + 1 \right) \right]$$

$$K = \frac{C_m}{L_m} = \frac{14}{10} = 1,4$$

$$L_{th} = N_h \times L_{th} = 9 \times 3 = 27 \text{ m}$$

$$K_1 = 1,14125 - 0,0425 \times K = 1,14125 - 0,0425 \times 1,4 = 1,081$$

$$K_2 = 5,49 - 0,1443 \times K = 5,49 - 0,1443 \times 1,4 = 5,287$$

$$R_{mu} = \frac{31,6}{\pi \times 166} \times \left[\ln \left(\frac{2 \times 166}{9 \times 3} + \frac{1,081 \times 166}{\sqrt{140}} - 5,287 + 1 \right) \right]$$

$$R_{mu} = 0,190 \Omega$$

x) Resistência total da malha

Da Equação (11.46), tem-se:

$$R_{tm} = \frac{R_{mc} \times R_{ne} - R_{mu}^2}{R_{mc} + R_{ne} - 2 \times R_{mu}} \rightarrow R_{tm} = \frac{1,31 \times 1,46 - 0,190^2}{1,31 + 1,46 - 2 \times 0,190} = 0,20 \Omega < 10 \Omega$$

Observar que a resistência da malha de aterramento foi reduzida de 1,90 Ω para 0,20 Ω por influência das hastes de aterramento. Devemos recalcular a malha para satisfazer às condições de mínimo comprimento dos condutores de aterramento e da tensão de toque. Para obtermos os resultados esperados dimensionamos a malha de aterramento para $D_j = 1,0 \text{ m}$ e $D_p = 1,4 \text{ m}$, cujo reticulado está desenhado na Planta 8.

A.15 Dimensões da subestação

A.15.1 Cubículos de medição

$$C_1 = 1.600\text{mm}$$

$L_2 = 2.422$ mm (adotou-se a dimensão do cubículo do transformador)

A.15.2 Cubículos do disjuntor

$$C_2 = D_d + 1.000 = 700 + 1.000 = 1.700 \text{ mm}$$

$$D_d = 700 \text{ mm}$$

$$L_2 = 2.422 \text{ mm}$$

A.15.3 Cubículos de transformação

$$L_3 = D_t + 1.000 = 2.540 + 1.000 = 3.540\text{mm}$$

$$D_t = 2.540 \text{ mm}$$

$$L_2 = D_t + 1.000 = 1.422 + 1.000 = 2.422\text{mm}$$

$$D_t = 1.422 \text{ mm (Tabela 12.4)}$$

Logo, as dimensões finais ocupadas pelos equipamentos são:

$$L = 1.600 + 150 + 1.700 + 150 + 3.540 + 150 + 3.540 + 150 = 10.980 \text{ mm}$$

(veja planta 5)

Como a dimensão da subestação é de 14.400, será reservado um cubículo para ampliação com a seguinte dimensão:

$$L_r = 14.400 - 10.980 = 3.420\text{mm (veja planta 5)}$$

Em função da largura de 9.500 mm já considerada, foram definidas as dimensões internas da subestação em conformidade com a planta 5.

A.15.4 Altura mínima da subestação

$$H_{se} = H_t + H_{ac} + H_c + H_i + H_{ab}$$

$$H_{se} = 2.085 + 300 + 600 + 250 + 1.500 = 4.735 \text{ mm} = 4,7 \text{ m}$$

O valor final de $H_{se} = 5,1 \text{ m}$ que corresponde à altura existente do prédio.

A.15.5 Dimensões da janela de ventilação

$$A_v = \frac{2 \times 750 \times 0,30}{100} = 4,5 \text{ m}$$

$$A_v = 1,5 \times 3 \text{ m (valor mínimo)}$$

A.16 Dimensionamento dos aparelhos de medição

A.16.1 Medição de energia

Os transformadores de medida (TCs e TPs) serão fornecidos pela concessionária local, de acordo com suas normas e especificações particulares.

A.16.2 Medição de corrente indicativa

A.16.2.1 Transformadores de corrente (TCs)

- QDL1

$$I_{qdl1} = 80,7 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 100 - 5 \text{ A}$$

- QDL2

$$I_{qdl2} = 95,4 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 100 - 5 \text{ A}$$

- QDL3

$$I_{qdl3} = 13,4 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 15 - 5 \text{ A}$$

- QDL4

$$I_{qdl4} = 8 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 10 - 5 \text{ A}$$

- QDL5

$$I_{qdl5} = 23,4 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 25 - 5 \text{ A}$$

- QDL6

$$I_{qdl6} = 27,8 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 30 - 5 \text{ A}$$

- CCM1

$$I_{ccm1} = 158 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 200 - 5 \text{ A}$$

- CCM2

$$I_{ccm2} = 96,9 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 150 - 5 \text{ A}$$

- CCM3

$$I_{ccm3} = 131,5 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 150 - 5 \text{ A}$$

- CCM4

$$I_{ccm4} = 654,8 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 800 - 5 \text{ A}$$

- CCM5

$$I_{ccm5} = 191,7 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 250 - 5 \text{ A}$$

- CCM6

$$I_{ccm6} = 230,4 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 300 - 5 \text{ A}$$

- CCM7

$$I_{ccm7} = 433 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 600 - 5 \text{ A}$$

- CCM8

$$I_{ccm8} = 355 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 400 - 5 \text{ A}$$

- Capacitores

$$I_{nc} = 38 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 38 \times 6 = 228 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 300 - 5 \text{ A}$$

- Transformador (secundário)

$$I_{nt} = 1.139 \text{ A} \rightarrow I_{tc} = 1.500 - 5 \text{ A}$$

A. 16.2.2 Amperímetros

Todos os amperímetros têm um valor de fundo de escala 50 % superior ao valor do limite da faixa de medição.

- QDL1

$$I_{qdl1} = 80,7 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times I_{qdl1} = 1,5 \times 80,7 = 121,0 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 125 \text{ A}$$

- QDL2

$$I_{qdl2} = 95,4 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times I_{qdl2} = 1,5 \times 95,4 = 143,1 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 150 \text{ A}$$

- QDL3

$$I_{qdl3} = 13,4 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times I_{qdl3} = 1,5 \times 13,4 = 20,1 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 20 \text{ A}$$

- QDL4

$$I_{qdl4} = 8 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times I_{qdl4} = 1,5 \times 8 = 12,0 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 15 \text{ A}$$

- QDL5

$$I_{qdl5} = 23,4 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times I_{qdl5} = 1,5 \times 23,4 = 35,1 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 40 \text{ A}$$

- QDL6

$$I_{qdl6} = 27,8 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times I_{qdl6} = 1,5 \times 27,8 = 41,7 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 50 \text{ A}$$

- CCM1

$$I_{ccm1} = 158 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times I_{ccm1} = 1,5 \times 158 = 237 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 400 \text{ A}$$

- CCM2

$$I_{ccm2} = 96,9 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times I_{ccm2} = 1,5 \times 96,9 = 145 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 200 \text{ A}$$

- CCM3

$$I_{ccm3} = 131,5 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times I_{ccm3} = 1,5 \times 131,5 = 197 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 200 \text{ A}$$

- CCM4

$$I_{ccm4} = 654,8 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times I_{ccm4} = 1,5 \times 654,8 = 982 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 1.000 \text{ A}$$

- CCM5

$$I_{ccm5} = 191,7 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times I_{ccm5} = 1,5 \times 191,7 = 287 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 400 \text{ A}$$

- CCM6

$$I_{ccm6} = 230,4 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times I_{ccm6} = 1,5 \times 230,4 = 345 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 600 \text{ A}$$

- CCM7

$$I_{ccm7} = 433 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times I_{ccm7} = 1,5 \times 433 = 649 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 800 \text{ A}$$

- CCM8

$$I_{ccm8} = 355 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times I_{ccm8} = 1,5 \times 355 = 532 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 600 \text{ A}$$

- Capacitadores

$$I_{nc} \rightarrow I_{amp} = 1,5 \times 75,9 + 5 \times 75,9 = 493,3 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 600 \text{ A}$$

- Transformador (secundário)

A corrente de fundo de escala será 30 % superior à corrente nominal do transformador.

$$I_{nt} = 1.139 \text{ A} \rightarrow I_{amp} = 1,30 \times 1.139 = 1.480 \text{ A}$$

$$I_{esc} = 0 - 500 \text{ A}$$

Tabela A.7 Relação de material

Item	Ud	Num	Especificação	Preço	
				Unitário	Total

1 - ENTRADA DE ENERGIA

1	um	3	Para-raios do tipo distribuição a resistor não linear, com desligador automático, tensão nominal de 12 kV, corrente de descarga nominal de 5.000 A, máxima tensão disruptiva a impulso atmosférico de 54 kV, máxima tensão residual de descarga de 39 kV.		
---	----	---	---	--	--

2	uma	3	Chave seccionadora unipolar, corrente nominal de 100 A/15 kV, TSI de 95 kV, tensão máxima de operação de 15,5 kV e capacidade assimétrica de interrupção de 10 kA.
3	uma	3	Mufla terminal primária unipolar, uso externo, tipo composto elastomérico, para cabo unipolar de 25 mm ² , isolamento em PVC, terminal externo para 100 A, tensão nominal de 15 kV, corrente nominal de 100 A, tensão máxima de operação de 15,5 kV, TSI de 95 kV, fornecida com kit completo.
4	m	70	Cabo de cobre unipolar, isolamento em PVC para 8,7/15 kV, seção de 25 mm ² .
5	uma	3	Cruzeta de concreto armado de 1,90 m, tipo N (ABNT).
6	m	6	Eletroduto de ferro galvanizado de 100 mm (3 1/2").
7	um	2	Suporte metálico para fixação do eletroduto de ferro galvanizado.
2 - CUBÍCULO DE MEDIÇÃO			
8	um	1	Suporte metálico para fixação dos transformadores para medição: corrente e potencial.
9	uma	3	Mufla terminal primária unipolar, uso interno, tipo composto elastomérico, para cabo unipolar de 25 mm ² , isolamento em PVC, terminal externo para 100 A, tensão nominal de 15 kV, TSI de 95 kV, fornecida com kit completo.
10	um	1	Suporte metálico para fixação das muflas.

- | | | | |
|----|-----|---|--|
| 11 | uma | 1 | Tela metálica de 13 mm de abertura, de 2.550 × 2.950 mm, conforme desenho. |
| 12 | um | 9 | Isolador suporte para uso interno, 15 kV. |

3 - CUBÍCULO DE PROTEÇÃO

- | | | | |
|----|-----|---|--|
| 13 | uma | 1 | Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, uso interno, acionamento manual através de alavanca de manobra, operação sem carga, corrente nominal de 200 A, classe de tensão de 15 kV, corrente de curta duração para efeito térmico de 10 kA e para efeito dinâmico de 20 kA, nível de isolamento de 15,5 kV e TSI de 95 kV. |
| 14 | um | 3 | Relé de sobrecorrente digital trifásico, Pextron 7104 incorporado ao disjuntor. |
| 15 | um | 9 | Suporte metálico para fixação de chave seccionadora tripolar. |
| 16 | um | 9 | Isolador suporte para uso interno, 15 kV. |
| 17 | uma | 3 | Bucha de passagem de 15 kV/100 A, uso interno-interno. |
| 18 | uma | 1 | Disjuntor tripolar a vácuo ou SF6, comando manual, acionamento frontal, montagem fixa sobre carrinho, construção aberta, tensão nominal de utilização 15 kV, corrente nominal de 400 A, capacidade de interrupção simétrica de 16 kA, tensão de impulso de 125 kV e frequência nominal de 60 Hz, com o relé digital incorporado, Pextron 7104 e de 3 transformadores de corrente 10B200. |

19 uma 1 Chapa de passagem de 1.500×500 mm para fixação de bucha de passagem.

20 uma 1 Tela metálica de 13 mm de abertura com dimensões de 1.270×2.950 mm, conforme desenho.

4 - CUBÍCULO DE TRANSFORMAÇÃO

21 uma 2 Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, uso interno, acionamento manual, através de alavanca de manobra, operação sem carga, corrente nominal de 200 A, classe de tensão de 15 kV, corrente de curta duração para efeito térmico de 10 kA e para efeito dinâmico de 20 kA, nível de isolamento de 15,5 kV e TSI de 95 kV.

22 um 2 Transformador trifásico de 750 kVA, tensão nominal primária de 13.800/13.200/12.600 V, tensão nominal secundária de 380/220 V dispondo de ligação dos enrolamentos triângulo primário e estrela secundário, impedância nominal percentual de 5,5 %, frequência de 60 Hz e TSI de 95 kV.

23 um 6 Isolador suporte, uso interno, para 15 kV.

24 m 68 Vergalhão de cobre nu de 35 mm^2 (barramento total de SE).

25 uma 2 Tela metálica de 13 mm de abertura com dimensões de 4.490×1.800 mm, conforme desenho.

5 - ATERRAMENTO DA SUBESTAÇÃO

26 m 277 Cabo de cobre nu de 70 mm^2 .

27 uma 9 Haste de terra de aço cobreado de 3/4" × 3.000 mm.

6 - QUADRO GERAL DE FORÇA - QGF

28 um 1 Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, com espessura de 70 μ · m e dimensão de 4.500 × 2.000 mm, com 750 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 4" × 1/4" .

29 um 54 Conjunto fusível diazed de 4 A.

30 uma 1 Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 102 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-160/3 - Siemens.

31 uma 1 Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 139 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-250/3 - Siemens.

32 uma 2 Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 190 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-400/3 - Siemens.

33 uma 2 Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 382 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-630/3 - Siemens.

34 uma 1 Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 447

			A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-1.000/3 - Siemens.
35	uma	2	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 870 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-1.250/3 - Siemens.
36	um	3	Fusível tipo NH, corrente nominal de 10 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
37	um	3	Fusível tipo NH, corrente nominal de 16 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
38	um	3	Fusível tipo NH, corrente nominal de 32 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
39	um	3	Fusível tipo NH, corrente nominal de 100 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
40	um	6	Fusível tipo NH, corrente nominal de 125 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
41	um	6	Fusível tipo NH, corrente nominal de 200 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 1, tipo retardado.
42	um	6	Fusível tipo NH, corrente nominal de 250 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 1, tipo retardado.
43	um	3	Fusível tipo NH, corrente nominal de 400 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 1, tipo retardado.
44	um	3	Fusível tipo NH, corrente nominal de 500 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 2, tipo retardado.

45	um	3	Fusível tipo NH, corrente nominal de 800 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 3, tipo retardado.
46	uma	15	Base para fusível NH, tamanho 1/125 A.
47	uma	3	Base para fusível NH, tamanho 1/250 A.
48	uma	6	Base para fusível NH, tamanho 3/630 A.
49	uma	3	Base para fusível NH, tamanho 4/1.250 A.
50	uma	51	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.
51	um	3	Transformador de corrente de 10-5 A - 600 V, tipo barra, 1,2C2,5.
52	um	3	Transformador de corrente de 15-5 A - 600 V, tipo barra, 1,2C2,5.
53	um	3	Transformador de corrente de 25-5 A - 600 V, tipo barra, 1,2C2,5.
54	um	3	Transformador de corrente de 30-5 A - 600 V, tipo barra, 1,2C2,5.
55	um	6	Transformador de corrente de 100-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C2,5.
56	um	6	Transformador de corrente de 150-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C2,5.
			Transformador de corrente de 250-5 A - 600 V, tipo barra,

57	um	3	0,6C2,5.
58	um	3	Transformador de corrente de 300-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.
59	um	3	Transformador de corrente de 400-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.
60	um	3	Transformador de corrente de 500-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.
61	um	3	Transformador de corrente de 600-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.
62	um	3	Transformador de corrente de 800-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.
63	um	6	Transformador de corrente de 1.500-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.
64	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-15 A/60 Hz, classe 1,5.
65	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-20 A/60 Hz, classe 1,5.
66	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-40 A/60 Hz, classe 1,5.
67	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-50 A/60 Hz, classe 1,5.

68	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-125 A/60 Hz, classe 1,5.
69	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-150 A/60 Hz, classe 1,5.
70	um	2	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-250 A/60 Hz, classe 1,5.
71	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-400 A/60 Hz, classe 1,5.
72	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-500 A/60 Hz, classe 1,5.
73	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-600 A/60 Hz, classe 1,5.
74	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-800 A/60 Hz, classe 1,5.
75	um	1	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-1.000 A/60 Hz, classe 1,5.
76	um	2	Amperímetro de ferro móvel de 96 × 96 mm, escala 0-1.500 A/60 Hz, classe 1,5.
77	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.
78	uma	17	Chave rotativa comutadora para amperímetro.
79	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 96 × 96 mm, fundo de escala de 1.500 V, frequência de 60 Hz, classe 1,5.

80 um 1 Disjuntor termomagnético de 25 A/600 V, capacidade de ruptura de 10 kA, faixa de ajuste térmico (10 – 16) A, ajuste magnético fixo, tipo 3VU13 - Siemens.

81 um 2 Disjuntor termomagnético de 25 A /600 V, capacidade de ruptura de 6 kA, faixa de ajuste térmico (18 – 25) A, ajuste magnético fixo, tipo 3VU13 - Siemens.

82 um 1 Disjuntor termomagnético de 52 A/600 V, capacidade de ruptura de 35 kA, faixa de ajuste térmico (28 – 40) A, ajuste magnético fixo, tipo 3VU16 - Siemens.

83 um 1 Disjuntor termomagnético de 100 A/600 V, capacidade de ruptura de 65 kA, faixa de ajuste térmico (80 – 100) A, ajuste magnético fixo, tipo 3VF31 - Siemens.

84 um 1 Disjuntor termomagnético de 160 A/600 V, capacidade de ruptura de 65 kA, faixa de ajuste térmico (100 – 125) A, ajuste magnético fixo, tipo 3VF32 - Siemens.

85 um 2 Disjuntor tripolar de 1.250 A/600 V, provido de unidade térmica (500 - 1.250) A e unidade magnética de (5.000–10.000) A, tropicalizado, capacidade de ruptura simétrica de 65 kA, tipo 3WN6 - Siemens.

7 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM1

86 um 1 Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 × 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior,

nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" × 1/16", grau de proteção IP 54.

87	um	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, fundo de escala de 400 A, frequência de 60 Hz, classe 1,5.
88	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, escala de 0-500 V/60 Hz, classe 1,5.
89	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.
90	uma	1	Chave rotativa comutadora para amperímetro.
91	um	27	Conjunto fusível diazed de 4 A.
92	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 190 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-400/3 - Siemens.
93	um	18	Fusível tipo NH, corrente nominal de 32 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
94	um	6	Fusível tipo NH, corrente nominal de 100 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
95	uma	24	Base para fusível NH, tamanho 00/125 A.
96	uma	24	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.
97	um	3	Transformador de corrente de 200-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C2,5.

98	um	6	Contator magnético tripolar para motor de 7,5 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF41-10 - Siemens.
99	um	2	Contator magnético tripolar para motor de 30 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF46-32 - Siemens.
100	um	6	Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (10 – 16) A, tipo 3UA 55-00-2A - Siemens.
101	um	2	Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (32 – 50) A, tipo 3UA 58-00-2F - Siemens.

8 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM2

102	um	1	Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 \times 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" \times 1/16", grau de proteção IP 54.
103	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 96 \times 96 mm, escala de 0-500 V/60 Hz.
104	um	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 96 \times 96 mm, fundo de escala de 200 A, frequência de 60 Hz, classe 1,5.
105	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.

106	uma	1	Chave rotativa comutadora para amperímetro.
107	um	48	Conjunto fusível diazed de 4 A.
108	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 139 A/380 V acionamento frontal, tipo S32-25-/3 - Siemens.
109	um	27	Fusível tipo NH, corrente nominal de 16 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
110	um	18	Fusível tipo NH, corrente nominal de 20 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
111	uma	45	Base para fusível NH, tamanho 00/125 A.
112	uma	45	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.
113	um	3	Transformador de corrente de 150-5 A - 600 V, tipo barra, 1,2C2,5.
114	um	15	Contator magnético tripolar para motor de 5 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF43-10 - Siemens.
115	um	15	Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (6,3 - 10) A, tipo 3UA 55-00-1J - Siemens.

9 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM3

Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em

116	um	1	pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 × 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" × 1/16", grau de proteção IP 54.
117	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, escala de 0-500 V/60 Hz, classe 1,5.
118	um	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, fundo de escala de 200 A, frequência de 60 Hz, classe 1,5.
119	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.
120	uma	10	Chave rotativa comutadora para amperímetro.
121	um	33	Conjunto fusível diazed de 4 A.
122	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 190 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-400/3 - Siemens.
123	um	9	Fusível tipo NH, corrente nominal de 20 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
124	um	21	Fusível tipo NH, corrente nominal de 32 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
125	uma	30	Base para fusível NH, tamanho 00/125 A.
126	uma	30	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.

127	um	3	Transformador de corrente de 150-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C2,5.
128	um	3	Contator magnético tripolar para motor de 5 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF43-10 - Siemens.
129	um	3	Contator magnético tripolar para motor de 10 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF44-11 - Siemens.
130	um	3	Relé bimetalico de sobrecarga, faixa de ajuste (6,3 – 10) A, tipo 3UA 55-00-1J - Siemens.
131	um	7	Relé bimetalico de sobrecarga, faixa de ajuste (12,5 – 20) A, tipo 3UA 55-00-2B - Siemens.

10 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM4

132	um	1	Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 \times 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" \times 1/16", grau de proteção IP 54.
133	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 96 \times 96 mm, escala de 0-500 V/60 Hz.

134	um	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 96×96 mm, fundo de escala de 1.000 A, frequência de 60 Hz, classe 1,5.
135	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.
136	uma	1	Chave rotativa comutadora para amperímetro.
137	um	9	Conjunto fusível diazed de 4 A.
138	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 870 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-1.250/3 - Siemens
139	um	6	Fusível tipo NH, corrente nominal de 800 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 3, tipo retardado.
140	uma	6	Base para fusível NH, tamanho 3/630 A.
141	uma	6	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.
142	um	3	Transformador de corrente de 800-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.
143	uma	2	Chave de partida estática para motor de 250 cv/380 V, tipo SSW-02-340 - WEG.

11 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM5

Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de $70 \mu \cdot m$ e dimensão de 1.500×800 mm, com 500 mm de

144	um	1	profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" × 1/16", grau de proteção IP 54.
145	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 96 × 96 mm, escala de 0-500 V/60 Hz, classe 1,5.
146	uma	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 96 × 96 mm, fundo de escala de 400 A, frequência de 60 Hz, classe 1,5.
147	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.
148	um	1	Chave rotativa comutadora para amperímetro.
149	uma	30	Conjunto fusível diazed de 4 A.
	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 382 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-630/3 - Siemens.
150	um	9	Fusível tipo NH, corrente nominal de 25 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
151	um	18	Fusível tipo NH, corrente nominal de 63 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
152	uma	27	Fusível tipo NH, corrente nominal de 25 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
153	uma	27	Base para fusível NH, tamanho 00/125 A.

154	um	3	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.
155	um	3	Contator magnético tripolar para motor de 7,5 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF41-10 - Siemens.
156	um	6	Contator magnético tripolar para motor de 15 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF44-11 - Siemens.
157	um	3	Relé bimetalico de sobrecarga, faixa de ajuste (10 – 16) A, tipo 3UA 55-00-2A - Siemens.
158	um	6	Relé bimetalico de sobrecarga, faixa de ajuste (20 – 32) A, tipo 3UA55- 00-2D - Siemens.

12 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM6

159	um	1	Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 \times 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" \times 1/16", grau de proteção IP 54.
160	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 144 \times 144 mm, escala de 0-500 V/60 Hz.
161	um	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 144 \times 144 mm,

			fundo de escala de 600 A, frequência de 60 Hz, classe 1,5.
162	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.
163	uma	1	Chave rotativa comutadora para amperímetro.
164	um	27	Conjunto fusível diazed de 4 A.
165	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 382 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-630/3 - Siemens.
166	um	24	Fusível tipo NH, corrente nominal de 63 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
167	uma	24	Base para fusível NH, tamanho 00/125 A.
168	uma	24	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.
169	um	3	Transformador de corrente de 300-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.
170	um	8	Contator magnético tripolar para motor de 20 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF44-11 - Siemens.
171	um	8	Relé bimetalico de sobrecarga, faixa de ajuste (20 – 32) A, tipo 3UA-58- 00-2D - Siemens.

13 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM7

Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG)

172	um	1	tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 \times 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" \times 1/16", grau de proteção IP 54.
173	um	1	Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 144 \times 144 mm, escala de 0-500 V/60 Hz.
174	um	1	Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 144 \times 144 mm, fundo de escala de 800 A, frequência de 60 Hz, classe 1,5.
175	uma	1	Chave rotativa comutadora para voltímetro.
176	uma	1	Chave rotativa comutadora para amperímetro.
177	um	33	Conjunto fusível diazed de 4 A.
178	uma	1	Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 870A/380V, acionamento frontal, tipo S32-1250/3 - Siemens.
179	um	30	Fusível tipo NH, corrente nominal de 100 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
180	uma	30	Base para fusível NH, tamanho 00/125 A.
181	uma	30	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.

182 um 10 Contator magnético tripolar para motor de 30 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF46-22 - Siemens.

183 um 10 Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (32 – 50) A, tipo 3UA-58-00-2F Siemens.

14 - CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES - CCM8

184 um 1 Quadro metálico em chapa de aço de 2,75 mm (12 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ · m e dimensão de 1.500 × 800 mm, com 500 mm de profundidade, aberturas para ventilação inferior e superior, nas partes frontal e lateral, porta com fechadura universal, provido de barramento de cobre de 3/4" × 1/16", grau de proteção IP 54.

185 um 1 Voltímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, escala de 0-500 V/60 Hz.

186 uma 1 Amperímetro de ferro móvel, dimensões de 144 × 144 mm, fundo de escala de 600 A, frequência de 60 Hz, classe 1,5.

187 uma 1 Chave seccionadora tripolar, comando simultâneo, abertura em carga, tensão nominal de 500 V, corrente nominal de 447 A/380 V, acionamento frontal, tipo S32-1.000/3 - Siemens.

188 uma 1 Chave rotativa comutadora para voltímetro.

189 uma 1 Chave rotativa comutadora para amperímetro.

190	um	30	Fusível tipo NH, corrente nominal de 80 A, capacidade de ruptura de 100 kA, 500 V, tamanho 00, tipo retardado.
191	uma	30	Base para fusível NH, tamanho 00/125 A.
192	uma	30	Armação de sinalização, com lâmpada vermelha de 1,5 W/220 V.
193	um	10	Contator magnético tripolar para motor de 25 cv/380 V, categoria AC3, com bobina de 220 V/60 Hz, contatos 2NA e 2NF, tipo 3TF45-11 - Siemens.
194	um	10	Relé bimetálico de sobrecarga, faixa de ajuste (32 – 50) A, tipo 3UA-42 - Siemens.
195	um	3	Transformador de corrente de 400-5 A - 600 V, tipo barra, 0,6C5.

15 - QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO DE LUZ (QDL1 - QDL2 - QDL3 - QDL5 - QDL6)

196	um	1	Quadro metálico em chapa de aço de 2 mm de espessura (14 USSG) tratada com desengraxante alcalino e pintada com tinta em pó, à base de epóxi, epóxi com espessura de 70 μ ·m e dimensão de 400 \times 300 mm, com 150 mm de profundidade, com espaço disponível para 10 disjuntores monopolares.
197	um	1	Disjuntor tripolar termomagnético de 30 A/660 V, interrupção de 4 kA, não tropicalizado, do tipo caixa moldada.

198	um	1	Disjuntor tripolar termomagnético de 35 A/660 V, interrupção de 4 kA, não tropicalizado, do tipo caixa moldada.
199	um	1	Disjuntor tripolar termomagnético de 60 A/660 V, interrupção de 4 kA, não tropicalizado, do tipo caixa moldada.
200	um	2	Disjuntor tripolar termomagnético de 100 A/660 V, interrupção de 4 kA, não tropicalizado, do tipo caixa moldada.
201	um	7	Disjuntor monopolar termomagnético de 10 A/660 V, interrupção de 3,5 kA.
202	um	6	Disjuntor monopolar termomagnético de 15 A/660 V, interrupção de 3,5 kA.
203	um	3	Disjuntor monopolar termomagnético de 20 A/660 V, interrupção de 3,5 kA.
204	um	1	Disjuntor monopolar termomagnético de 25 A/660 V, interrupção de 3,5 kA.
205	um	2	Disjuntor monopolar termomagnético de 30 A/660 V, interrupção de 3,5 kA.
206	um	2	Disjuntor monopolar termomagnético de 35 A/660 V, interrupção de 3,5 kA.
207	um	12	Disjuntor monopolar termomagnético de 40 A/660 V, interrupção de 6 kA.

**16 - QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO DE LUZ (QDL1 - QDL2 -
QDL3 - QDL5 - QDL6)**

208	m	4.500	Fio de cobre isolado - 750 V em PVC/70 °C, seção de 1,5 mm ² .
209	m	2.200	Fio de cobre isolado - 750 V em PVC/70 °C, seção de 2,5 mm ² .
210	m	720	Fio de cobre isolado - 750 V em PVC/70 °C, seção de 6 mm ² .
211	m	610	Fio de cobre isolado - 750 V em PVC/70 °C, seção de 10 mm ² .
212	m	2.890	Cabo cobre isolado - 750 V em PVC/70 °C, seção de 16 mm ² .
213	m	686	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 2,5 mm ² .
214	m	455	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 4 mm ² .
215	m	350	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 10 mm ² .
216	m	326	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 16 mm ² .
217	m	490	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 25 mm ² .
218	m	247	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 35 mm ² .
219	m	340	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 50 mm ² .

220	m	270	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 70 mm ² .
221	m	810	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 95 mm ² .
222	m	210	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 120 mm ² .
223	m	250	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 150 mm ² .
224	m	530	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 185 mm ² .
225	m	420	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 240 mm ² .
226	m	750	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 400 mm ² .
227	m	660	Cabo cobre unipolar, 06/1 kV em PVC/70 °C, seção de 500 mm ² .
228	m	265	Cabo de cobre nu, seção de 400 mm ² .
229	m	135	Cabo de cobre nu, seção de 500 mm ² .

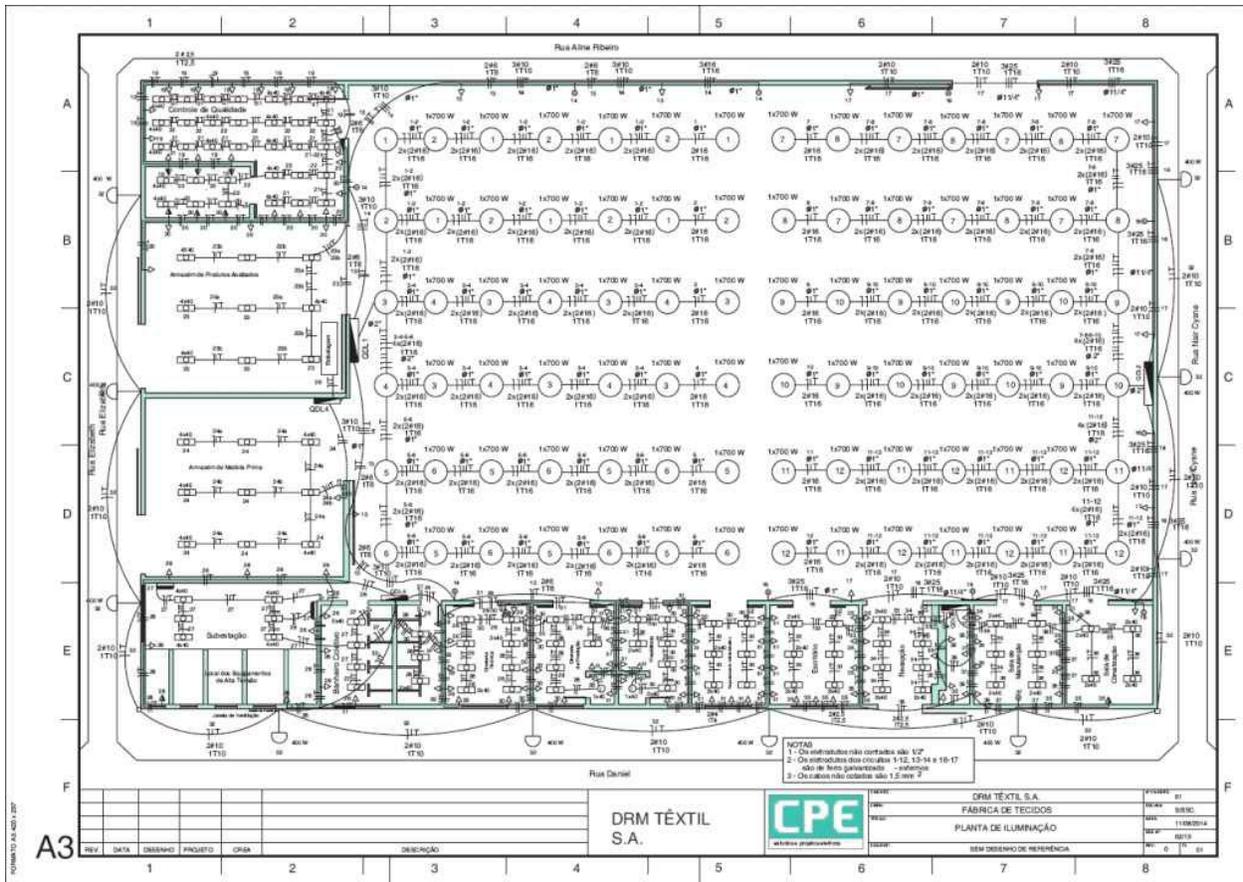
17 - CAPACITORES

230	um	6	Banco de capacitor trifásico de 150 kVAr, tensão nominal de 380 V/60 Hz.
-----	----	---	--

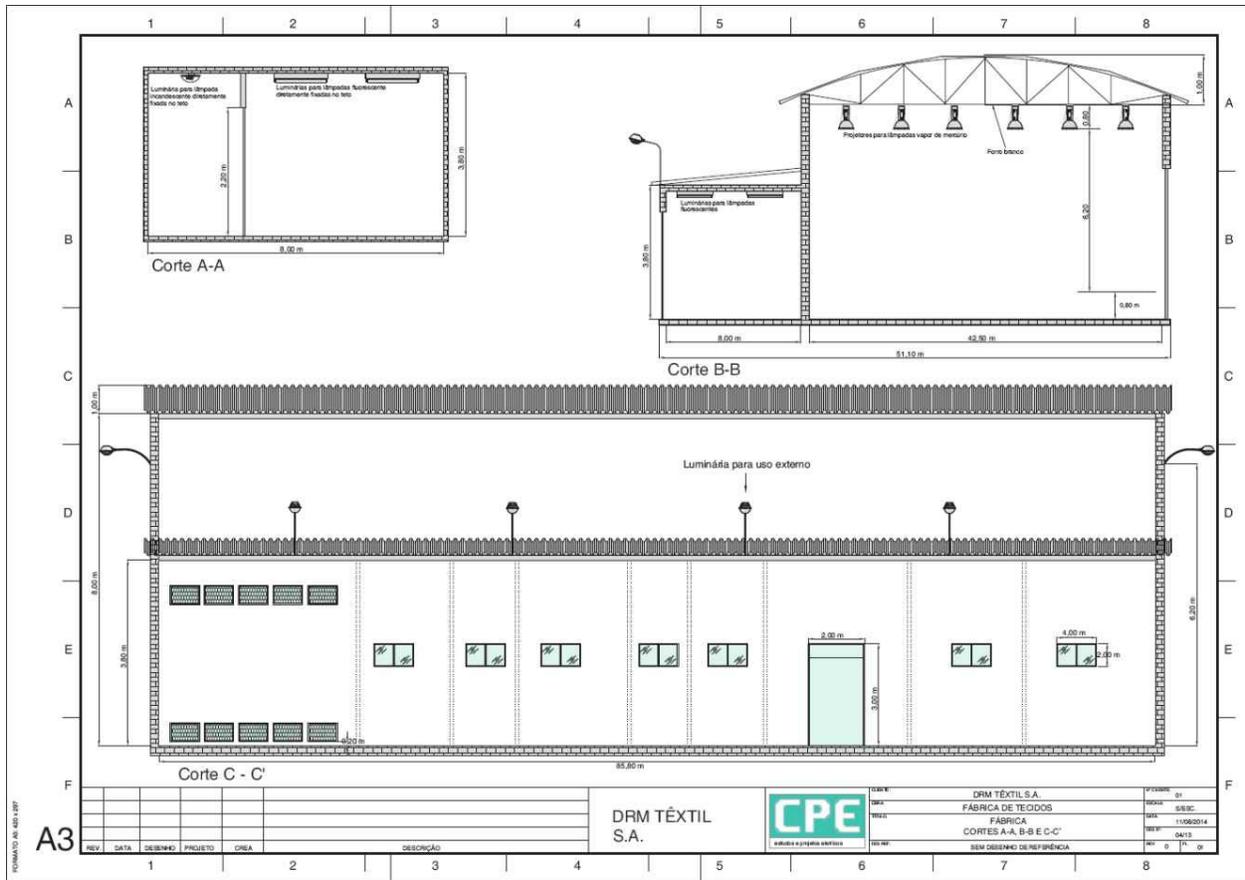
18 - ILUMINAÇÃO E ELETRODUTOS

231	uma	2	Lâmpada incandescente de 40 W/220 V.
232	uma	84	Lâmpada a vapor de mercúrio de 700 W/220 V.
233	um	2	Globo esférico de 6".
234	uma	56	Luminária para 2 lâmpadas fluor. de 40 W, tipo TMS-426 - Philips.
235	uma	57	Luminária para 4 lâmpadas fluor. de 40 W, tipo TMS-427 - Philips.
236	um	84	Projektor industrial de alumínio para 1 lâmpada vapor de mercúrio, tipo T-38 - Peterco.
237	um	2	Interruptor tripolar de 10 A/220 V.
238	um	14	Interruptor simples de 10 A/220 V.
239	uma	119	Tomada simples de 10 A/220 V.
240	uma	10	Tomada tripolar de 4 pinos de 20 A/380 V.
241	um	170	Reator duplo de alto fator de potência para lâmpada fluorescente de 40 W/220 V.
242	vara	82	Eletroduto de PVC de 1/2".
243	vara	28	Eletroduto de PVC de 3/4".
244	vara	13	Eletroduto de PVC de 1".

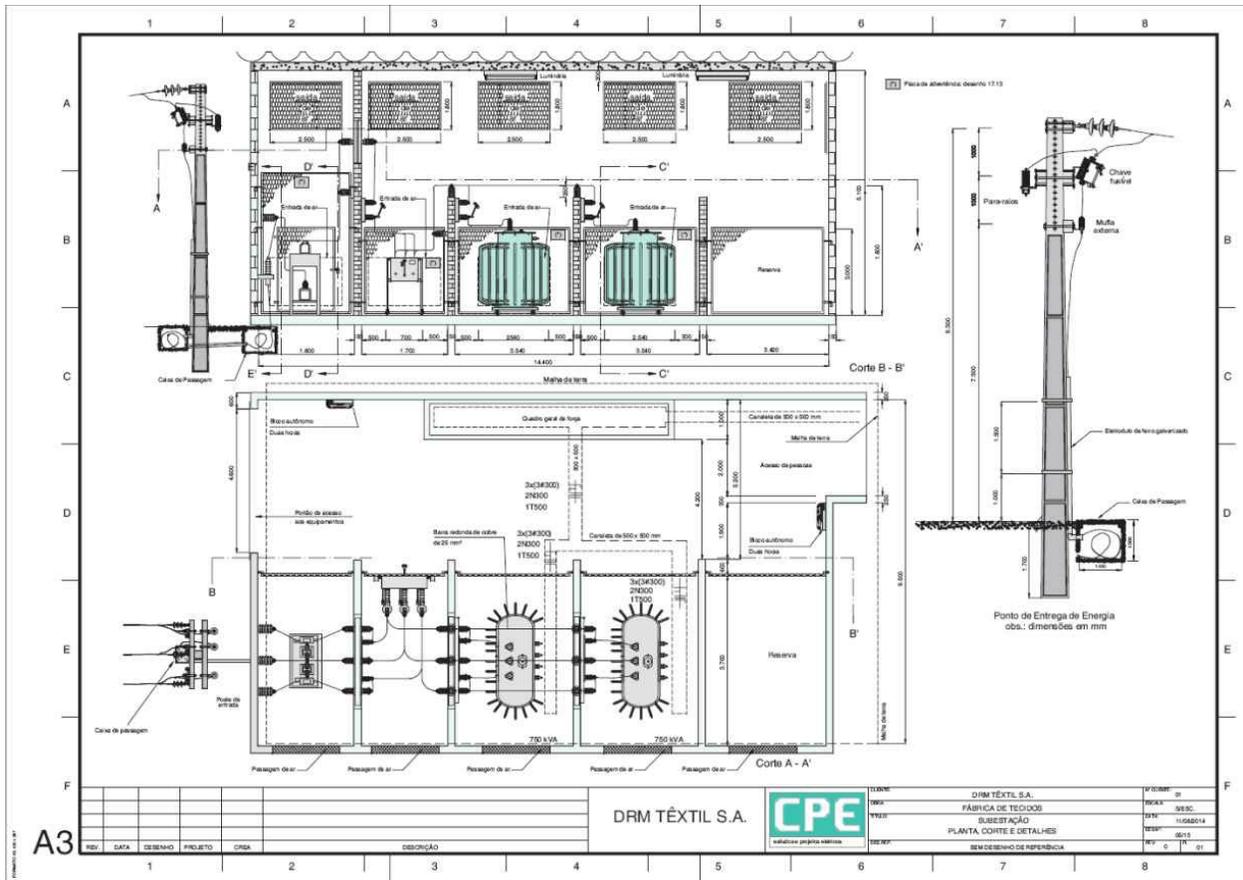
245	vara	12	Eletroduto de PVC de 1 1/4".
246	vara	10	Eletroduto de PVC de 1 1/2".
247	vara	5	Eletroduto de PVC de 2 1/2".
248	m	66	Eletroduto de ferro galvanizado de 3/4".
249	m	60	Eletroduto de ferro galvanizado de 1".
250	m	38	Eletroduto de ferro galvanizado de 3".
251	m	70	Eletroduto flexível de 3/4".
252	m	53	Eletroduto flexível de 1".
253	m	32	Eletroduto flexível de 1 1/4".
254	rolo	60	Fita isolante de 20 mm de largura, em rolo de 15 m.
255	uma	66	Caixa de ferro esmaltada octogonal - fundo móvel de 50 × 100 mm.
256	uma	96	Caixa de ferro esmaltada octogonal - fundo móvel de 100 × 100 mm.
257	uma	29	Caixa de alumínio fundido retangular de 200 × 300 mm.
258	par	180	Bucha e arruela de alumínio para eletroduto de 3/4".
259	par	40	Bucha e arruela de alumínio para eletroduto de 1".
260	par	25	Bucha e arruela de alumínio para eletroduto de 1 1/2".



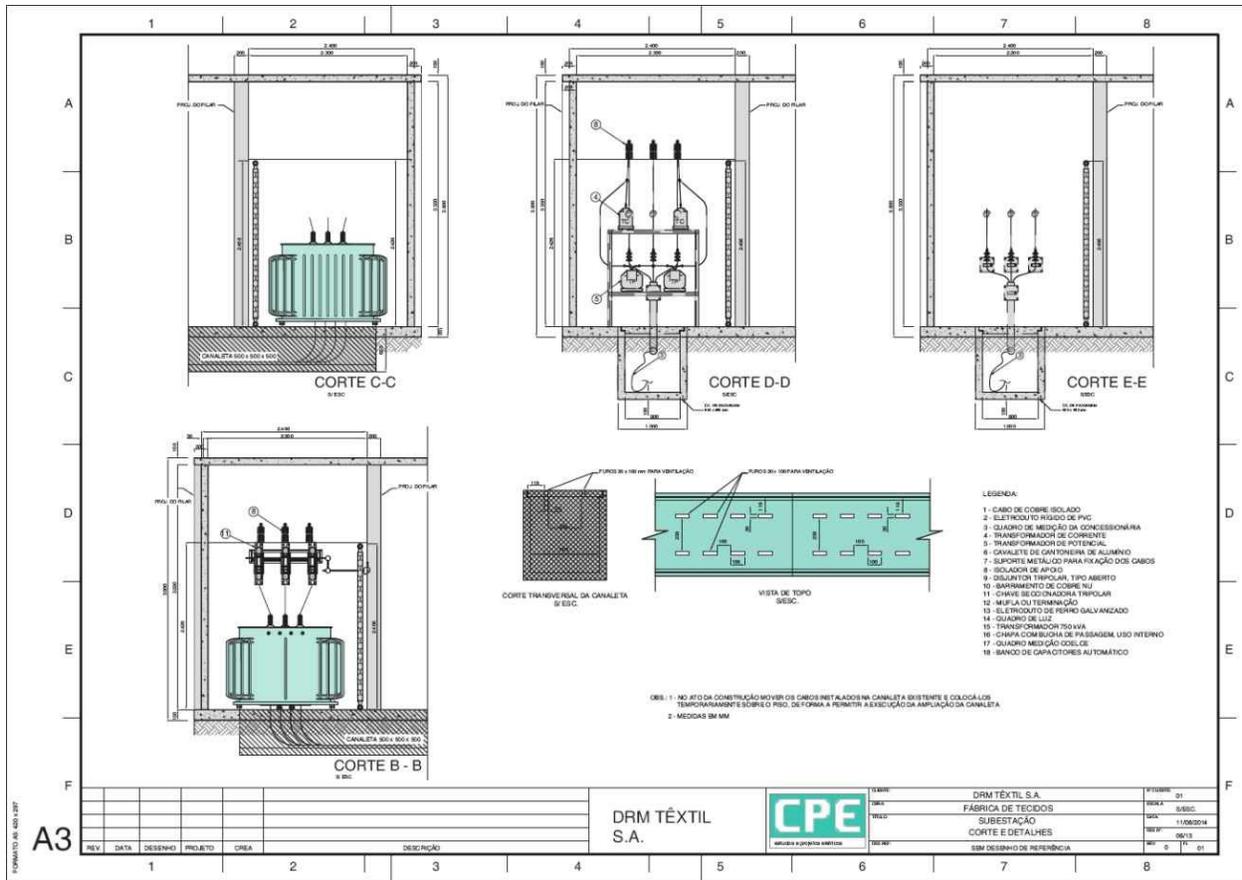
Planta A.2 Planta de iluminação.



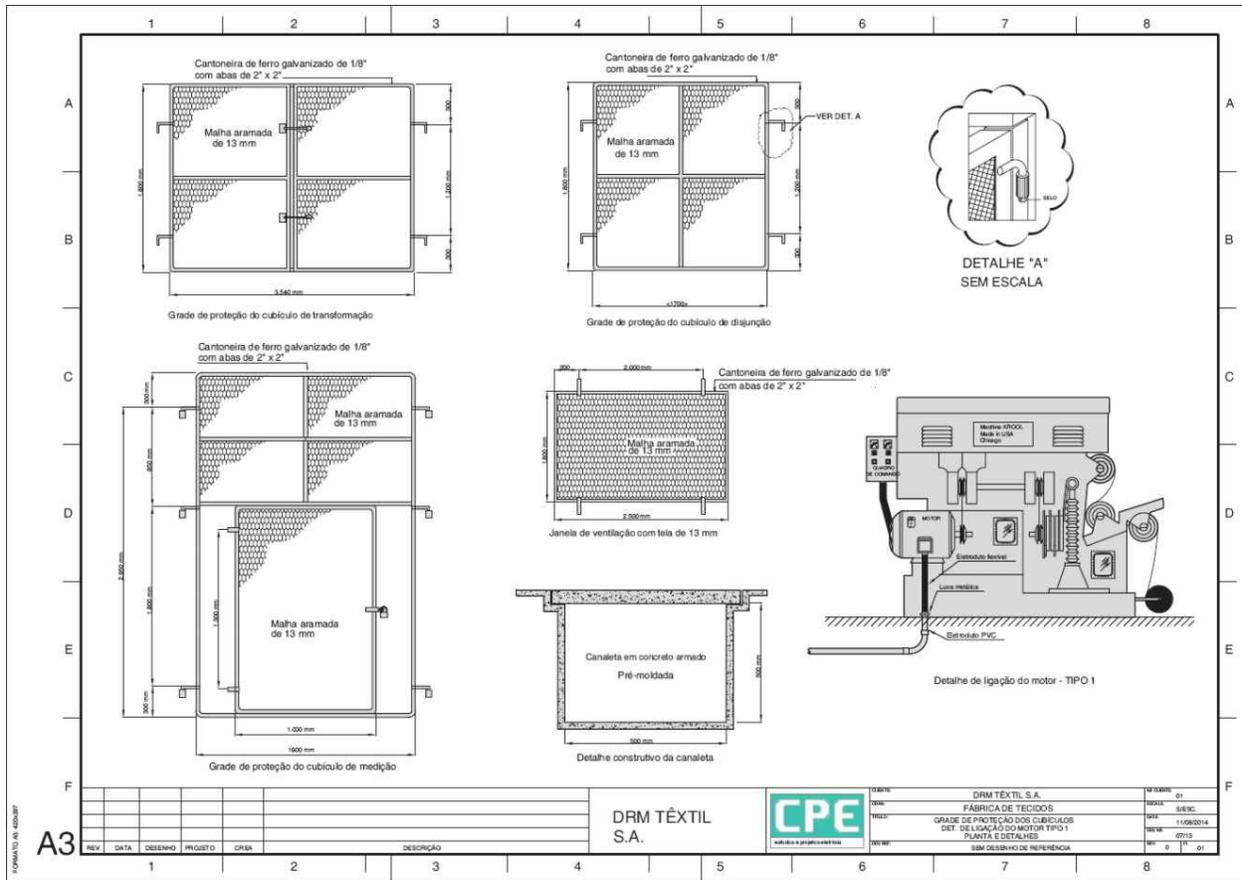
Planta A.4 Fábrica – cortes A-A, B-B e C-C'.



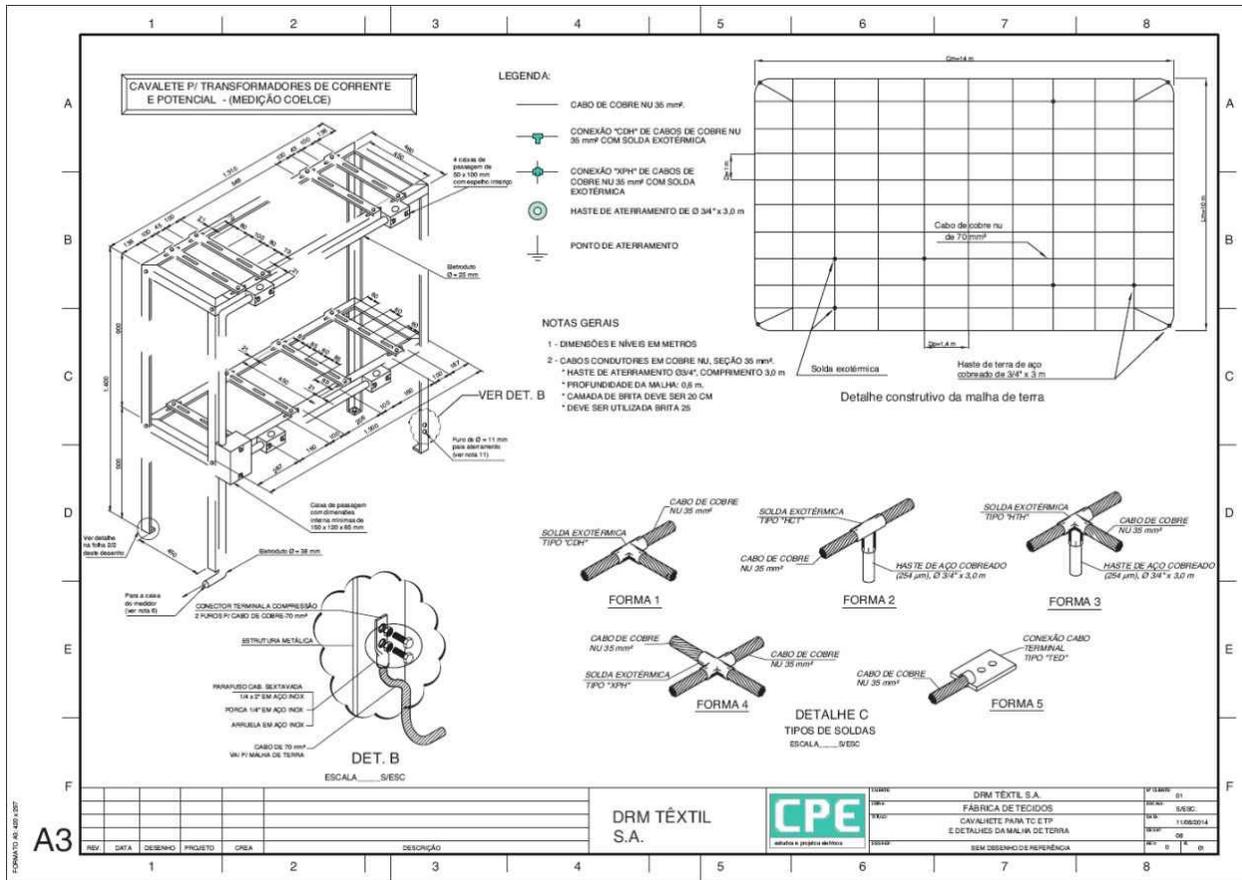
Planta A.5 Subestação – planta, corte e detalhes.



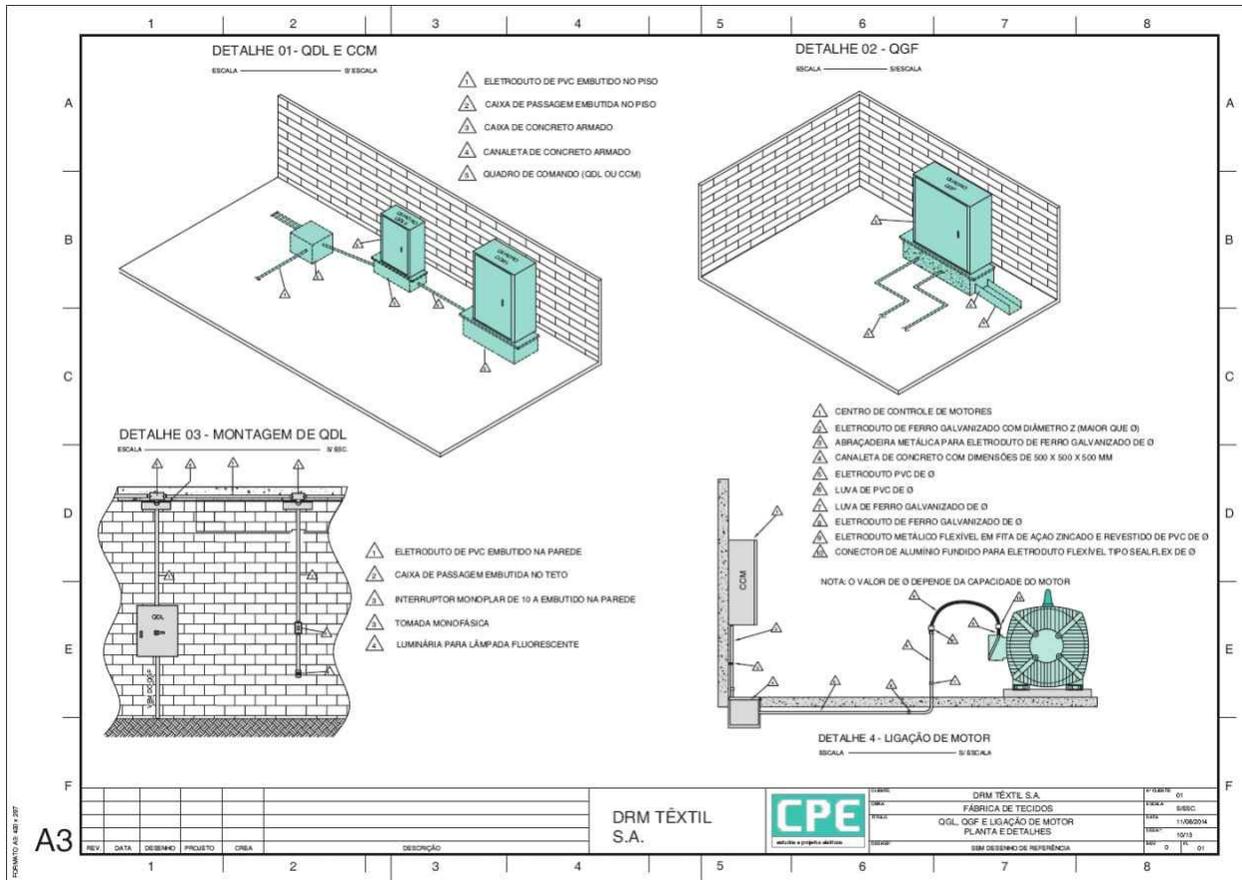
Planta A.6 Subestação – corte e detalhes.



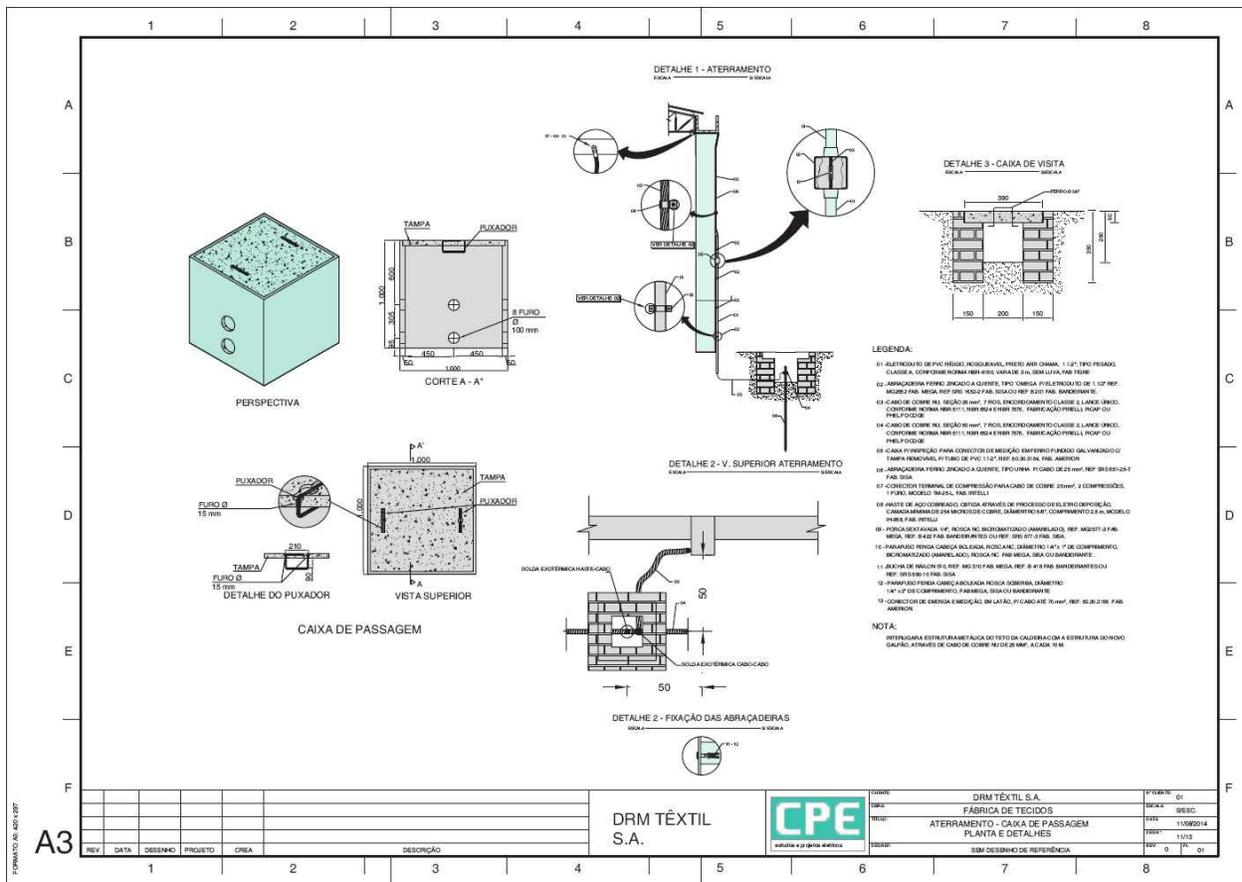
Planta A.7 Grade de proteção dos cubículos – planta e detalhes.



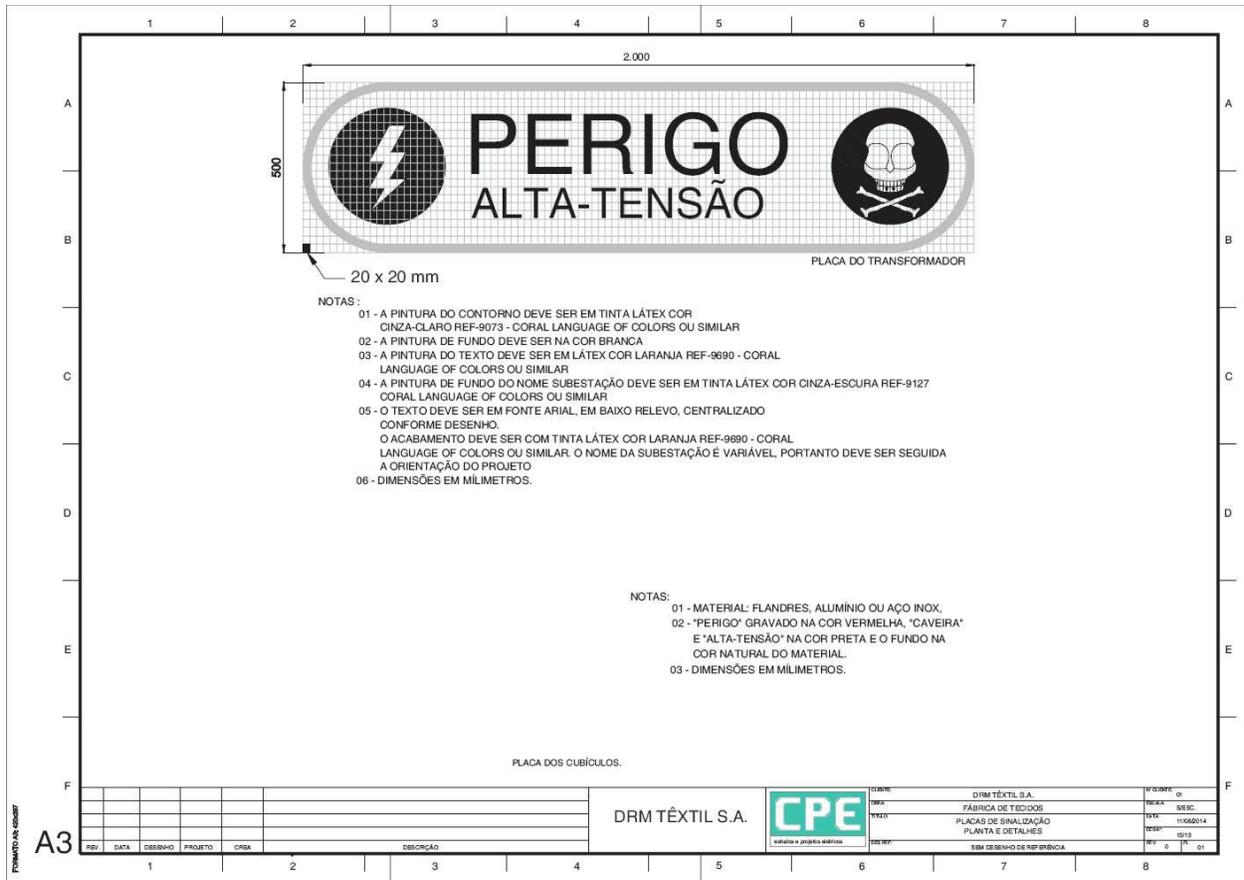
Planta A.8 Cavalete para TC e TP e detalhes da malha de terra.



Planta A.10 QGL, QGF e ligação de motor – planta e detalhes.



Planta A.11 Aterramento – caixa de passagem – planta e detalhes.



Planta A.13 Placa de sinalização.