PROJETO ELÉTRICO DE PAINEL CCM (CENTRO DE CONTROLE DE MOTORES)

Douglas Pereira dos Santos (FHO) - douglasps@alunos.fho.edu.br
Prof. Dr. Daniel Augusto Pagi Ferreira (FHO) - danielferreira@fho.edu.br

Resumo

O presente trabalho examina o funcionamento e a relevância do Centro de Controle de Motores (CCM), e também o controle e proteção de uma central de água gelada, ressaltando sua função essencial na manobra, comando e proteção de motores elétricos. A discussão abrange a importância de conformidade com normas e manuais para garantir a segurança e a eficiência operacionais. O desenvolvimento do painel CCM envolve o dimensionamento de todos os componentes necessários para montagem do painel, assim como a elaboração de esquema elétrico e layout mecânico, a utilização de simbologias padronizadas, e a identificação de componentes através de TAGs e anilhas. O trabalho também irá abordar os dispositivos de proteção necessários, aterramento temporário e proteção contra surtos. Será detalhado o dimensionamento das partidas de motores utilizando inversores de frequência, destacando a automação industrial e a utilização de controladores lógicos programáveis (CLPs) para melhorar a eficiência e a segurança. Por fim, discorre sobre a climatização de painel e a elaboração de diagramas multifilares e layouts mecânicos, assegurando a operação segura e eficiente do painel CCM.

Palavras-Chaves: Painel, Automação, projeto, CCM.

1. Introdução

O Centro de Controle de Motores (CCM) é um sistema de manobra e comando de cargas, composto por um conjunto de partidas e proteção para motores, assim como dispositivos de automação. É largamente utilizado nas indústrias, cuja função é gerenciar os motores elétricos de baixa de um determinado processo fabril, organizando dessa maneira a distribuição da energia elétrica da planta, garantindo uma maior confiabilidade, produtividade e evitando sobrecargas no sistema por meio de dispositivos de proteção (VITOR; ALEXANDRE, 2016).

A evolução tecnológica no setor industrial exige um controle mais preciso e eficiente dos processos de produção, os painéis CCM desempenham um papel fundamental ao proporcionar além de segurança também monitoramento em tempo real seguindo os conceitos da Indústria 4.0, onde as aplicações de recursos tecnológicos nos painéis elétricos possibilitam maior

controle das variáveis de processo em uma planta industrial (ALTUS SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO S.A, 2017).

Devido a importância que os painéis CCM tem dentro da indústria, o projeto de desenvolvimento e montagem deverá ser embasado em normas regulamentadoras (NR10, NR12, NBR 5410 e NBR IEC 61439) e nas especificações corretas conforme o manual de cada fabricante de componentes, para que assim seja garantido o funcionamento correto de todo o sistema.

1.1. Justificativa

Painéis CCM são de extrema importância no meio industrial, e o projeto elétrico do painel traz mais segurança e confiabilidade para o funcionamento correto do processo. Seguir as normas e as especificações corretas para o dimensionamento dos dispositivos se torna fundamental para evitar danos a máquinas e equipamentos do processo fabril, e assim garantindo a segurança do sistema. Alguns dos erros que podem trazer riscos ao processo são:

- Disjuntores que não estejam especificados para suportar a corrente de curto circuito do painel, em um eventual curto circuito causará danos às instalações;
- Inversores de frequência sem filtro harmônico irá poluir a rede elétrica com frequências harmônicas, danificando outros equipamentos na rede elétrica;
- Painel que não possui DPS, em uma eventual descarga atmosférica ou sobretensão da rede os equipamentos internos ao painel estarão desprotegidos;
- Partidas de motores não estejam adequadas à NR-12, trazem risco ao processo fabril, podendo causar acidentes graves;
- Painel com um sistema de climatização inadequado, causará danos aos equipamentos mais sensíveis, como por exemplo CLP e Inversores de frequência;
- Cabos mal dimensionados causará princípios de incêndios e curto circuitos dentro do painel, devido a degradação da isolação por conta aquecimento;

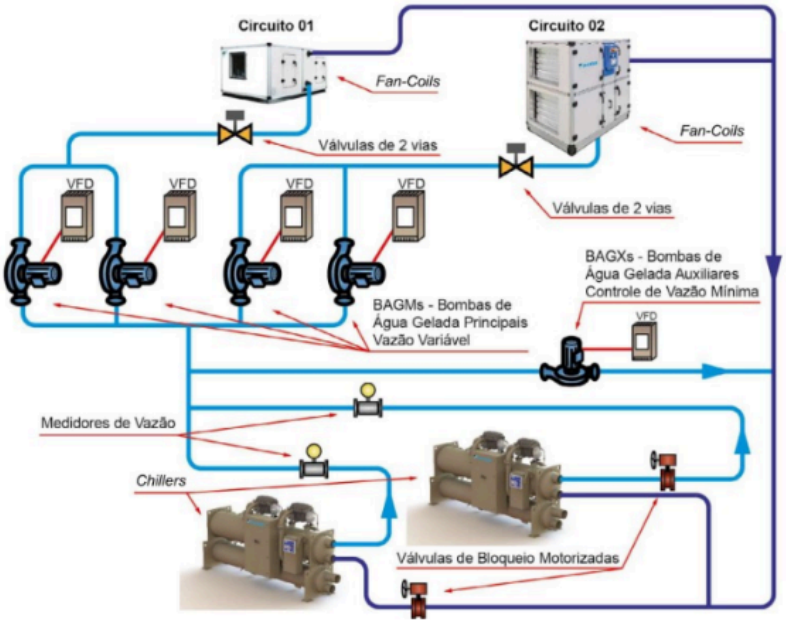
2. Projeto de Painel Elétrico CCM para controle de um Chiller

Conforme a NBR 16.401.1 (ABNT, 2008), CAG, é o sistema que produz água gelada, através de um ou mais resfriadores de água (chillers), que distribui a água gelada, através de bombas em circuito fechado. São sistemas utilizados para conforto térmico de pessoas ou

para processos industriais. Eles são constituídos por chiller, bombas, tubulação e válvulas de controle (REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA, 2023).

O projeto elétrico irá determinar os componentes a serem utilizados na construção do painel elétrico CCM, seguindo todas as normas e especificações necessárias. O presente projeto toma como base uma central de água gelada (CAG) para elaborar o painel CCM de forma a fazer o controle e proteção do equipamento. A rede será trifásica com tensão nominal de 380V (tensão de linha). O sistema utilizado para dimensionamento do painel CCM está representado pela Figura 1 com todos os equipamentos necessários tais como, bombas controladas através de inversores de frequência (VFD – variable frequency drive), válvulas, medidores de vazão, chillers entre outros.

Figura 1 - Circuito Único com Vazão de Água Variável



Fonte: PROTOCOLO DE MONTREAL (2017)

A Tabela 1 apresenta os dados das bombas a serem utilizados no sistema de CAG, onde são 4 bombas principais e 2 bombas auxiliares. Para dimensionamento do painel CCM é necessário determinar a corrente total de consumo demandada pelo sistema (Tabela 2).

Tabela 1 - Dados das Bombas de Água Gelada

Descrição	**Dados Técnicos**	
Bomba de Água	BAGP	BAGP

Quantidade	4	2
Vazão de Água	82m³/h	291,5m³/h
Altura Manométrica	40mCA	50mCA
Potência Nominal	18,3kW	73,5kW
Tensão - Volts	380	380
Modo de operação	Vazão Constante	Vazão Variável

Fonte: SENAI - REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA, 2023, pag. 67.

Tabela 2 - Lista de Cargas – Corrente Nominal

Carga	Potência Ativa (kW)	Tensão de operação (V)	Corrente
BAGP 1 - Motor Weg W22	18,5	380	31,8
BAGP 2 - Motor Weg W22	18,5	380	31,8
BAGP 3 - Motor Weg W22	18,5	380	31,8
BAGP 4 - Motor Weg W22	18,5	380	31,8
BAGS 1 - Motor Weg W22	75	380	125
BAGS 2 - Motor Weg W22	75	380	125
Total	224		377,2

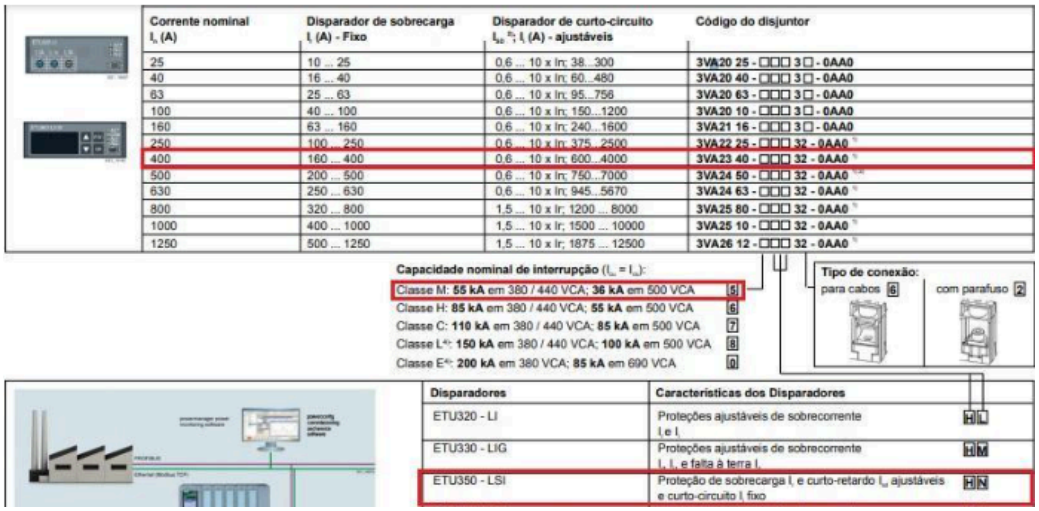
Fonte: Autor.

As subseções a seguir apresentam os equipamentos necessários ao CCM, de acordo com as normas técnicas vigentes.

2.1. Disjuntor Geral

Os painéis elétricos devem possuir proteção geral contra corrente de curto circuito (NBR IEC 61439-1, 2016). Para o correto dimensionamento do disjuntor geral, além da corrente nominal é necessário a informação sobre o nível de curto circuito no ponto de instalação do painel, essa informação é determinada pelo estudo de curto circuito das instalações, o projeto em questão usará para o dimensionamento de componentes o nível de curto circuito de 36kA eficaz (ICW). Considerando a corrente nominal do painel de 378A e o nível de curto-circuito de 36kA, o disjuntor correto para o projeto em elaboração é o modelo 3VA2340-5HN32-0AA0 de 400A (Figura 2).

Figura 2 – Disjuntor caixa moldada 3VA2



Corrente nominal I_n (A)	Disparador de sobrecarga I_r (A) - Fixo	Disparador de curto-circuito I_{sd} [2]; I_i (A) - ajustáveis	Código do disjuntor
25	10 ... 25	0,6 ... 10 x In; 38...300	3VA20 25 - □□□ 3□ - 0AA0
40	16 ... 40	0,6 ... 10 x In; 60...480	3VA20 40 - □□□ 3□ - 0AA0
63	25 ... 63	0,6 ... 10 x In; 95...756	3VA20 63 - □□□ 3□ - 0AA0
100	40 ... 100	0,6 ... 10 x In; 150...1200	3VA20 10 - □□□ 3□ - 0AA0
160	63 ... 160	0,6 ... 10 x In; 240...1600	3VA21 16 - □□□ 3□ - 0AA0
250	100 ... 250	0,6 ... 10 x In; 375...2500	3VA22 25 - □□□ 32 - 0AA0 [1]
400	160 ... 400	0,6 ... 10 x In; 600...4000	3VA23 40 - □□□ 32 - 0AA0 [1]
500	200 ... 500	0,6 ... 10 x In; 750...7000	3VA24 50 - □□□ 32 - 0AA0 [1]
630	250 ... 630	0,6 ... 10 x In; 945...5670	3VA24 63 - □□□ 32 - 0AA0 [1]
800	320 ... 800	1,5 ... 10 x Ir; 1200 ... 8000	3VA25 80 - □□□ 32 - 0AA0 [1]
1000	400 ... 1000	1,5 ... 10 x Ir; 1500 ... 10000	3VA25 10 - □□□ 32 - 0AA0 [1]
1250	500 ... 1250	1,5 ... 10 x Ir; 1875 ... 12500	3VA26 12 - □□□ 32 - 0AA0 [1]

Capacidade nominal de interrupção ($I_u = I_{cu}$):
- Classe M: **55 kA** em 380 / 440 VCA; **36 kA** em 500 VCA [5]
- Classe H: **85 kA** em 380 / 440 VCA; **55 kA** em 500 VCA [6]
- Classe C: **110 kA** em 380 / 440 VCA; **85 kA** em 500 VCA [7]
- Classe L[4]: **150 kA** em 380 / 440 VCA; **100 kA** em 500 VCA [8]
- Classe E[4]: **200 kA** em 380 VCA; **85 kA** em 690 VCA [0]

Tipo de conexão: para cabos [6]; com parafuso [2]

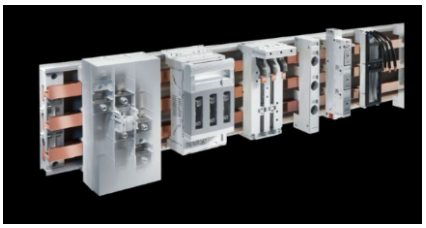
Disparadores	Características dos Disparadores	
ETU320 - LI	Proteções ajustáveis de sobrecorrente I_r e I_i	H L
ETU330 - LIG	Proteções ajustáveis de sobrecorrente I_r, I_i e falta à terra I_g	H M
ETU350 - LSI	Proteção de sobrecarga I_r e curto-retardo I_{sd} ajustáveis e curto-circuito I_i fixo	H N

Fonte: Siemens – Fichas técnicas - mar23, 2023, pag. 112.

2.2. Borramento

O sistema de barramento deverá suportar a corrente máxima de operação do painel, assim como o nível de curto circuito. O sistema de barramento considerado para o projeto é o modelo Riline 60 (imagem 3) do fabricante Rittal. Todos os disjuntores devem utilizar adaptadores de barramento (Figura 3), para que assim seja realizada a conexão correta entre o dispositivo e o sistema de barramento.

Figura 3 – Sistema de barramento Riline 60



Fonte: https://www.rittal.com/br-pt/products/PG0229STV1/PG0300STV1/PG0313STV1,

Para dimensionar a distância entre os suportes de barramento será preciso determinar a corrente de curto circuito de pico (Ipk). Para achar a corrente de pico deve-se multiplicar a corrente eficaz ICW por 2,1, conforme tabela fator N (Figura 4), portanto Ipk é 75,6kA. Seguindo as orientações do manual do suporte de barramento (Figura 5), podemos considerar que a distância entre os suportes deverá ser menor ou igual a 270mm.

Figura 4 – Tabela Fator N

Tabela 7 – Valores para o fator *n* [a] (ver 9.3.3)

Valor eficaz da corrente de curto-circuito kA	cos φ	*n*
$I \leq 5$	0,7	1,5
$5 < I \leq 10$	0,5	1,7
$10 < I \leq 20$	0,3	2
$20 < I \leq 50$	0,25	2,1
$50 < I$	0,2	2,2

Fonte: NBR IEC 61439-1, 2016, pag.88.

Figura 5 – Diagrama de resistência a curto-circuito

Busbar support
up to 800 A, 3-pole

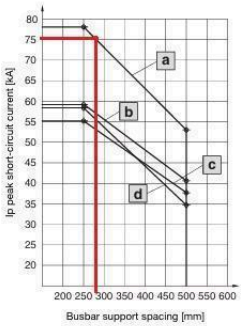
Model No. SV 9340.000/SV 9340.010

60 mm bar centre distance,
for busbars 15 x 5 – 30 x 10 mm

Rated operating voltage: up to 690 V AC
Rated insulation voltage: 1000 V AC
Rated impulse withstand voltage: 8 kV

Overvoltage category: IV
Pollution degree: 3
Rated frequency: 50/60 Hz

Test implemented:
– Rated peak withstand current I_{pk}
– Rated short-time withstand current I_{cw}



Busbar mm	l mm	I_{cw} [1] kA
30 x 10	250	37.6
30 x 5	250	36.0
20 x 10	250	29.0

[1] For 1 sec.
l = Busbar support spacing

Busbar mm	Curve
30 x 10	a
20 x 10	b
25 x 5	c
15 x 5	d

Fonte: Rittal - 9340010_Short_circuit_resistance_diagram_EN, 2014, pag. 1.

O barramento mínimo de acordo com a corrente nominal do painel seria de 20mm (largura) x 10mm(espessura) que suporta uma corrente 427A (Figura 6), porém conforme manual do suporte de barramento a bitola correta das barras devem ser de 30x10mm, por conta do nível de curto circuito do painel.

Figura 6 – Correntes nominais dos barramentos E-Cu

Width x thickness mm	Cross section mm²	Weight[1]	Material[2]	Continuous current in A			
				AC current up to 60 Hz		DC current + AC current 16 Hz	
				Bare bar	Coated bar	Bare bar	Coated bar
12 x 2	23.5	0.209	E-Cu F30	108	123	108	123
15 x 2	29.5	0.262		128	148	128	148
15 x 3	44.5	0.396		162	187	162	187
20 x 2	39.5	0.351		162	189	162	189
20 x 3	59.5	0.529		204	237	204	237
20 x 5	99.1	0.882		274	319	274	320
20 x 10	199.0	1.770		427	497	428	499
25 x 3	74.5	0.663		245	287	245	287
25 x 5	124.0	1.110		327	384	327	384
30 x 3	89.5	0.796		285	337	286	337
30 x 5	149.0	1.330		379	447	380	448
30 x 10	299.0	2.660		573	676	579	683

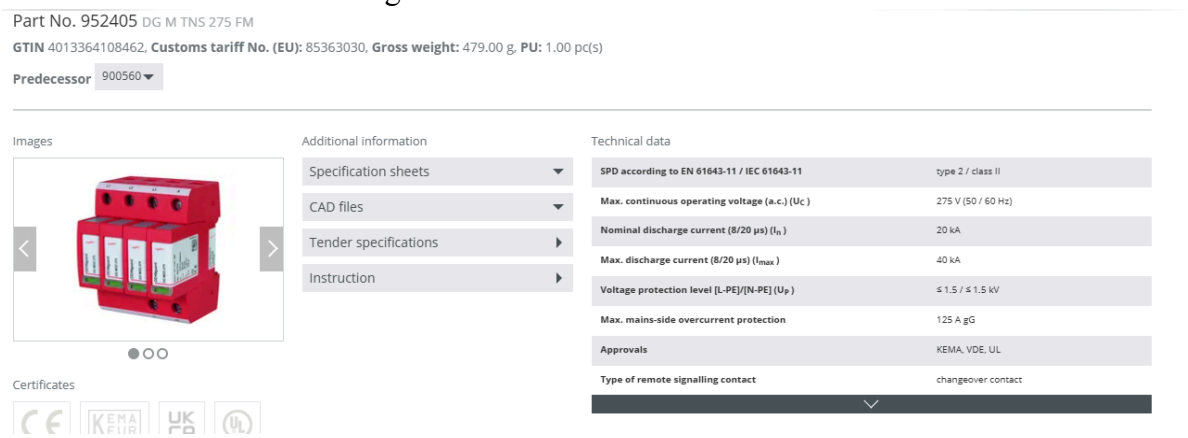
Fonte: Rittal - 3580000_Especifica_ccedil_otilde_es_t_eacute_cnicas_EN, pag. 1.

2.3. DPS (Dispositivo de Proteção Contra Surtos)

O dispositivo de proteção contra surtos (DPS) tem a função de proteger as instalações elétricas contra surtos na rede elétrica ou descargas atmosféricas, estes dispositivos devem atender à IEC 61643-1 sendo baseado no nível de proteção, máxima tensão de operação contínua, suportabilidade a sobretensões temporárias, corrente nominal de descarga e suportabilidade à corrente de curto circuito (NBR IEC 61439-1, 2016).

Considerando que o Painel será instalado em local abrigado, onde as sobretensões e descargas atmosféricas são transmitidas pela linha externa de alimentação, o DPS a ser considerado é o classe II, com sua corrente nominal de descarga (In) não podendo ser inferior a 20 kA para redes trifásicas (NBR IEC 61439-1, 2016). O projeto usará o DPS Classe II do fabricante DEHN modelo 952405 (Imagem 7).

Imagem 7 – DPS Classe II do fabricante DEHN



Fonte: https://www.dehn-international.com/store/p/en-DE/F33274/dehnguard-m-fm-surge-arrester-?product=P33303.

2.4. Ponto de aterramento temporário

O ponto de aterramento temporário é determinado pela norma “NR 10 - 10.3.6 Todo projeto deve prever condições para a adoção de aterramento temporário.”. O ponto de aterramento tem a função de interligar as 3 fases do painel à terra, garantindo que tensões residuais sejam descarregadas de forma segura, garantindo a segurança do eletricista em uma eventual manutenção ou intervenção no painel.

A partir das informações do painel podemos determinar uma chave seccionadora de aterramento para realizar a função do aterramento temporário, que neste caso será a STR32-400/3 do fabricante Holec (Figura 8).

Figura 8 – Chave de aterramento STR32-400/3

Fonte: https://holec.com.br/produtos/detalhe/chaves-comutadoras-str32-in-630a

2.5. Partidas de motores

As partidas de motores têm como função a proteção e acionamento dos motores de indução. Em uma Central de Água Gelada as bombas equipadas com motores irão determinar a pressão e vazão do sistema. Para o acionamento dos motores usaremos inversores de frequência que controlam motores ajustando sua velocidade através da variação da frequência fundamental da rede elétrica (60Hz). São equipamentos essenciais para garantir o controle eficiente e seguro de motores elétricos em diferentes aplicações (Scheneider, 2024).

O projeto irá utilizar os inversores Power Flex 755 do fabricante Rockweel, para dimensionar os inversores será necessário levar em consideração a potência nominal de operação (Figura 10), assim como especificar os reatores de sintonia para instalar na entrada de alimentação de cada inversor (Figura 9), garantindo que as harmônicas geradas pelos drives sejam bloqueadas, com a qualidade de energia da rede elétrico não seja comprometida (Rockwell, 2024).

Figura 9 – Especificação de Reatores de entrada- Rockwell

Catalog Number Explanation.

380…480V, 50/60 Hz, Three-phase, 5% Impedance

kW	Hp	Duty	Input Line Reactor		Output Load Reactor	
			IP00 (Open Style)	IP11 (NEMA/UL Type 1)	IP00 (Open Style)	IP11 (NEMA/UL Type 1)
			Cat. No.	Cat. No.	Cat. No.	Cat. No.
18.5	25	Normal	1321-3R35-C	1321-3RA35-C	1321-3R35-C	1321-3RA35-C
		Heavy	1321-3R35-C	1321-3RA35-C	1321-3R45-C	1321-3RA45-C
75	100	Normal/Heavy	1321-3R130-C	1321-3RA130-C	1321-3R130-C	1321-3RA130-C

Fonte: Rockwell - PowerFlex 750-Series AC Drives Bulletin Numbers 20G, 20J, 2022, pag. 235.

Figura 10 – Especificação de Inversor Power Flex 755 - Rockwell

Catalog Number Explanation.

1…3	4	5	6	7	8…10	11	12	13	14	15	16	17	18	
20G	1	A	N	D	248	A	A	0	N	N	N	N	N	LD - P3 - P11…
a	b	c	d	e	f1…f6	g	h	i	Positions 14…18 are not used.					

f3

ND Rating 400V, 50 Hz Input								
Code	Amps	kW	Frame Enclosure Code B, J, L, T	F	G	N	K, P, W, Y
2P1	2.1	0.75					
3P5	3.5	1.5					
5P0	5.0	2.2					
8P7	8.7	4		2	2	2	
011	11.5	5.5					
015	15.4	7.5					
022	22	11					
030	30	15					
037	37	18.5		3	3	3	
043	43	22					
060	60	30	–	4	4	4	–
072	72	37			5		
085	85	45		5		5	
104	104	55					
140	140	75			6	6	
170	170	90					
205	205	110					
260	260	132		(1)	7		
302	302	160				7	
367	367	200					
456	456	250					
460	460	250	8	–	–	–	8(2)
477	477	270	–	(1)	–	7	–

Fonte: Rockwell - PowerFlex 750-Series AC Drives Catalog Numbers 20F, 20G, 21G, 2022, pag. 18.

Após a especificação de todos os inversores e reatores de entrada (Tabela 3), é necessário considerar a proteção das partidas com um disjuntor motor conforme especificado no manual do fabricante do drive (Figura 11).

Tabela 3 - Lista de inversores para o Painel CCM CAG

Motor	Potência Ativa (kW)	Inversor de Frequência	Reator de entrada
BAGP 1 - Motor Weg W22	18,5	20G11NC037AA0NNNNN	1321-3R35-C
BAGP 2 - Motor Weg W22	18,5	20G11NC037AA0NNNNN	1321-3R35-C
BAGP 3 - Motor Weg W22	18,5	20G11NC037AA0NNNNN	1321-3R35-C
BAGP 4 - Motor Weg W22	18,5	20G11NC037AA0NNNNN	1321-3R35-C
BAGS 1 - Motor Weg W22	75	20G1ANC140AA0NNNNN	1321-3R130-C
BAGS 2 - Motor Weg W22	75	20G1ANC140AA0NNNNN	1321-3R130-C

Fonte: Autor.

Figura 11 – Especificação de Disjuntor para Inversor Power Flex

Table 23 - 400V AC and 540V DC Input Protection Devices – Wall Mount Frames 1…7

Applied Rating(1)	Frame(2)	Cont. Output [A]	Drive Sized for Normal Duty Cat. No. (x = F or G)	Output Overload [A] 60 s	Output Overload [A] 3 s	Drive Sized for Heavy Duty Cat. No. (x = F or G)	Output Overload [A] 60 s	Output Overload [A] 3 s	Input Quantities Continuous AC Input kVA	Continuous AC Input A	AC Input Protection Devices Dual Element Time Delay Fuse [A] Min(4)	Dual Element Time Delay Fuse [A] Max(5)	Non-time Delay Fuse [A] Min(4)	Non-time Delay Fuse [A] Max(5)	Circuit Breaker Max Size(6)	Circuit Breaker, Dual Element Time Delay Fuse Min Enclosure Volume (in.3)(7)	Motor Circuit Protector(8)	140M/MT Type E Combination Motor Controller with Adjustable Current Range(9)(10) Cat. No.	Min Enclosure Volume (in.3)(13)
400V AC Input																			
18.5 kW	3	37	20x…C037	40.7	55.5	20x…C043	55.5	66.6	24.5	35.4	45	80	45	125	110	4800	50	140M-F8E-C45	9086
75 kW	6	140	20x…C140	154.0	210.0	20x…C170	210.0	255.0	95.0	137.2	175	300	175	550	400		250		

Fonte: Rockwell - PowerFlex 750-Series AC Drives Catalog Numbers 20F, 20G, 21G, 2022, pag. 184.

Os disjuntores para proteção das partidas serão dimensionados conforme solicitado no manual do drive, sendo 50A o inversor de 18,5kW e 250A para o inversor de 75kW. Com a informação obtida no manual dos inversores é possível especificar o disjuntor correto para os drives de 75kW (Figura 12) e também para os drives de 18,5kW (Figura 13).

Figura 12 – Disjuntor Motor em Caixa Moldada 3VA

Disjuntores em caixa moldada 3VA2

Proteção de motores

Tipo / polos	Disjuntor 3VA21 / 3VA22 / 3VA23 / 3VA24 / 3VA25 3 polos
Tensão nominal de utilização - U_e	690 VCA
Capacidade nominal de interrupção ABNT NBR IEC 60947-2 ABNT NBR IEC 60947-4-1	220 / 240 VCA - **até 110 kA** 380 / 415 VCA - **até 85 kA** 440 VCA - **até 85 kA**

Disjuntor tripolar com disparador eletrônico, proteção de motores, ETU350M LSI
Com proteção ajustável de sobrecarga Ir, retardo ajustável via classe de partida Tc (10A, 10 / 10E, 20 / 20E), proteção ajustável de curto retardo Isd e proteção fixa de curto-circuito instantâneo Ii

Corrente nominal I_n (A)	Disparador de sobrecarga I_r (A)	Disparador de curto-circuito I_i(A)	Código do disjuntor
25	10 ... 25	375	**3VA21 25 - □MN3□- 0AA0**
40	16 ... 40	600	**3VA21 40 - □MN3□- 0AA0**
63	25 ... 63	945	**3VA21 63 - □MN3□- 0AA0**
100	40 ... 100	1500	**3VA21 10 - □MN3□- 0AA0**
160	63 ... 160	2400	**3VA22 16 - □MN32 - 0AA0**
200	80 ... 200	3000	**3VA22 20 - □MN32 - 0AA0**
250	100 ... 250	3750	**3VA23 25 - □MN32 - 0AA0**
400	160 ... 400	6000	**3VA24 40 - □MN32 - 0AA0**
500	200 ... 500	7500	**3VA24 50 - □MN32 - 0AA0**
630	250 ... 630	9450	**3VA25 63- □MN32 - 0AA0**
800	320 ... 800	9600	**3VA25 80 - □MN32 - 0AA0**

Capacidade nominal de interrupção ($I_{cu} = I_{cs}$):
Classe M - **55 kA** em 380 / 440 VCA 5
Classe H - **110 kA** em 380 / 440 VCA 7

Tipo de conexão:
para cabos 6 | com parafuso 2

Fonte: Siemens – Fichas técnicas - mar23, 2023, pag. 114.

Figura 13 – Disjuntor Motor Siemens

Disjuntores-motor 3RV2 - SIRIUS

Manobra e proteção de motores

3RV201 16 A | 3RV202 40 A | 3RV203 80 A | 3RV204 100 A

Motores trifásicos Potências máximas AC-3, 60 Hz em				**Disjuntores tripolares** 1) Classe 10						
				Tipo Conexão por mola *) Proteções sobrecarga e curto-circuito		**Tipo** Conexão por mola *) Proteção curto-circuito		Dimensões (mm)		
220 V (cv / kW)	380 V (cv / kW)	440 V (cv / kW)	Corrente nominal máxima (A)		Ajuste de sobrecarga (A)		Corrente nominal (A)	L	H 2)	P
–	–	40 / 30	50	**3RV2031-4WA10** 3RV2032-4WA10 2)	42 - 52	**3RV2331-4WC10** 3RV2332-4WC10 2)	52	55 55	140 140	149 149

Fonte: Siemens – Fichas técnicas - mar23, 2023, pag. 50.

Com os dados colhidos através do catálogo de disjuntores, temos a Tabela 4, onde é apresentado os inversores de frequência para acionamento das bombas de água gelda e seus respectivos disjuntores de proteção.

Tabela 4 - Disjuntores para as partidas com inversor de frequência.

Motor	Inversor de Frequência	Disjuntor de Proteção
BAGP 1 - Motor Weg W22	20G11NC037AA0NNNNN	3RV2031-4WA10
BAGP 2 - Motor Weg W22	20G11NC037AA0NNNNN	3RV2031-4WA10
BAGP 3 - Motor Weg W22	20G11NC037AA0NNNNN	3RV2031-4WA10
BAGP 4 - Motor Weg W22	20G11NC037AA0NNNNN	3RV2031-4WA10
BAGS 1 - Motor Weg W22	20G1ANC140AA0NNNNN	3VA2325-5MN22-0AA0
BAGS 2 - Motor Weg W22	20G1ANC140AA0NNNNN	3VA2325-5MN22-0AA0

Fonte: Autor.

A norma de segurança para máquinas NR 12, determina que as partidas de motores devem ser projetadas com dispositivos capazes de estabelecer ou interromper a corrente em um ou mais circuitos elétricos, por exemplo: contatores, inversores de frequência, e demais chaves de partida. Caso ocorra uma emergência, o dispositivo deverá interromper o circuito de alimentação do motor. É necessário um estudo de apreciação de riscos das máquinas para determinar a categoria de segurança (NR12, 2019). Para o projeto do Painel CCM CAG foi considerado categoria de segurança 3 para todas as partidas, com isso fez-se necessário o acessório STO (Safe Torque OFF) para o inversor de frequência Power Flex 755 (Figura 14), que garante até categoria de segurança 3 para partidas de motores (Rockwell, 2017).

Figura 14 – Módulo Safe Torque Off para inversores Power Flex 750

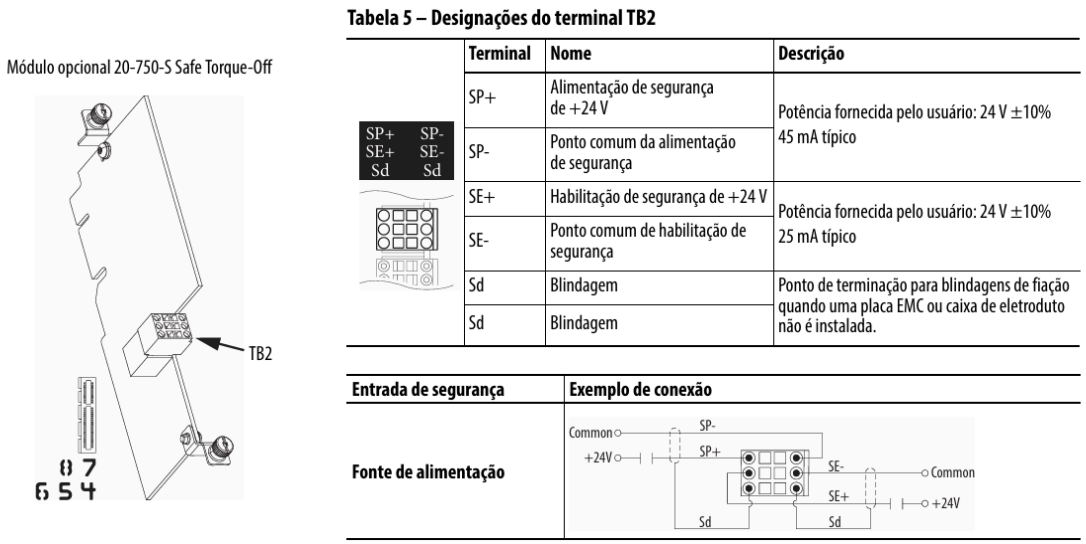


Tabela 5 – Designações do terminal TB2

Terminal	Nome	Descrição
SP+	Alimentação de segurança de +24 V	Potência fornecida pelo usuário: 24 V ±10% 45 mA típico
SP-	Ponto comum da alimentação de segurança	
SE+	Habilitação de segurança de +24 V	Potência fornecida pelo usuário: 24 V ±10% 25 mA típico
SE-	Ponto comum de habilitação de segurança	
Sd	Blindagem	Ponto de terminação para blindagens de fiação quando uma placa EMC ou caixa de eletroduto não é instalada.
Sd	Blindagem	

Entrada de segurança	Exemplo de conexão
Fonte de alimentação	

Fonte: Rockwell - Módulo opcional Safe Torque-Off PowerFlex Série 750, pag. 25.

2.6. Automação

A Automação Industrial consiste no uso de tecnologia e sistemas para automatizar processos e tarefas na indústria, ela envolve o uso de sensores, controladores e softwares para monitorar e controlar máquinas e equipamentos, tornando-os capazes de operar de forma autônoma.

A Automação Industrial é extremamente importante, pois ela aumenta a eficiência e a produtividade dos processos, reduzindo erros humanos e aumentando a precisão. Ela também permite a coleta de dados em tempo real, fornecendo informações valiosas para tomadas de decisões estratégicas, tendo como objetivo a indústria 4.0 tornando as fábricas mais inteligentes e eficientes (Schneider, 2024).

Um dos componentes mais importantes para a automação industrial são os CLP´s (Controladores Lógicos Programáveis), que são usados como ferramentas de controle de equipamentos e máquinas, monitorando os dados dos sensores, em seguida, usam essas informações para controlar a operação. Essas informações ajudam a tomar decisões com base nos dados coletados e a se comunicar com outros dispositivos que fazem parte do sistema operado digitalmente. Essas opções também são excelentes para registrar e armazenar dados (Schneider, 2024).

O projeto para Painel CCM CAG utilizará o CLP do fabricante Rockwell, modelo CompactLogix 5069. O dimensionamento do CLP leva em consideração a quantidade de instrumentos no processo (Sensores, Válvulas etc.), seguindo as premissas do Protocolo de Montreal para Centrais de água gelada, o sistema de CAG terá instrumentos conforme descrito na Tabela 5.

Para o sistema de segurança foi utilizada uma remota safety do fabricante Rockwell modelo Point I/O, com esse dispositivo é possível monitorar botões de emergência, chaves de bloqueio (para manutenção), cortinas de luz, entre outros, e fazer a atuação do STO dos inversores, válvulas de segurança e contatores safety. Com o Point I/O em rede juntamente com o CLP, todo o controle de processo e de segurança é realizado pelo CLP.

O uso inteligente de dados é crucial para o funcionamento seguro e produtivo das plantas. Este também é um desafio real na indústria de processamento devido ao tamanho e complexidade de algumas plantas.

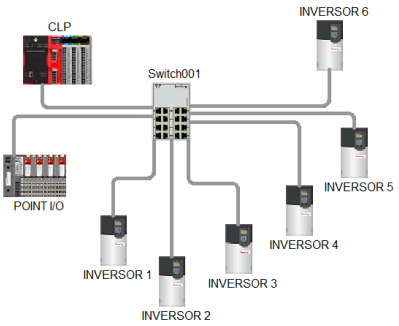
Tabela 5 - Lista de I/O para Painel CCM CAG.

Instrumento	QTD	Tipo de sinal
Processo		
Válvula 2 vias	2	Saída Digital
Medidor de vazão	2	Entrada Analógica
Válvulas de bloqueio motorizado	2	Saída Digital
Safety		
STO inversores	12	Saída Digital Safety
Botão de Emergência Painel	1	Entrada Digital Safety
Chave de Bloqueio para motores	12	Entrada Digital Safety

Fonte: Autor.

Para dimensionamento do CLP e Point I/O utilizaremos o software IAB (Integrated Architecture Builder) disponibilizado pela Rockwell. Para realizar a comunicação em rede no protocolo Ethernet IP, será necessário um Switch de 16 portas modelo 1783-US16T (Figura 15).

Figura 15 – Arquitetura de rede para Painel CCM CAG



Fonte: IAB – Autor

Tabela 6 – Lista de hardwares de automação

Código	QTD	Descrição
5069-L3100ERS2	1	CLP Compact GuardLogix 5069
5069-IB16	1	Cartão de 16 entradas digitais
5069-OB16	1	Cartão de 16 saídas digitais

5069-IF8	1	Cartão de 8 entradas analógicas
5069-RTB18-SREW	3	Bloco de conexão para cartões 5069 - 18 pinos
1783-US16T	1	Switch Stratix 2000 de 16 portas Ethernet
1734-AENTR	1	Adaptador ethernet para Point I/O
1734-IB8S	2	Cartão de 8 entradas digitais safety
1734-OB8S	2	Cartão de 8 saídas digitais safety
1734-TOP	8	Bloco de conexão para cartões 1734 - 8 pinos
20-750-ENETR	6	Módulo dual port ethernet para inversores 750

Fonte: IAB – Autor

2.7. Cabos de potência e comando

A norma NBR IEC 61439-1 (2016) estabelece que o “condutor neutro deve ser identificado conforme essa função, em caso de identificação por cor, deve ser usada a cor azul-clara", já para o condutor de proteção (PE) é determinado as cores verde-amarela ou a cor verde (cores exclusivas da função de proteção). Para os condutores de fase e de comando pode ser usada qualquer cor, somente observando que as cores azul-claro, verde e verde-amarelo são destinados somente aos condutores neutro (N) e de proteção (PE) (NBR IEC 61439-1; 2016).

Para a seção mínima dos condutores deve-se consultar a norma NBR 5410 para obter as informações necessárias (Figura 16).

Figura 16 - Tabela de seção mínima dos condutores

Tabela 47 — Seção mínima dos condutores[1)]

Tipo de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor mm^2 - material
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de iluminação	1,5 Cu 16 Al
		Circuitos de força[2)]	2,5 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu[3)]
	Condutores nus	Circuitos de força	10Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu
Linhas flexíveis com cabos isolados		Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento
		Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu[4)]
		Circuitos a extrabaixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu

[1)] Seções mínimas ditadas por razões mecânicas
[2)] Os circuitos de tomadas de corrente são considerados circuitos de força.
[3)] Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1 mm^2.
[4)] Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1 mm^2.

Fonte: NBR 5410, 2016, pag.113.

A Tabela 7 apresenta a corrente de projeto, os condutores de fase e de proteção (terra) juntamente com as suas características nominais.

Tabela 7 – Condutores para as partidas com inversor de frequência

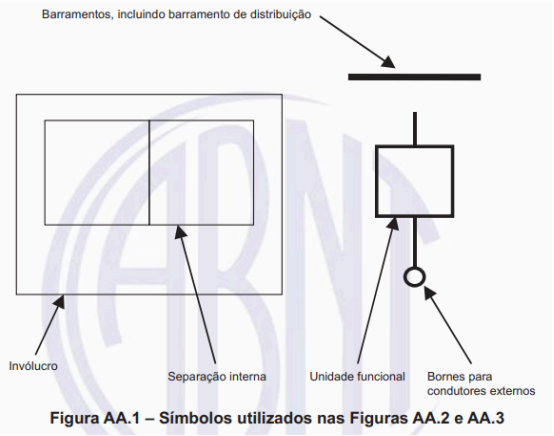
Partida	Corrente (A)	Condutores Fase	Condutores Terra
BAGP 1 - Motor Weg W22	37	10mm² - 90ºC - 1kV - Preto	10mm² - 90 Cº - 1kV - Verde
BAGP 2 - Motor Weg W22	37	10mm² - 90º - 1kV - Preto	10mm² - 90º - 1kV - Verde
BAGP 3 - Motor Weg W22	37	10mm² - 90º - 1kV - Preto	10mm² - 90º - 1kV - Verde
BAGP 4 - Motor Weg W22	37	10mm² - 90º - 1kV - Preto	10mm² - 90º - 1kV - Verde
BAGS 1 - Motor Weg W22	140	50mm² - 90º - 1kV - Preto	25mm² - 90º - 1kV - Verde
BAGS 2 - Motor Weg W22	140	50mm² - 90º - 1kV - Preto	25mm² - 90º - 1kV - Verde

Fonte: Autor, com base na NBR IEC 61439-1, 2016, pag.89.

2.8. Forma construtiva

A forma constritiva de um Painel define-se na separação interna entre as unidades funcionais (disjuntores, inversores, dispositivos de automação etc.), sistema de barramento de distribuição e a conexão para condutores externos (Figura 17).

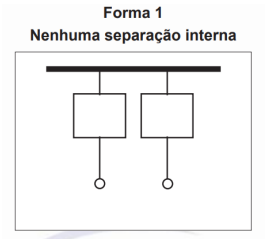
Figura 17 - Símbolos utilizados para forma construtiva



Fonte: NBR IEC 61439-2, 2016, pag.14.

Para o painel CCM CAG será utilizada a forma construtiva 1, em que não há separação ou compartimentação entre dispositivos, barramento de distribuição e conexões de saída (Figura 18).

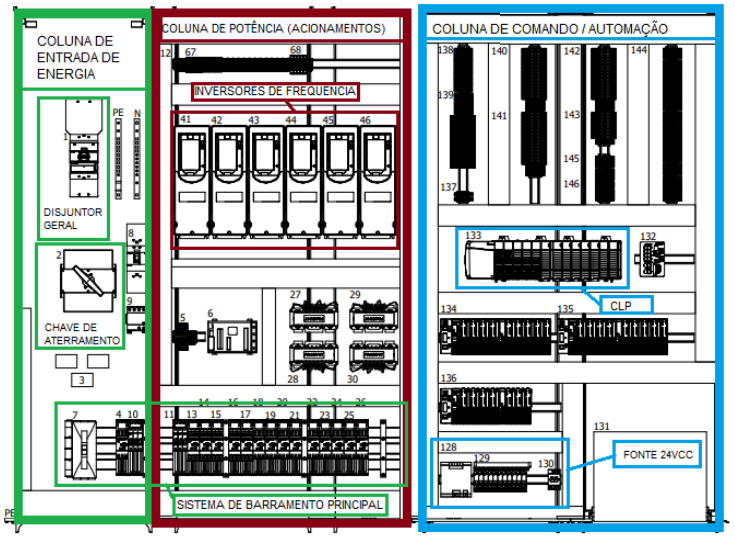
Figura 18 – Forma construtiva 1



Fonte: NBR IEC 61439-2, 2016, pag.4.

No desenvolvimento e elaboração do layout mecânico, é definido o local de instalação de cada componente, sendo identificados com a mesma tag do diagrama elétrico. O layout deverá ser desenvolvido levando em consideração a clareira (espaço necessário para ventilação) de cada componente, para não haver obstrução no sistema de ventilação interna dos componentes mais sensíveis. A diversas formas de elaborar um layout, uma delas é trabalhar com o painel CCM sendo dividido em 3 setores, sendo elas, entrada de energia, potência e comando/automação, assim temos uma separação no layout que facilita a manutenção e operação do painel, conforme imagem abaixo.

Figura 18 – Exemplo de layout mecânico para painel CCM



Fonte: Autor.

2.9. Climatização de painel

Os painéis devem ser providos de refrigeração natural e/ou refrigeração ativa (por exemplo, refrigeração forçada, climatização interna, trocador de calor etc.), para que assim seja mantido

uma temperatura do ar ambiente que não exceda +40 °C e a temperatura média por um período de 24 h não excede 35 °C (NBR IEC 61439-1, 2016).

Para calcular a climatização adequada será necessário obter a dissipação total do painel (Tabela 8), tipo de material que o invólucro será construído (Determinar o coeficiente de transferência térmica), espaço interno do painel e a temperatura ambiente no local de instalação do painel. Realizando o cálculo de climatização através da plataforma RiTherm, considerando 30º de temperatura externa, 40º de temperatura interna e uma dissipação térmica de 6628,8W, determinou-se uma vazão de ar necessária de 1899 m³/h, sendo assim o painel precisará de 4 conjuntos de ventilador e grelha (Figura 20 - 3244100+3243200).

Tabela 8 - Dissipação térmica Painel CCM CAG

Dispositivo	**Potência Dissipada (W)**
Inversor de Frequência 18,5kW	477
Inversor de Frequência 18,5kW	477
Inversor de Frequência 18,5kW	477
Inversor de Frequência 18,5kW	477
Inversor de Frequência 75kW	1558
Inversor de Frequência 75kW	1558
Estimativa para comando	500
Total	5524
Total +20%	6628,8

Fonte: Autor, com base no PowerFlex 750-Series AC Drives Bulletin Numbers 20G, 20J, 2022, pag. 86.

Imagem 20 - Ventilador Rittal

Descrição do produto

Nº do item:	SK 3244.100
Descrição do produto	Os ventiladores com filtro com tecnologia diagonal são mais resistentes à pressão e oferecem uma ventilação mais constante. O fluxo diagonal de ar assegura uma dissipação mais uniforme do calor de dentro do armário.
Cor	RAL 7035
Escopo de fornecimento	Unidade completamente pronta para instalação incluindo elemento filtrante de fibra sintética
Ventilador	Diagonal, 1~ motor do capacitor
Vazão de ar, circulação livre (com filtro de fibra sintética)	Com 50 Hz: 700 m³/h Com 60 Hz: 770 m³/h
Vazão de ar, circulação livre (com filtro plissado)	Com 50 Hz: 855 m³/h Com 60 Hz: 905 m³/h
Vazão de ar com filtro de saída incluindo elemento filtrante de fibra sintética (quantidade x código de referência)	1 x 3243200: 485/520 m³/h 2 x 3243200: 570/630 m³/h
Tensão nominal de serviço	230 V, 1~, 50 Hz/60 Hz
Potência nominal Pel	Com 50 Hz: 95 W Com 60 Hz: 135 W

Fonte: https://www.rittal.com/br-pt/products/PG0168KLIMA1/PGR1952KLIMA1/PRO0299?variantId=3244100

2.10. Grau de proteção:

O índice proteção (IP) irá determinar a eficiência do painel CCM contra corpos estranhos e água, este grau de proteção é abordado pela NBR IEC 60529 (2017), onde podemos seguir a tabela abaixo para um melhor entendimento.

Imagem 21 – Tabela do índice de proteção (IPXX)

1º NUMERAL	PROTEÇÃO	2º NUMERAL	PROTEÇÃO
0	Não protegido	0	Não protegido
1	Objetos sólidos maiores de 50mm	1	Quedas verticais de gotas d'água
2	Objetos sólidos maiores de 10mm	2	Quedas de gotas d'água para inclinação de 15º
3	Objetos sólidos maiores de 2,5mm	3	Água aspérgica
4	Objetos sólidos maiores de 1mm	4	Projeções de água de todas as direções
5	Poeira	5	Jatos d'água
6	Totalmente Protegido contra poeira	6	Protegido contra jatos potentes d'água
		7	Imersão
		8	Submersão
		9	Jatos de água de alta pressão e alta temperatura

Exemplo 6 5

IP 65

Fonte: https://accmetrologia.com.br/voce-sabe-o-que-e-grau-de-protecao-ip/.

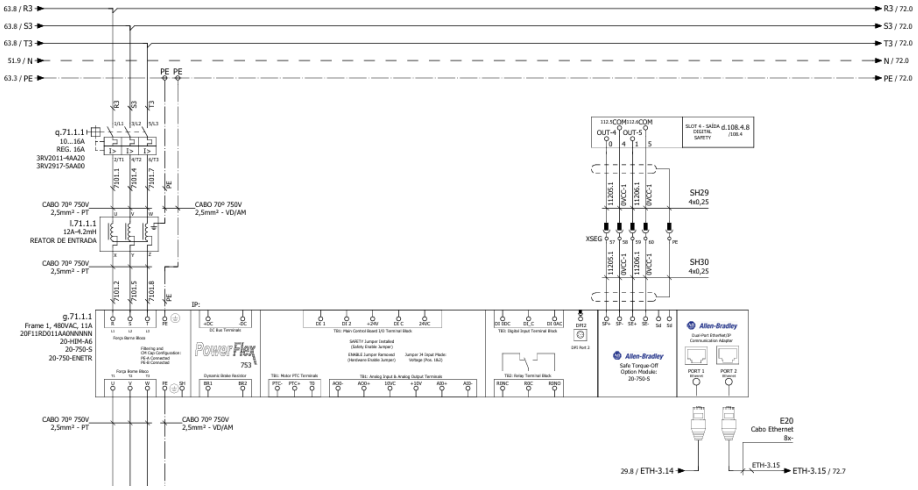
O grau de proteção do invólucro é determinado pela análise de todos os componentes fixados na parte externa do invólucro assim como o próprio invólucro do painel. O Armário a ser utilizado é o modelo TS8 da Rittal que garante um grau de proteção IP54, assim com o sistema de ventilação Rittal também garante IP54, com isso o painel CCM CAG poderá ser aplicado em ambiente com poeira e projeções de água de todas as direções.

2.11. Diagrama elétrico de painel CCM

Após a especificação dos componentes conforme descrito durante o decorrer deste projeto é possível elaborar o diagrama multifilar deste projeto, que deve conter a simbologia de todos os dispositivos e suas conexões, informando a seção transversal e cor de cada condutor, com anilhas e TAGs conforme necessário (Figura 22). O esquema pode ser elaborado em diversas ferramentas sendo as mais conhecidas EPLAN P8 e AutoCad.

As TAGs são etiquetas adesivas que identificam os componentes elétricos do painel, conforme solicita a norma NBR IEC 61439-1 (2016). As identificações para os cabos das conexões elétricas do painel (anilhas), são etiquetas fixadas nas extremidades dos cabos do painel.

Figura 22 – Exemplo de diagrama elétrico para painel CCM



Fonte: Autor.

3. Conclusão

No decorrer do desenvolvimento do projeto foi realizado a elaboração do diagrama multifilar e layout construtivo para o Painel CCM CAG, podendo ser acessado através de: https://github.com/douglaspsfho/Projeto-TCC.git.

Este trabalho apresentou a elaboração e desenvolvimento para realizar a especificação de componentes e forma construtiva de um painel elétrico CCM para controle e proteção de uma central de água gelada, com o objetivo de demonstrar o passo a passo no desenvolvimento de um projeto de painel. A indústria ainda possui muitos painéis fora de norma ou com especificações inadequadas, isso compromete o processo de fabricação tendo risco tanto para pessoas quanto financeiros, pois caso um dispositivo de proteção falhe pode comprometer um equipamento, parando uma linha de produção. O autor demonstrou que o projeto tem muitos procedimentos e análises, como tal, muitas melhorias podem ser feitas nesse projeto, tendo em vista a importância de um projeto de painel bem elaborado, garantindo segurança e confiabilidade no sistema que o painel irá controlar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTUS SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO S.A. **Painéis elétricos para controle de processos industriais. Altus, 2017**. Disponível em: https://www.altus.com.br/produto/22/paineis-quasar. Acesso em: 26 março 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR IEC 61439: Conjuntos de manobra e controle de baixa tensão**. Rio de Janeiro, 2016.

DEHN SE. **DEHNguard modular**. Disponível em: https://www.dehn-international.com/store/p/en-DE/F33274/dehnguard-m-fm-surge-arrester-?product=P33303 Acesso em: 19out. 2023

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **NR 10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade,** Brasília, 2019.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **NR 12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**, Brasília, 2019.

SENAI. **REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA**, São Caetano do Sul, 2023.

ROCKWELL. **PowerFlex 750-Series AC Drives Bulletin Numbers 20G, 20J**, 2022.

ROCKWELL. **PowerFlex 750-Series AC Drives Bulletin Numbers 20G, 20J**, 2022.

ROCKWELL. **Módulo opcional Safe Torque-Off PowerFlex Série 750**, 2017.

SCHNEIDER, **O que é a Automação Industrial?**. Disponível em: https://www.se.com/br/pt/work/products/industrial-automation-control/#:~:text=A%20Automa%C3%A7%C3%A3o%20Industrial%20%C3%A9%20o,de%20operar%20de%20forma%20aut%C3%B4noma. Acesso em: 20 agosto 2024.

SCHNEIDER, **Qual é a finalidade do PAC e do CLP?**. Disponível em: https://www.se.com/br/pt/work/services/field-services/industrial-automation/training-services/plc-training.jsp Acesso em: 20 agosto 2024.

SCHNEIDER, **Inversores de Frequência e Soft Starters**. Disponível em: https://www.se.com/br/pt/product-category/2900-inversores-de-frequ%C3%AAncia-e-soft-starters/ Acesso em: 25 setembro 2024.

SIEMENS. **Especificações Técnicas - Março/23. Versão: FEV/23**. Disponível em: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:57bea059-9c4f-43bd-a561-7ae6701fcb22/Fichas-tecnicas-COMPLETAS-FINAL-MAR23-net.pdf Acesso em: 18out. 2023

VOGEL-HEUSER, B.; HESS. **D. Guest editorial Industry 4.0-prerequisites and visions.** IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, 2016.

RITTAL – THE SYSTEM, **Catálogo 36. Super Control Automação, 2021**. Disponível em: https://supercontrolautomacao.com.br/wp-content/uploads/2021/07/Rittal_Catalogo_36_5_5420.pdf Acesso em: 05 março 2024.

WEG, **W22 IR3 Premium 1 cv 4P 80 3F 220/380 V 60 Hz IC411 - TFVE - B14D**. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-El%C3%A9tricos/Trif%C3%A1sico---Baixa-Tens%C3%A3o/Uso-Geral/W22/W22-/W22-IR3-Premium-1-cv-4P-80-3F-220-380-V-60-Hz-IC411---TFVE---B14D/p/11951129 Acesso em: 10 julho 2024.