

Otimização de Serviços Auxiliares de Comando e Controlo de Subestações Móveis - Estudo da inclusão de novos sistemas de alimentação

BRUNO RICARDO VIAGE GOMES

Julho de 2021

Otimização de Serviços Auxiliares de Comando e Controlo de Subestações Móveis

- Estudo da inclusão de novos sistemas de alimentação

Bruno Ricardo Viage Gomes



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2021

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE
- Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Bruno Ricardo Viage Gomes, Nº 1060348, 1060348@isep.ipp.pt

Orientação científica: Tiago Soares, tia@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2021

“Todas as máximas já foram escritas.
Resta apenas pô-las em prática.”
(Pascal)

Agradecimentos

A elaboração desta dissertação não teria sido possível sem o apoio e colaboração de várias pessoas, ao longo deste tempo, a quem quero expressar o meu sincero agradecimento.

Um eterno agradecimento aos meus avós por tudo o que fizeram por mim, pela pessoa que sou hoje e que sem eles tudo seria diferente. Aos meus irmãos e restante família bem como aos amigos que fui conquistando ao longo do meu percurso académico.

Um sincero obrigado à minha esposa, que esteve sempre ao meu lado com um apoio incondicional, mesmo nas alturas mais difíceis e aos seus pais.

Resumo

O crescente aumento da produção distribuída nos sistemas elétricos de energia, tem levado as concessionárias da rede elétrica a investir em meios de transformação de energia mais expeditos. O uso de Subestações Móveis (SMs) representa aqui um papel fundamental pela sua versatilidade e modo de funcionamento, seja para socorrer situações de falha de equipamentos na rede, seja como alternativa às subestações fixas convencionais ou mesmo para suprir necessidades pontuais de elevado consumo de energia.

O sistema de comando e controlo no qual se inclui a alimentação de todo o sistema de proteção assume aqui um papel fundamental. Com base nessa importância, torna-se imperativo a conceção e otimização deste sistema (por exemplo, pelo uso de novas fontes de alimentação), permitindo superar as necessidades de funcionamento de todo o sistema elétrico de uma subestação e do seu sistema SCADA. Neste sentido, a inclusão de fontes de alimentação alternativas e independentes são cruciais para um maior dinamismo, controlo, segurança, garantia de disponibilidade e fiabilidade de uma SM.

Neste contexto, esta dissertação promove um estudo aprofundado dos sistemas de comando e controlo de SMs, focando-se na conceção, desenvolvimento e otimização dos serviços auxiliares através da utilização de fontes de alimentação com base em energia renovável. Assim, este estudo compreende a conceção e otimização detalhada do projeto elétrico de comando e controlo de uma SM.

Complementarmente ao estudo técnico, esta dissertação oferece um estudo de validação económica do potencial impacto das fontes de energia renovável nas SMs. O estudo de caso considera a implementação de dois módulos de energia renovável, um sistema fotovoltaico e um sistema eólico, que permitem suprir as necessidades de alimentação de todos os equipamentos elétricos da SM, incluindo os próprios IEDs e sistema SCADA. Vários cenários de exploração que permitem aferir quais os que apresentam maior valia e melhor tempo de retorno de investimento são considerados, tendo em conta o tipo de funcionamento da SM e a sua importância em garantir a fiabilidade do sistema elétrico.

Estes cenários contemplam a operação contínua da SM, intermitente e a modalidade de aluguer. A sua utilização pode ser feita tendo por base a utilização independente ou conjunta de unidades FER para autoconsumo ou conectados à rede. Por comparação com as unidades renováveis é apresentado um cenário comum gerador a diesel para autoconsumo.

De realçar que apesar do investimento inicial elevado numa SM, este é um investimento rentável, para utilizações mínimas de pelo menos 3 meses por ano. O investimento em módulos FER torna-se fundamental do ponto de vista de aumentar os níveis de autossuficiência de alimentação dos serviços auxiliares, contribuindo para uma maior fiabilidade da SM.

Palavras-Chave

Subestação Móvel, Comando e Controlo, Circuitos Auxiliares, Sistemas Renováveis.

Abstract

The growing increase of distributed production in electric power systems has made the electric utility companies to invest in more expeditious means of energy transformation. The use of mobile substations (SMs) represents a fundamental role for its versatility and mode of operation, whether to help situations of equipment failure/outages in the network, either as an alternative to conventional fixed substations or even to meet specific needs for high energy consumption.

The command and control system, which includes the supply of the entire protection system, plays a crucial role here. Based on this importance, it is imperative to design and optimize this system (for example, by using new power sources), allowing to overcome the need to operate the entire electrical system of a substation and its SCADA system. In this way, the inclusion of alternative and independent power sources is crucial for greater dynamism, control, safety, guarantee of availability and reliability of a mobile substation.

This dissertation promotes an in-depth study of SMs command and control systems, focusing on the design, development and optimization of auxiliary services through the use of renewable energy-based power supplies. Thus, this study comprises the detailed design and optimization of the electric control and control design of an SM.

In addition to the technical study, this dissertation offers a study of economic validation of the potential impact of renewable energy sources on SMs. The case study considers the implementation of two renewable energy modules, a PV system and a Wind system, which make it possible to supply the power needs of all SM electrical equipment, including the IEds themselves and the SCADA system.

The technical-economic study presents several operating scenarios assessing which have the highest value, best return and payback time, taking into account the type of operation of the SM and its importance in ensuring the reliability of the electrical system.

These scenarios include the continuous operation of SM, intermittent and renting modes. Independent and joint use of RES units in the SM for self-consumption or

connected to the grid are considered. The diesel generator for self-consumption is also presented in comparison with the renewable units.

It should be noted that despite the high initial investment in an SM, this is a profitable investment, for minimum uses of at least 3 months per year. The investment in RES modules is fundamental from the point of view of improving self-sufficiency levels, contributing to the better reliability of SM.

Keywords

Mobile Substation, Command and Control, Auxiliary Circuits, PV Systems, Wind System.

Índice

Agradecimentos	vii
Resumo	ix
Abstract	xi
Índice.....	xiv
Índice de Figuras.....	xvii
Índice de Tabelas	xx
Abreviaturas.....	xxii
Nomenclatura.....	xxiv
1 Introdução	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Subestações e a sua funcionalidade.....	3
1.2.1 Módulo de Alta Tensão.....	3
1.2.2 Módulo Transformador de Potência	5
1.2.3 Módulo de Média Tensão	7
1.3 Objetivos	8
1.4 Organização da Dissertação	9
2 Comando e Controlo - circuitos de alimentação auxiliar.....	11
2.1 Comando e Controlo de Subestações Móveis	11
2.2 Importância dos Circuitos Auxiliares de Alimentação	13
2.3 Sistemas de Alimentação DC existentes	14
2.4 Sistemas Externos de alimentação	16
2.4.1 Sistemas a diesel	17
2.4.2 Sistemas baseados em energia renovável	20
2.4.3 Interligação entre sistemas.....	23

3	Desenvolvimento do projeto	27
3.1	Visão Elétrica Geral de uma Subestação Móvel	27
3.1.1	Descrição do módulo AT	28
3.1.2	Descrição do módulo TP	29
3.1.3	Descrição do módulo de células MT	30
3.2	Visão Detalhada dos circuitos de alimentação	31
3.2.1	Interligação do TSA ao Barramento CA	32
3.2.2	Interligação de Fontes externas ao Barramento CA	34
3.2.3	Carregador de Baterias (Inversor CA/CC) – Circuito CC	37
3.3	Conceção de circuitos de alimentação com módulos FER	39
3.3.1	Sistema Modular Solar PV	40
3.3.2	Sistema Modular Eólico	41
3.3.3	Interligação e seleção dos módulos FER	42
4	Estudo económico da utilização de módulos FER	43
4.1	Caracterização das FER aplicadas nas SMs	43
4.2	Avaliação técnico-económica do projeto	46
4.2.1	Indicadores de viabilidade financeira	46
4.2.2	Impacto energético na subestação	49
4.2.3	Impacto económico	50
4.3	Avaliação do impacto das FER numa SM	70
4.4	Comparação técnico-económica	71
5	Conclusões	73
5.1	Principais Conclusões	73
5.2	Perspetivas de Trabalho Futuro	75
6	Referências Bibliográficas	77

Anexo A	81
Anexo B	83
Anexo C	85

Índice de Figuras

Figura 1.1. Colocação em serviço de uma SM [6].....	3
Figura 1.2. Módulo de Alta Tensão com Switchgear incorporado [8].	4
Figura 1.3. Esquema unifilar de <i>Switchgear</i> PASS [9].....	4
Figura 1.4. Exemplo de módulo TP [8].	5
Figura 1.5. Módulo de Celas de Média Tensão [11].....	7
Figura 1.6. Diagrama unifilar Celas MT (Adaptado de [12]).	8
Figura 2.1. Armário de Relés de proteção [15].....	12
Figura 2.2. Armário de distribuição [16].	12
Figura 2.3. Diagrama Serviços de alimentação auxiliar(adaptado de[20]).....	14
Figura 2.4. Diagrama simplificado circuito carregador e baterias (adaptado de [17]).	15
Figura 2.5. Baterias típicas para sistemas de alimentação em SMS[24].	16
Figura 2.6. Esquema tipo de alimentação via TSA (adaptado de [14]).	17
Figura 2.7. Esquema tipo de alimentação via TSA ou Gerador (adaptado de [14]).	18
Figura 2.8. Gerador a diesel para aplicação de interior (adaptado de [25]).....	19
Figura 2.9. Gerador a diesel para aplicação de exterior [25].	19
Figura 2.10. Disposição Módulo Gerador Contentorizado [26].	20
Figura 2.11. Instalação do Módulo Gerador na rede [26].	20
Figura 2.12. Configuração típica de interligação de painéis PV com armazenamento (adaptado de [27]).	21
Figura 2.13. Sistema PV móvel [28].....	22
Figura 2.14. Esquema típico de interligação de sistema eólico com armazenamento (adaptado de [27]).	22

Figura 2.15. Sistema eólico em transporte [29].	23
Figura 2.16. Sistema eólico em serviço [29].	23
Figura 2.17. Possível sistema de interligação com gerador e energias renováveis no barramento DC.	25
Figura 2.18. Interligação de fontes renováveis na alimentação de barramentos AC/DC.	25
Figura 3.1. Diagrama Geral da Subestação Móvel.	28
Figura 3.2. Diagrama unifilar parcial, Módulo AT com PASS.	29
Figura 3.3. Diagrama unifilar parcial, Módulo TP.	30
Figura 3.4. Diagrama unifilar parcial, Módulo Celas MT.	31
Figura 3.5. Visão geral do circuito de alimentações de uma SM.	32
Figura 3.6. Simulação da distribuição de cargas para dimensionamento do TSA.	33
Figura 3.7. Representação Multifilar do TSA.	34
Figura 3.8. Interligação entre TSA e barramento principal	34
Figura 3.9. Representação unifilar das fontes de alimentação externas (alternativas).	35
Figura 3.10. Esquema multifilar de alternância e monitorização de fontes.	36
Figura 3.11. Circuito interno de comando e controlo do gerador.	36
Figura 3.12. Alimentação barramento CC.	38
Figura 3.13. Representação multifilar da interligação do carregador de baterias e do banco de baterias.	39
Figura 3.14. Esquema de modulo Solar PV.	40
Figura 3.15. Esquema de Modulo eólico.	41
Figura 3.16. Interligação dos módulos FER ao barramento geral da SM.	42
Figura 4.1. Apresentação das cargas de maior relevo.	49

Figura 4.2. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback.	53
Figura 4.3. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback.	55
Figura 4.4. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 3.	57
Figura 4.5. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 4.	60
Figura 4.6. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 5.	62
Figura 4.7. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 6.	63
Figura 4.8. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 7.	65
Figura 4.9. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 8 (a 1 mês).....	67
Figura 4.10. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 8 (a 3 meses).	68
Figura 4.11. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 9.....	70
Figura 4.12. Comparação do impacto das FER numa SM.....	71
Figura 4.13. Comparação Payback vs TIR dos cenários.	72
Figura 4.14. Comparação ROI vs TIR dos cenários.	72

Índice de Tabelas

Tabela 3.1. Características elétricas de consumo, circuito do PASS.....	29
Tabela 4.1. Informação técnica a considerar para o estudo a realizar.	45
Tabela 4.2. Consideração de cenários para cálculo Económico.	50
Tabela 4.3. Dados de estudo do cenário 1.	51
Tabela 4.4. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 1.....	52
Tabela 4.5. Dados de estudo do cenário 2.	53
Tabela 4.7. Dados de estudo do cenário 3.	55
Tabela 4.8. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 3.....	57
Tabela 4.9. Dados de estudo do cenário 4.	58
Tabela 4.10. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 4.....	59
Tabela 4.11. Dados de estudo do cenário 5.	61
Tabela 4.12. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 5.....	61
Tabela 4.13.Dados de estudo do cenário 6.	62
Tabela 4.14. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 6.....	63
Tabela 4.15. Dados de estudo do cenário 7.	64
Tabela 4.16. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 7.....	64
Tabela 4.17. Dados de estudo do cenário 8	65
Tabela 4.18. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 8 (a 1 mês).....	66
Tabela 4.19. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 8 (a 3 meses).	67
Tabela 4.20. Dados de estudo do cenário 9.	69
Tabela 4.21. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 9.....	69

Abreviaturas

Notação		Descrição
AC	–	<i>Alternate Current</i> (Corrente alternada)
AT/MT	–	Alta Tensão/Média Tensão
CAPM	–	<i>Capital Assests Pricing Model</i>
DC	–	<i>Direct Current</i> (Corrente contínua)
ERSE	–	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
FER	–	Fontes de Energia Renovável
IEDs	–	<i>Intelligent Electronic Devices</i>
LV/MT	–	<i>Low Voltage/Medium Voltage</i>
MPPT	–	<i>Maximum power point tracking</i>
ODAF	–	Óleo Direcionado, Ar Forçado
OMIE	–	Operador do Mercado Ibérico de Eletricidade
ONAF	–	Óleo Normal, Ar Forçado
PASS	–	<i>Plug and Switch System</i>
PV	–	<i>Photovoltaic</i>
ROI	–	<i>Return Over Investment</i>
SCADA	–	Supervisory Control And Data Acquisition
SM	–	Subestação Móvel
TC	–	Transformador de Corrente
TIR	–	Taxa Interna de Rentabilidade
TSA	–	Transformador de Serviços Auxiliares
TT	–	Transformador de Tensão
VAL	–	Valor Atual Líquido
VOLL	–	<i>Value Of Lost Load</i>
VPL	–	Valor Presente Líquido
WACC	–	<i>Weighted Average Cost of Capital</i>

Nomenclatura

Notação		Descrição
$E_{fornecida,m}$	-	Energia fornecida no mês 'm' em kWh
FC	-	Fluxo de caixa
FC_i	-	Fluxo de caixa no ano i
i	-	Período de cada investimento
I	-	Investimento
n	-	Período final do investimento
$OMIE_m$	-	Média aritmética simples dos preços de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal (mercado diário), relativos ao mês 'm', em €/kWh
P_n	-	Potência nominal
$R_{UPAC,m}$	-	Remuneração da eletricidade fornecida à rede no mês 'm', em €
t	-	Taxa de desconto

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

Por ser uma solução compacta e flexível, a utilização de Subestações Móveis (SMs) pelos utilitários finais está em expansão. Estas são usadas principalmente em situações de emergência, quando as subestações convencionais não podem ser usadas ou não podem ficar online tão rapidamente quanto necessário [1].

Os fatores que impulsionam a procura por SMs são o custo, economia de tempo, flexibilidade e fácil instalação [2]. Além disso, uma Subestação Móvel (SM) é uma solução montada num reboque e, portanto, pode ser instalada num espaço limitado e também pode ser facilmente deslocada sem dificuldade. No entanto, a sua manutenção é muito importante, pois qualquer pequena falha pode causar sérios distúrbios, pois a disponibilidade imediata de conhecimento técnico é extremamente difícil.

As Subestações Móveis funcionam como um *backup* para resposta a desastres, o que pode garantir um fornecimento de energia rápido e uma recuperação mais rápida durante um incidente/interrupção de energia. Outros fatores como, a sua mobilidade, o curto tempo de comissionamento e não ser necessário requisitos de obra civil, são fatores que impulsionam o crescimento do segmento de produtos de SM no mercado

global[3]. Estas são instaladas em todo o mundo, da indústria e infraestruturas aos operadores de rede.

Com o aumento da população, a crescente demanda por energia em áreas urbanas tem atraído as concessionárias a expandir a sua rede de abastecimento. As SMs são a solução ideal para esta demanda [4].

A Subestação Móvel não é uma solução standard, mas sim uma solução customizada à medida do cliente/utilizador final, tendo por base os requisitos internos da entidade interessada neste produto, requisitos da rede onde será interligada a subestação, bem como requisitos que cumpram com as normativas de cada país de destino. Uma SM não é mais que um conjunto alargado de equipamentos de Proteção, Transformação, Comando, Medida e Seccionamento disposto em cima de uma unidade móvel que lhe confere a mobilidade/agilidade de intervenção na rede, que uma subestação convencional não possui.

O Comando e Controlo está na base de todo o sistema elétrico de uma SM, é através deste que parte a alimentação de todos os equipamentos de Proteção e Medida, Circuitos de alimentação AC e DC, Circuitos de Comando e Controlo AT/MT, Circuitos de Alarmes e Disparos e Circuito de comunicações. Sem a alimentação e controlo destes circuitos seria impossível colocar em pleno funcionamento uma SM.

A maioria dos circuitos de comando e controlo, bem como a alimentação dos próprios motores que permitem manobrar Seccionadores e Disjuntores AT/MT, operam através de fontes de corrente continua [5].

Neste contexto, esta dissertação debruça-se no estudo aprofundado da importância dos sistemas de comando e controlo no caso específico de Subestações Móveis, bem como no desenvolvimento de métodos de otimização dos seus serviços auxiliares através da utilização de fontes de alimentação com base em energia renovável. Para além disso, o estudo compreenderá a conceção e otimização detalhada do projeto elétrico de comando e controlo de uma SM.

Dada a grande importância dos circuitos auxiliares DC no correto funcionamento de uma SM, o resultado final culminará numa análise técnica com potencialidade económica de uma subestação móvel, quanto à implementação de um módulo de energia

renovável (por exemplo, PV) que permita suprir as necessidades de alimentação de todos os equipamentos elétricos incluindo os próprios IEDs e sistema SCADA.

1.2 SUBESTAÇÕES E A SUA FUNCIONALIDADE

As subestações podem ter várias configurações, mediante o tipo de requisitos pretendidos por cliente e a finalidade a que se destina. Neste sentido, será aqui demonstrado de forma geral quais os seus principais constituintes, tendo por base um sistema constituído por Módulo AT (Alta Tensão), Módulo TP (Transformador de Potência) e Módulo MT (Média Tensão).

Após a sua construção e ensaios funcionais em fábrica, a SM é enviada para o cliente e colocada em serviço por técnicos especializados, cumprindo assim com os requisitos e necessidades específicas do cliente e da rede onde é interligada. A Figura 1.1 representa a colocação em serviço de uma SM modular.

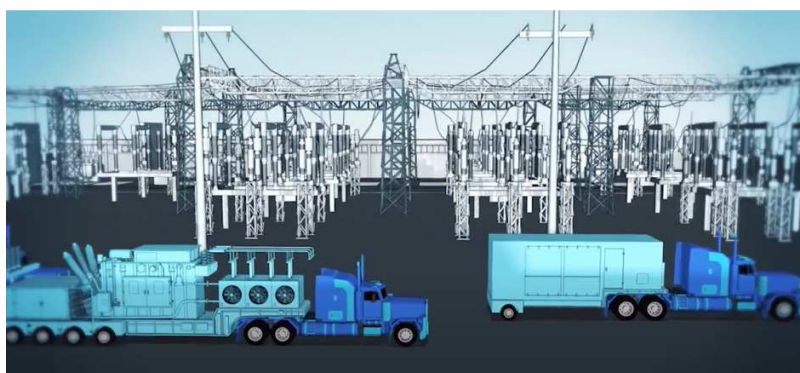


Figura 1.1. Colocação em serviço de uma SM [6].

1.2.1 MÓDULO DE ALTA TENSÃO

Os Módulos de Alta Tensão (módulo AT) têm como objetivo principal o corte e proteção de todos os equipamentos que se situam a jusante do mesmo. Estes módulos são constituídos na sua maioria por Seccionadores AT ou por sistemas híbridos que permitam agregar num só módulo, Seccionadores de Linha e Terra, Interruptor, Transformadores decorrente e tensão [7]. Um exemplo gráfico de um módulo AT e seus principais componentes é ilustrado na Figura 1.2.



Figura 1.2. Módulo de Alta Tensão com Switchgear incorporado [8].

O equipamento principal deste módulo AT é denominado pelo fabricante como *Switchgear PASS (Plug and Switch System)*, tratando-se de um equipamento de distribuição compacto que comporta os seguintes componentes (ilustrados no diagrama unifilar da Figura 1.3:

- a) Disjuntor AT - item 152;
- b) Seccionador de linha e terra - itens 189L e 189T;
- c) Transformadores de Tensão - item VT;
- d) Transformadores de Corrente - itens 1 a 4;
- e) Motor (opcional).

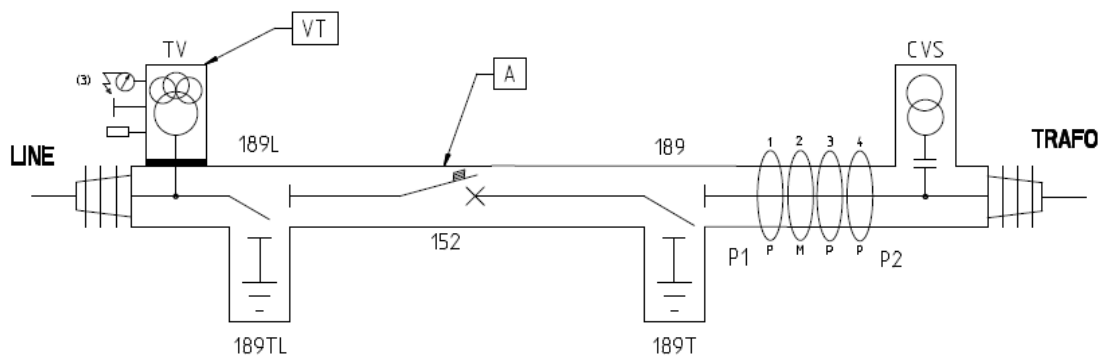


Figura 1.3. Esquema unifilar de Switchgear PASS [9].

1.2.2 MÓDULO TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA

No sistema de energia, desde a produção até à utilização, diferentes níveis de tensão são impostos por considerações de ordem económica e de segurança. Para realizar a transição entre os níveis de tensão na transmissão de energia, são usados TPs. Estes realizam a sua função com rendimentos elevados e são fabricados com inúmeras capacidades. Por se tratar de um elemento dispendioso, é imperativo que a sua escolha seja bem ponderada, em que a relação capacidade necessária / custo / fator de evolução de carga assume uma importância determinante. A construção de um TP para uma SM difere dos construídos para subestações convencionais. A potência do transformador está diretamente ligada ao seu peso, fator preponderante no caso das SM.

Os transformadores são constituídos por enrolamentos separados, em cobre, e imersos em óleo mineral. Com o transformador em funcionamento, tanto os enrolamentos como o respetivo óleo de refrigeração, são sujeitos a uma elevação de temperatura, acima da temperatura ambiente. O bom funcionamento do transformador e o seu tempo de vida útil estão diretamente associadas à temperatura de funcionamento. No caso específico das SM, está sempre presente um regime de refrigeração forçada. Estas máquinas são fabricadas para funcionar em regime ONAF (Óleo Normal, Ar Forçado) ou em regime ODAF (Óleo Direcionado, Ar Forçado). Na Figura 1.4, pode-se observar uma SM com um transformador em regime ODAF, caracterizado pela utilização de bombas e aeroventiladores. A função das bombas passa por direcionarem o óleo da cuba do TP para os aeroventiladores onde o mesmo é arrefecido e reenviado novamente para o TP.

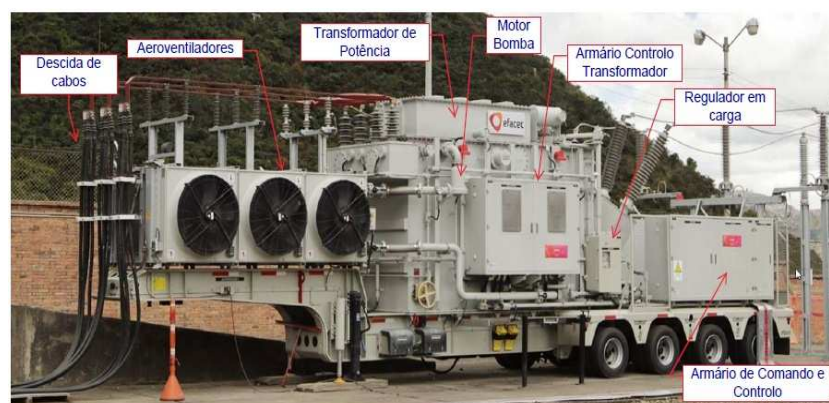


Figura 1.4. Exemplo de módulo TP [8].

O TP é ainda constituído por um conjunto de equipamentos de monitorização que permitem aos operadores da subestação verificarem em tempo real o estado de operação do TP. Estes equipamentos de monitorização são na sua maioria os abaixo indicados[10]:

- a) Níveis de óleo – Permitem sinalizar visualmente e eletricamente o nível de óleo do TP. Envia alertas de nível de óleo, por exemplo, baixo e alto;
- b) Termómetros para medição de temperatura do óleo – Permitem sinalizar visualmente e eletricamente a temperatura do óleo do TP de acordo com os valores parametrizados de temperatura definidos para a máquina;
- c) Termómetros para medição de temperatura de enrolamentos (Imagem Térmica) – Monitorizam de forma visual e elétrica a temperatura dos enrolamentos do TP. Denomina-se imagem térmica, pois reproduz indiretamente a temperatura do enrolamento, ou seja, a parte mais quente do transformador. Resumidamente corresponde à temperatura do óleo acrescida da sobrelevação da temperatura do enrolamento (t) em relação ao óleo;
- d) Válvula de descompressão – É um dispositivo de alívio de pressão, com a finalidade de proteger contra possíveis deformações ou rutura do tanque, em casos de defeito interno, com aparecimento de pressão elevada.
- e) Relé de pressão rápida – Trata-se de um equipamento de proteção que visa detetar variações rápidas de pressão no centro do tanque. Normalmente, é montado numa das paredes laterais do tanque do TP, no espaço entre o nível máximo do líquido isolante e a tampa. Este atua quando ocorrem defeitos no TP, que produzem pressão interna anormal, a sua operação é ocasionada somente pelas mudanças rápidas da pressão interna, independentemente da pressão de operação do transformador;
- f) Relés de fluxo de óleo – Trata-se de um equipamento que permite verificar a circulação de óleo na tubagem de interligação entre a cuba do TP e os aeroventiladores.

Com base nestes equipamentos de monitorização e proteção, são gerados alarmes e disparos que por sua vez são direcionados eletricamente até ao armário de Comando e Controlo [10].

A solução aqui apresentada é também designada por Semirreboque do Transformador, sendo o TP o equipamento principal e do qual fazem parte os acessórios anteriormente descritos, bem como toros de corrente e o regulador em carga que tem como função a regulação do nível de tensão da AT do transformador. No mesmo semirreboque são ainda instalados os armários de comando e controlo, os para-raios, as travessias e as descidas de cabo por fase.

1.2.3 MÓDULO DE MÉDIA TENSÃO

Os Módulos de Média Tensão (módulo MT) têm como objetivo principal o corte e proteção de todos os equipamentos que se situam a jusante do mesmo, no entanto neste ponto do sistema já não é possível fazer a proteção ao TP. Estes módulos são constituídos na sua maioria por disjuntores de MT ou por um conjunto modular de celas de MT que permite ao utilizador final ter mais que uma saída, como ilustrado na Figura 1.5.



Figura 1.5. Módulo de Celas de Média Tensão [11].

O módulo de celas MT é visto como um conjunto de dispositivos capaz de interromper e proteger os diferentes elementos do sistema. Mais precisamente, as celas são utilizadas para isolar equipamentos em falha, dividir grandes redes em secções para facilitar reparações, reconfigurar redes de forma a restaurar o fornecimento de energia e controlar outros equipamentos. As celas tomam assim um papel de grande importância no controlo das redes elétricas de energia.

Estes módulos de celas são aplicados na distribuição secundária, desde a produção de energia elétrica, através da produção distribuída (por exemplo, eólica, fotovoltaica, entre outras) até às redes de distribuição públicas ou privadas (indústria, serviços e outras aplicações).

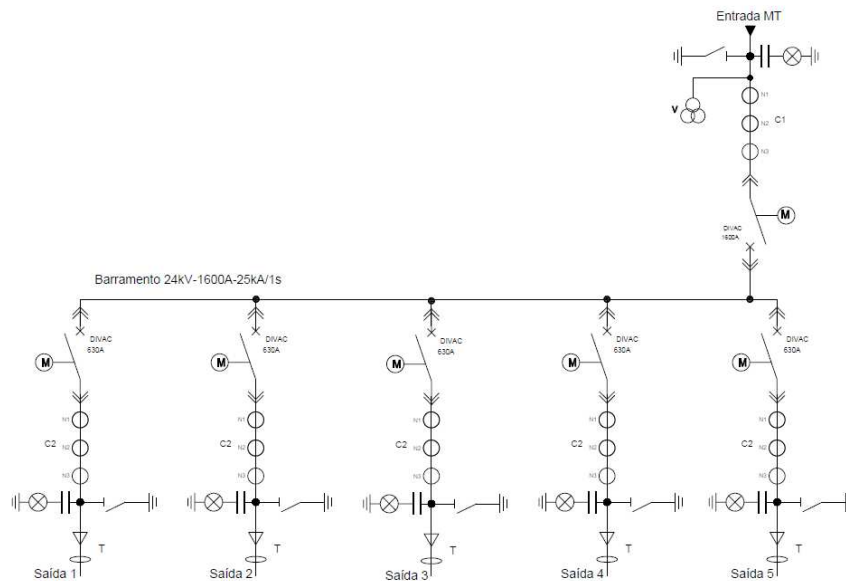


Figura 1.6. Diagrama unifilar Celas MT (Adaptado de [12]).

A Figura 1.6 representa um diagrama unifilar comum para um conjunto de 5 células de MT de 24 kV com saídas individuais e uma entrada que pode ser conectada a uma linha MT de 24kV. Cada cela de entrada ou saída poderá ter um disjuntor geral, toros de corrente para medida e proteção, transformadores de tensão e seccionadores de terra. Cada cela é comandada de forma independente através de relés de proteção que permite a medição das correntes, tensões, estados de disjuntores e seccionadores, bem como a abertura e fecho de cada um localmente e/ou remotamente.

1.3 OBJETIVOS

A crescente procura dos operadores de sistema por flexibilidade de operação, quer em contextos de operação contínua ou de emergência na rede elétrica, tem vindo a expor a importância e relevância da utilização de SMs. A versatilidade e solução modular das SMs torna-as capazes de atender às necessidades do sistema elétrico, permitindo realizar uma ajuda crucial não só na crescente demanda de energia como também no suprimento de dificuldades e situações de emergência que ocorrem na rede elétrica. Com o avanço da tecnologia e a aposta crescente dos operadores de sistema neste tipo de produto, torna-se crucial a procura por novas fontes auxiliares de alimentação que permitam garantir uma maior fiabilidade do Comando e Controlo das SMs.

Neste contexto, esta dissertação visa contribuir para a modernização dos Circuitos auxiliares de Comando e Controlo das SMs, tendo como principal objetivo a inclusão de sistemas de fontes renováveis, como fontes auxiliares de alimentação, nas SMs. Neste sentido, os objetivos específicos definidos para esta dissertação englobam:

- a) Análise aprofundada dos sistemas de Comando e Controlo das SMs;
- b) Desenvolvimento e configuração dos serviços auxiliares de uma SM através da utilização de fontes de alimentação com base em energia renovável;
- c) Conceção e desenvolvimento detalhado do projeto elétrico de comando e controlo de uma SM;
- d) Análise técnico-económica da aplicação de módulo fotovoltaico e ólico incorporado no sistema elétrico de uma SM.

1.4 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação encontra-se organizada em cinco capítulos. Além do presente capítulo introdutório, a estrutura desta dissertação inclui quatro outros capítulos descritos de seguida.

O capítulo 2 fornece uma revisão detalhada da literatura do Comando e Controlo de SMs com especial foco na relevância e importância dos circuitos auxiliares de alimentação. São apresentados os módulos fotovoltaicos existentes, tipo de controlo necessário e a sua integração em sistemas com elevada necessidade de alimentação de cargas DC e AC.

O capítulo 3 apresenta a conceção e desenvolvimento do projeto elétrico de uma SM e a integração de fontes de alimentação alternativas aos já habituais transformadores de serviços auxiliares ou alimentação da rede interna de cliente.

O capítulo 4 apresenta um estudo técnico-económico da utilização de sistemas fotovoltaicos e eólicos nos circuitos auxiliares das subestações móveis. Afere-se a vantagem que estes sistemas poderão dar ao cliente final não só por se tratar de recursos por fonte de energia renovável, mas também por contribuir para a autossuficiência dos circuitos de alimentação das SMs.

O capítulo 5 apresenta as conclusões mais importantes que resultaram do trabalho desenvolvido, onde são sugeridas novas ideias para trabalhos futuros e que pretendem de

alguma forma contribuir para o avanço desta tecnologia e para a sua integração com micro-redes internas às SMs.

2 COMANDO E CONTROLO - CIRCUITOS DE ALIMENTAÇÃO AUXILIAR

2.1 COMANDO E CONTROLO DE SUBESTAÇÕES MÓVEIS

Atualmente as subestações usam sistemas de automação avançados, responsáveis pela proteção, comando e controlo da rede e monitorização dos seus circuitos internos. Tal facto implica um eleva do número de condutores a instalar entre os equipamentos de potência (sistema primário) e os equipamentos constituintes do sistema de automação (sistema secundário) [13].

O Comando e Controlo de SMs desempenha um papel fundamental no correto funcionamento e manobra das mesmas. Estas podem atender a cargas críticas, como hospitais, grandes complexos industriais, instituições públicas, escolas ou até mesmo grandes blocos de carga onde os requisitos de fiabilidade da subestação são elevados. Algumas subestações estão conectadas a centrais de energia, desta forma uma falha da

SM pode resultar na retirada de serviço da central e levar a uma perda da receita com a produção de energia [14].

O Comando e Controlo está centralizado em um ou mais armários de comando onde estão situados os seguintes equipamentos e circuitos auxiliares [14]:

- a) Carregador de Baterias;
- b) Relés de proteção e supervisão;
- c) Fontes de alimentação e conversores AC/DC;
- d) Cargas do transformador de potência (sistema de arrefecimento, ventilação, bombas de óleo, regulador em carga, etc);
- e) Cargas dos disjuntores e seccionadores AT e MT (controlo, motor, etc);
- f) Circuitos de aquecimento e ventilação interna dos armários;
- g) Circuitos de alarmes, disparos, comunicações e controlo de equipamentos.



Figura 2.1. Armário de Relés de proteção [15].



Figura 2.2. Armário de distribuição [16].

Conforme apresentado na Figura 2.1 e Figura 2.2, os armários de Comando e Controlo são parte integrante da SM, neles estão concentrados os circuitos de controlo e monitorização das SMs. No caso de um seccionador ou disjuntor AT/MT, existindo armário de comando apropriado, o comando destes é sempre duplicado para o armário de comando e controlo para assim permitir ao utilizador da SM operar a mesma a partir de um único ponto. A localização dos mesmos e a sua dimensão é sempre um aspeto importante, pois necessitam sempre de um estudo prévio, em que é tido em consideração todos os equipamentos a utilizar dentro de cada armário.

2.2 IMPORTÂNCIA DOS CIRCUITOS AUXILIARES DE ALIMENTAÇÃO

A maioria das subestações, possuem fontes de alimentação auxiliares AC e DC. A alimentação AC é necessária para diversos circuitos, tais como, iluminação, aquecimento e ventilação, alguns equipamentos de comunicação, mecanismos de operação de disjuntores, sistemas de aquecimento e motores. A alimentação DC por sua vez é usada para alimentar serviços essenciais como bobines de abertura e fecho de disjuntores e seccionadores e os relés associados a estes, controlo de supervisão e aquisição de dados (SCADA) e equipamentos de comunicação [17].

As SMs contêm equipamentos dispendiosos, como Transformadores de Potência (TP), Transformadores de Tensão (TT), Transformadores de Corrente (TC) e sistemas de arrefecimento importantes para a operação do TP. Estes equipamentos são cruciais e necessitam que se garanta a sua alimentação e monitorização, como tal é normal o uso de uma fonte de alimentação backup que permita garantir o seu funcionamento. Da mesma forma, os relés de proteção ou outros equipamentos de controlo localizados em áreas em que a temperatura exterior pode atingir valores elevados, podem exigir uma operação contínua de um sistema de refrigeração e uma segunda fonte de alimentação. Os esquemas de comando e controlo implementados separadamente, podem servir para mitigar a probabilidade de danos nestes equipamentos [18].

Os equipamentos da SM são normalmente alimentados a partir de um enrolamento auxiliar do TP ou através de um Transformador Serviços Auxiliar (TSA) que permite baixar a tensão de MT do secundário do TP para uma tensão de Baixa Tensão (BT) [19], disponível aos terminais do TSA e que no caso da rede elétrica portuguesa são os 230/400V. No caso de inexistência de TSA, os circuitos auxiliares de alimentação poderão ser garantidos através de uma rede interna onde está instalada a SM ou através de módulos externos, como é o caso de geradores a diesel modulares, bancos de baterias e retificadores ou sistemas modulares PV.

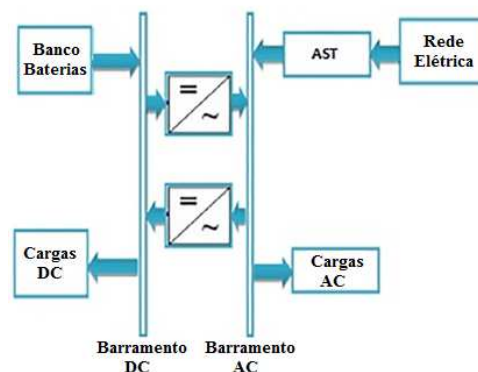


Figura 2.3. Diagrama Serviços de alimentação auxiliar(adaptado de [20]).

A Figura 2.3 representa aqui um sistema de barramentos AC e DC simples onde se pode verificar o tipo de conexões básicas existentes num barramento de uma SM e a possibilidade de ambos os barramentos serem realimentados de forma bidirecional, caso uma das fontes AC ou DC deixe de funcionar.

O projeto de um sistema auxiliar de alimentação deve ter em consideração todas as cargas que constituem a SM, para que o sistema seja projetado corretamente e de forma a garantir a sua fiabilidade. A obtenção de dados técnicos fidedignos e a utilização das regras de dimensionamento são fatores importantes para o correto funcionamento dos circuitos auxiliares de alimentação.

O dimensionamento do circuito deve atender aos requisitos funcionais de cada carga que constitui o sistema. Cada carga deve ser avaliada de forma independente, caracterizando a mesma de acordo com a sua função e importância. A análise da carga deve ser feita de acordo com os seguintes parâmetros [21]:

- a) Características físicas: Dados sobre comprimento de cabos, requisitos especiais de carga e localização de barramentos e equipamentos em geral;
- b) Níveis de carga: Potência de equipamentos, fatores de potência e simultaneidade;
- c) Características da carga: Características de funcionamento e tipo de carga usada (resistivas, indutiva e capacitivas).

2.3 SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO DC EXISTENTES

Os sistemas de alimentação DC possuem um papel importante no que concerne aos sistemas de alimentação, isto porque a maioria dos sistemas de controlo, sejam eles

circuitos de comando de abertura e fecho de disjuntores e seccionadores, circuitos de alarmes e disparos, circuitos de comunicações SCADA, e até motores auxiliares para manobras de equipamentos de potência, têm por base a alimentação DC, usando por exemplo tensões de 48VDC, 125VDC ou 220VDC [14], [21].

A fim de fornecer uma destas tensões, é usado de forma recorrente o denominado carregador de baterias que não é mais que um módulo AC/DC que converte uma tensão AC de entrada numa tensão de saída DC. Estes dispositivos podem ter também configurações que permitam recarregar um banco de baterias e possuir um painel de comando com sinalização e medida em tempo real deste sistema DC. A Figura 2.4 é um exemplo que representa este tipo de sistemas.

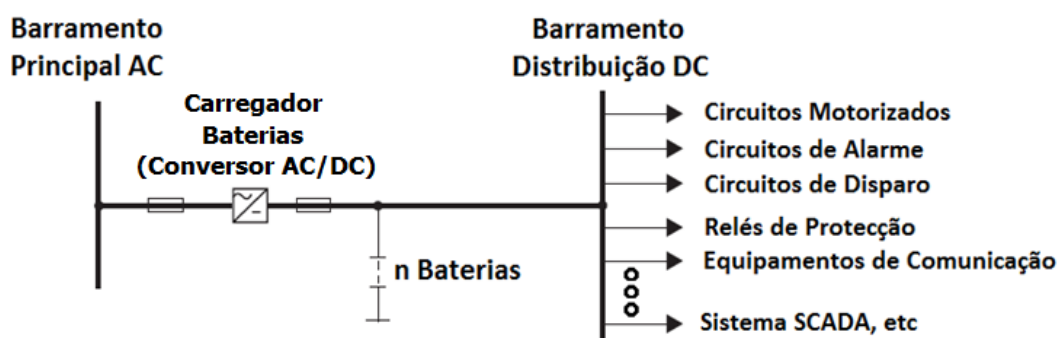


Figura 2.4. Diagrama simplificado circuito carregador e baterias (adaptado de [17]).

Dependendo do nível de tensão imposta pelo utilizador final da SM e devido ao número elevado de cargas DC a alimentar, é usual a utilização de mais que uma bateria, denominado desta forma como banco de baterias, onde a soma do conjunto de baterias permite obter a tensão nominal requerida pelo cliente final. Associado a este sistema, existe um nível de "autonomia" que é definido geralmente pelo número de horas que o sistema DC funciona após a falta de alimentação AC no carregador (conversor AC/DC), quando atingido este estado o sistema fica dependente apenas da autonomia das baterias. A capacidade do carregador também deverá ter em conta possíveis descargas totais ou parciais nas baterias e garantir desta forma o correto funcionamento do circuito DC [22].

As SMs são geralmente fornecidas com uma fonte de alimentação DC confiável para garantir as necessidades de carga, como equipamentos e sistemas de protecção DC. Desta forma, as cargas DC são alimentadas continuamente a partir desta fonte local, onde o banco de baterias lhes confere alguma autonomia em caso de falha do carregador. Este

carregador tem como peça principal o conversor AC/DC que permite manter as baterias carregadas e garantir a fiabilidade do sistema DC.

Normalmente, o carregador de baterias fornece energia para equipamentos e sistemas de proteção que não podem tolerar uma interrupção de energia, para além de fornecer uma carga adequada à bateria. Portanto, a bateria é normalmente mantida com carga total e está continuamente disponível para fornecer energia ao sistema. O uso de baterias é feito de forma recorrente para garantir o correto funcionamento de todos os equipamentos alimentados em DC. Em média as baterias usadas para este tipo de circuitos poderão durar entre 10 a 12 anos [23].

O tipo mais comum de baterias usadas são as de chumbo-ácido, com duas classes diferentes de tipo de ácido de chumbo, o chumbo-cálcio e o chumbo-antimônio. As baterias do tipo chumbo-cálcio geralmente possuem uma vida útil mais longa que as de antimônio de chumbo, mas possuem também um maior custo. As baterias são constituídas por placas, onde cada conjunto de placas (um cátodo e um ânodo), mais acessórios de suporte e conectores, são designados por célula. Cada célula possui uma tensão nominal que varia consoante a dimensão da bateria e as suas características [21].

A

Figura 2.5 apresenta o tipo de baterias normalmente usado neste tipo de circuitos de alimentação.



Figura 2.5. Baterias típicas para sistemas de alimentação em SMs[24].

2.4 SISTEMAS EXTERNOS DE ALIMENTAÇÃO

Neste subcapítulo serão abordados os sistemas externos de alimentação, ou seja, sistemas alternativos ao já convencional TSA usado na alimentação dos vários circuitos

da SM. Um barramento de alimentação que esteja apenas dependente de uma única fonte, vê a sua fiabilidade diminuída. Ao optar apenas pelo uso do TSA, este está sempre dependente do funcionamento da SM, pelo que quando esta se encontra fora de serviço o barramento AC deixa de estar alimentado o que impossibilita os ensaios de alguns equipamentos que devem ter manutenção periódica.

No sentido de melhorar a fiabilidade do sistema de alimentação da SM, algumas subestações possuem uma segunda fonte de alimentação que serve aqui de *backup* ao TSA da SM e que garante uma transferência de fontes após a deteção de falta de tensão no barramento principal.

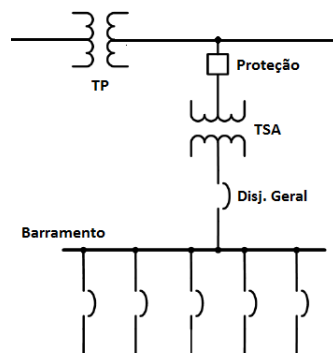


Figura 2.6. Esquema tipo de alimentação via TSA (adaptado de [14]).

Na Figura 2.6 é possível observar que a fonte de alimentação para as cargas auxiliares é unicamente um TSA protegido a montante por fusível de proteção e a jusante conectado ao disjuntor geral de alimentação. Uma vez a perda deste transformador, as cargas ficarão sem alimentação, este esquema não é o mais comum na maioria das soluções [21].

2.4.1 SISTEMAS A DIESEL

O uso de sistemas a diesel, mais precisamente os chamados geradores a diesel, são um sistema de alimentação externa amplamente usado na indústria. Apesar da sua dependência de combustível, é uma fonte fiável e que nos permite ter a potência desejada disponível no instante em que a mesma é requisitada.

Nas SMs, os geradores são normalmente usados como fonte de alimentação de emergência/reserva, porque o seu uso de forma permanente possui algumas desvantagens que devem estar presentes e que podem ser condicionantes à sua utilização.

Resumidamente, a escolha de geradores como fonte auxiliar de alimentação requer um projeto adicional tendo algumas considerações de funcionamento e segurança presentes.

Devem assim ser considerados sistemas de proteção contra incêndio, armazenamento apropriado de combustível, ventilação e climatização no caso em que os mesmos estejam localizados dentro de compartimentos. Quando estes ficam em ambiente externo (ao ar livre), estas considerações não são tão relevantes porque as condições de funcionamento são diferentes [14]. A Figura 2.7 apresenta o esquema tipo considerado para situações onde é usado o TSA ou o gerador, alternadamente no mesmo barramento.

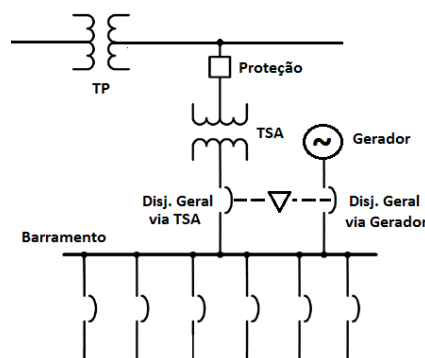


Figura 2.7. Esquema tipo de alimentação via TSA ou Gerador (adaptado de [14]).

Dada a sua fiabilidade e rápida entrada em serviço os geradores são bastante usados como *backup* aos sistemas de alimentação conectados à rede, no entanto para além do investimento inicial no mesmo, é necessário ter em consideração o custo com o combustível, dependente da quantidade de diesel que o gerador necessita por hora de produção. A ligação do gerador é normalmente realizada em alternância com a fonte principal do barramento AC. A Figura 2.8 demonstra um exemplo de gerador a diesel usado habitualmente, equipado com sistema de controlo e pronto a instalar em ambientes internos. Quando os mesmos são para colocação à intempérie são revestidos com uma caixa metálica acessível com portas para a correta operação do mesmo, como apresentado na Figura 2.9.



Figura 2.8. Gerador a diesel para aplicação de interior (adaptado de [25]).



Figura 2.9. Gerador a diesel para aplicação de exterior [25].

Os geradores a diesel para além de serem utilizados em subestações, são também amplamente usados na indústria, hospitais, parques eólicos, etc. A sua função como já explicado prende-se com a necessidade de garantir a alimentação de sistemas fundamentais para o correto funcionamento destas unidades.

Estes geradores possuem gama de potência alargada, variando de 15 kVA a 3300 kVA. Os principais componentes que o constituem são o motor, alternador, interruptores de transferência e sistemas de controlo. O sistema de controlo para além de monitorizar os níveis de tensão e a potência de saída, possui também um circuito de alarmes para verificar o nível de combustível no reservatório, a temperatura do gerador, a pressão do óleo, o estado da bateria de arranque e a sinalização de pronto para arranque do gerador.

A fim de garantir o correto funcionamento dos circuitos auxiliares de comando e controlo de uma SM, normalmente os geradores usados situam-se entre os 15kVA e os 70kVA, pois são apenas usados para alimentar o barramento AC da SM.

No entanto, dependendo das necessidades do cliente final, pode ser desenvolvido um sistema móvel baseado num gerador de maior potência que permita colmatar a falha ou retirada de serviço de algum transformador localizado na rede de distribuição, designados por Módulo de gerador LV/MV. As Figura 2.10 e Figura 2.11 representam este tipo de módulos e a sua interligação na rede elétrica salvaguardando a alimentação de um ramal que seja desativado temporariamente para alguma intervenção ou correção de avaria.

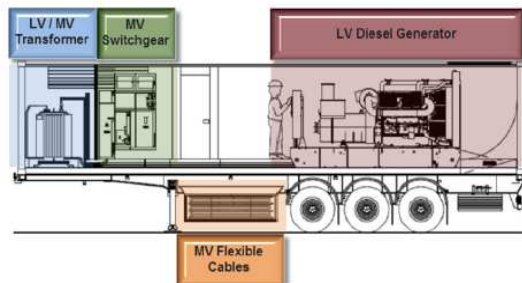


Figura 2.10. Disposição Módulo Gerador Containerizado [26].

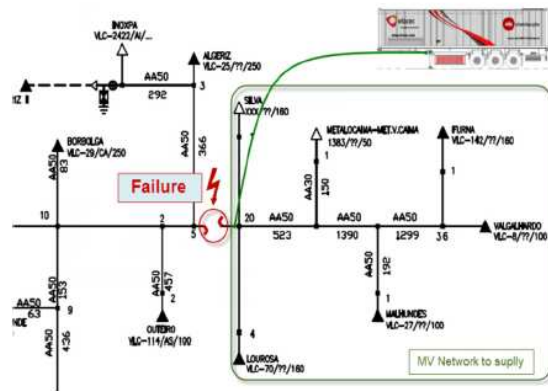


Figura 2.11. Instalação do Módulo Gerador na rede [26].

Esta é uma solução mais comum para mitigar o impacto de falhas na rede de média tensão em que é utilizado um gerador a diesel que está conectado por sua vez a um TSA elevador que transforma a baixa tensão do gerador em média tensão e que é conectado por sua vez a um switchgear MV, deste switchgear é realizada a ligação á rede através de cabos flexíveis apropriados para o efeito [26].

2.4.2 SISTEMAS BASEADOS EM ENERGIA RENOVÁVEL

Com o crescente aumento da produção distribuída (recorrendo principalmente à produção de energia renovável), contribuindo também para a redução das emissões de CO₂, muitas empresas têm apostado em sistemas de alimentação baseados em energias renováveis. Em alguns casos, isto permite-lhes diminuir a dependência com a rede, bem como suprir as suas necessidades de consumo de energia.

No caso das SMs uma vez que muitas ficam localizadas em zonas remotas sem grandes acessos, o recurso a sistemas baseados em energias renováveis pode desempenhar um papel fundamental. Os sistemas renováveis conferem à SM, a capacidade de alimentar os seus sistemas de comando e controlo de forma autónoma, sem depender da rede ou de sistemas como geradores a diesel, que estão sempre dependentes de combustível e por isso, necessitam de um controlo mais presente pelos operacionais de campo.

Um dos sistemas baseados em energia renovável com maior potencial para utilização em subestações são os sistemas PV. Trata-se de uma tecnologia cada vez mais usada não só no sector residencial, mas também na indústria, em mais larga escala.

Aplicar esta tecnologia em SMs, implica o uso de baterias que permitam armazenar a energia produzida nas horas de incidência solar para que o sistema interno de alimentação da SM, possa consumir esta energia também fora das horas de funcionamento dos painéis fotovoltaicos. A Figura 2.12 pretende demonstrar o esquema típico de interligação entre o sistema PV e o barramento DC, com a possibilidade de armazenamento de energia que neste caso é tida como bidirecional, ou seja, as mesmas carregam e descarregam consoante a alimentação ou consumo das cargas dos barramentos DC ou AC.

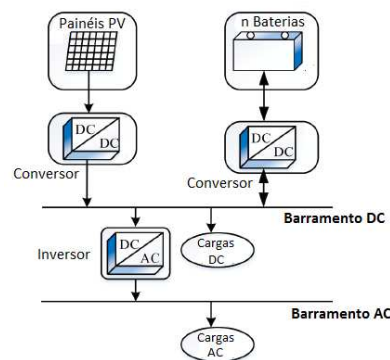


Figura 2.12. Configuração típica de interligação de painéis PV com armazenamento (adaptado de [27]).

Os sistemas PV são na sua maioria colocados sobre estruturas de suporte fixas ou móveis para tirar o máximo partido da luz solar. Aproveitando a sua fácil aplicabilidade, esta seria uma solução ideal a considerar em subestações móveis modulares e não modulares. Em SM modulares, como a mesma é constituída por módulos, por exemplo módulos de células MV, a integração de deste tipo de sistema pode ser realizada na parte superior do contentor, onde seriam uniformemente dispostos. O sistema de armazenamento estaria como habitual dentro do contentor e faria parte integrante do já habitual quadro de comando da SM. Em SMs não contentorizadas, ou seja, constituídas apenas por um único semirreboque, poderá ser proposto um módulo solar móvel com interligações apropriadas para conectar ao semirreboque principal. A

Figura 2.13 apresenta um sistema móvel PV, composto por painéis rebatíveis e direcionáveis com sistema de armazenamento incluído no módulo.



Figura 2.13. Sistema PV móvel [28].

Outro sistema passível de ser utilizado e que também se baseia em energia renovável, é o uso do vento para produção de energia eólica. Neste âmbito, não foram ainda desenvolvidos tantos sistemas como os de PV, no entanto já existe no mercado algumas soluções móveis interessantes, embora tenha sempre a limitação da dimensão e da sua capacidade de produção. Esta solução pode não ser tão versátil como a solução PV, pelas suas dimensões e pelo espaço normalmente disponível para a instalação da SM.

Um exemplo de interligação deste tipo de sistema com o barramento da Subestação é ilustrado de seguida através da Figura 2.14.

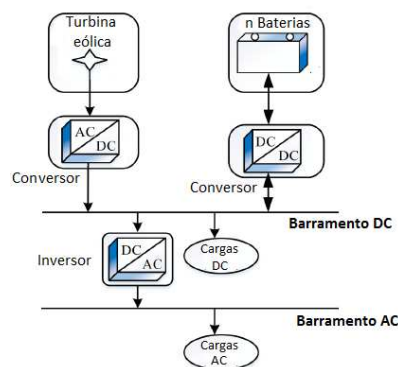


Figura 2.14. Esquema típico de interligação de sistema eólico com armazenamento (adaptado de [27]).

Sabendo que a energia eólica é gerada com auxílio de um alternador, será necessário um conversor AC/DC, contrariamente ao usado nos sistemas PV. A fim de produzir energia suficiente para alimentar os circuitos internos de uma SM, o sistema eólico móvel será necessariamente maior que o sistema PV, pois necessita de massa e apoios suficientes para suportar a torre eólica e a força do vento.



Figura 2.15. Sistema eólico em transporte [29].



Figura 2.16. Sistema eólico em serviço [29].

O sistema apresentado anteriormente na Figura 2.15 e Figura 2.16 permite uma colocação em serviço, rápida sem necessidade de grandes recursos técnicos, em apenas uma hora. Está preparado com painel de comando e banco de baterias para armazenamento de energia.

A potência nominal para esta aplicação móvel, segundo o fornecedor, é de 10kW com uma velocidade aproximada de 11.2 m/s. A baixa velocidade (aproximadamente 4.5 m/s), a solução possui uma potência de 1.65 kW. As pás da torre eólica são feitas em fibra de carbono, ao passo que a solução apresentada possui uma altura máxima de 18.3 metros.

2.4.3 INTERLIGAÇÃO ENTRE SISTEMAS

A interligação entre sistemas de alimentação desempenha aqui um papel fundamental e que será objeto de estudo, isto porque existe uma lacuna no que concerne à interligação de SMs com sistemas móveis de produção de energia proveniente de recursos renováveis, como os anteriormente indicados. Os diagramas unifilares aqui apresentados são desenvolvidos com base em circuitos similares e tendo por base os conceitos gerais de comando e controlo de uma SM.

Esta interligação permite ao sistema ter uma redundância, funcionando ininterruptamente quando assim a emergência o exigir. Como já referido anteriormente, o sistema de alimentação mais usual no comando e controlo é a utilização de um TSA. Além disso, é disponibilizada uma tomada de entrada para alimentação externa, ou seja, a

alimentação interna será a que vem do TSA e a externa será aquela que o utilizador final pretender, tais como geradores ou outro tipo de fonte como as que serão de seguida mencionadas.

A fim de interligar as diferentes fontes de alimentação ao barramento AC, é necessário um conjunto de bloqueios mecânicos e/ou eletrónicos para evitar o arranque simultâneo de fontes. Para tal, é realizada também a monitorização das fases do ramal principal (interno) do TSA e do ramal secundário (externo) que poderá ser de um gerador. Com esta monitorização ativa, quando um dos ramais ficar com ausência de tensão, é realizada a transferência de alimentação do sistema para segundo ramal garantindo a continuidade e funcionamento das cargas do barramento AC.

O primeiro e principal objetivo será dotar o sistema com mais que uma fonte auxiliar, que permita alimentar o barramento AC usando principalmente um gerador e deste garantir que o barramento DC não dependa apenas do banco de baterias. Isto porque estão sempre dependentes do carregador de baterias que é alimentado em AC e que, portanto, está dependente desta fonte para garantir a alimentação dos circuitos de comando e controlo, tais como motores de manobra de seccionadores e disjuntores MV, como sinalização de alarme e disparo, bem com as comunicações que também são alimentadas em DC.

Como já referido anteriormente e que será posteriormente objeto de estudo nos próximos capítulos, normalmente um barramento de cargas AC de uma SM necessita de um TSA com potência entre os 50kVA e os 70 kVA, dependendo do número de cargas da SM. Para o barramento DC, o banco de baterias é dimensionado tendo em consideração a tensão de referência DC do sistema, onde poderemos vir a ter no final uma capacidade para o conjunto de baterias dada em Ah e pronto para um período de funcionamento dependente das características de fabricante.

A

Figura 2.17 representa a interligação entre TSA e gerador com bloqueios de segurança. É ainda demonstrada a ligação de sistemas baseados em energias renováveis, como a solar e a eólica ao barramento DC com o intuito de alimentar as cargas DC. O banco de baterias poderá aqui ser alimentado via inversor AC/DC ou no caso da falha deste as baterias serão carregadas através do sistema PV ou da turbina eólica.

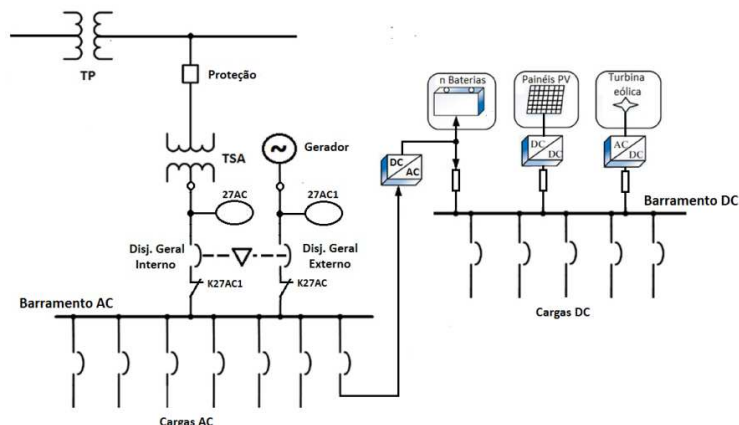


Figura 2.17. Possível sistema de interligação com gerador e energias renováveis no barramento DC.

Uma vez que o número de cargas DC é normalmente inferior ao número de cargas AC, bem como o respetivo consumo, poderá ser solução a utilização das fontes de energia renovável para alimentação do barramento AC, bastando para tal a colocação de um inversor DC/AC entre os dois barramentos (como demonstrado na Figura 2.18).

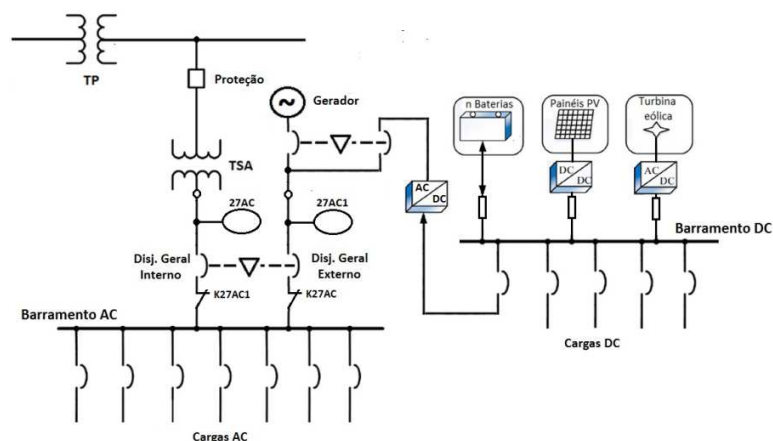


Figura 2.18. Interligação de fontes renováveis na alimentação de barramentos AC/DC.

A utilização desta configuração está dependente da capacidade de produção de energia das fontes renováveis para assim permitir a alimentação dos barramentos AC e DC. No caso das SMs, temos uma limitação de dimensões que podem interferir na potência nominal da solução.

Em suma, este estudo visa dar o contributo técnico-económico de soluções passíveis de serem utilizadas nas SM, que contribuem para a melhoria do portefólio das habituais subestações. Este estudo é considerado de elevada relevância, não só pela sua inovação e associação a uma área tecnológica ainda pouco desenvolvida em termos

bibliográficos, mas que por outro lado tem um mercado em franca expansão, sendo um produto desenvolvido por grandes empresas nacionais e internacionais [3], [30].

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1 VISÃO ELÉTRICA GERAL DE UMA SUBESTAÇÃO MÓVEL

O desenvolvimento de um projeto é uma fase crucial de uma SM, pois é aqui que se explana e caracteriza o projeto e os seus constituintes/equipamentos. Para uma análise global da SM, é criado um esquema unifilar geral que caracteriza os equipamentos mais importantes deste sistema. Deverá ser de fácil leitura e conter a seguinte informação:

- a) Indicação de níveis de Tensão da SM;
- b) Disposição de equipamentos de potência por ordem AT/MT;
- c) Identificação de cada equipamento;
- d) Descrição geral de cada equipamento.

Embora o tema desta dissertação não se foque no desenvolvimento de projeto elétrico em geral, para obter um grau de pormenor adequado será aqui apresentado um projeto de uma SM com complexidade elevada. Este é composto por equipamento de potência que abrange o Corte e proteção AT (módulo AT), Transformador de Potência

AT/MT (módulo TP) e ainda Celas de Média Tensão (módulo MT), conforme apresentado na Figura 3.1.

O projeto elétrico será apresentado na íntegra no Anexo B, sendo dele retirados os principais circuitos desenvolvidos para o propósito deste trabalho.

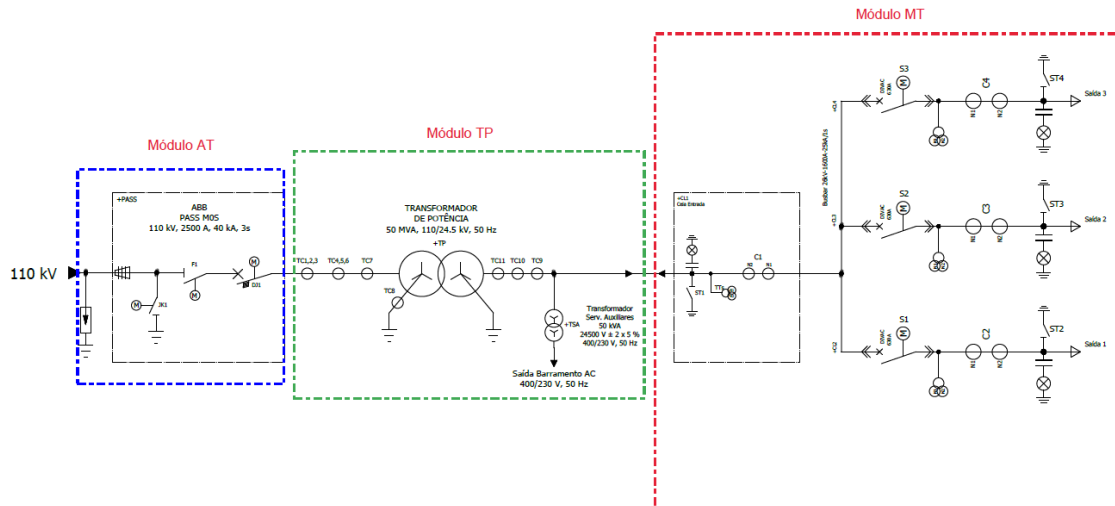


Figura 3.1. Diagrama Geral da Subestação Móvel.

Nos próximos subcapítulos será apresentado com maior pormenor cada módulo aqui presente.

3.1.1 DESCRIÇÃO DO MÓDULO AT

A SM em estudo é dimensionada para uma linha de 110kV AT, sendo que na entrada são colocados para-raios que irão proteger os equipamentos a jusante destes de descargas atmosféricas que os podem danificar. Seguidamente é realizada a ligação ao *Switchgear* PASS (*Plug and Switch System*) que é constituído pelos seguintes dispositivos a ter em consideração no dimensionamento dos circuitos de alimentação e controlo, como ilustrado na Figura 3.2.

- Seccionador de Terra – Designado por JK1;
- Seccionador de Linha – Designado por F1;
- Disjuntor – Designado por DJ1;

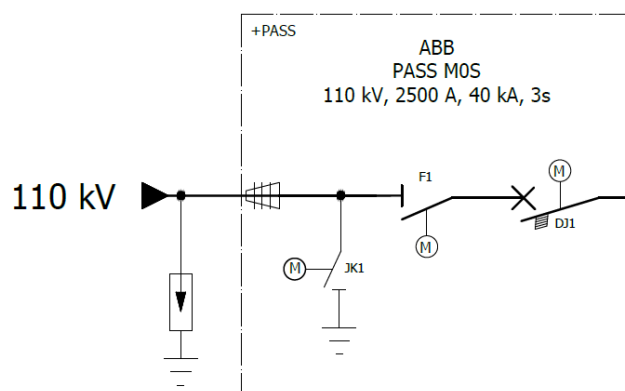


Figura 3.2. Diagrama unifilar parcial, Módulo AT com PASS.

No que diz respeito à sua manutenção preventiva, as mesmas devem ser realizadas fora de serviço, considerando as seguintes ocorrências:

- Após 5000 operações mecânicas;
- Após 20 anos de serviço;
- Ocorrência de mal funcionamento não previsto.

Tratando-se de um equipamento que necessita de monitorização e controlo, o mesmo é constituído por circuitos de motorização, circuitos de abertura e fecho e serviços comuns. A Tabela 3.1 apresenta as características elétricas mais significativas dos circuitos do PASS.

Tabela 3.1. Características elétricas de consumo, circuito do PASS

PASS	Seccionador de Terra	Seccionador de Linha	Disjuntor
Potência (W)	180	180	900
Corrente Absorvida (A)	4,06	4,92	5,31

3.1.2 DESCRIÇÃO DO MÓDULO TP

O Transformador de Potência é uma máquina fundamental no sistema elétrico e neste caso específico na SM, daí a importância de o proteger a montante e a jusante. O mesmo é constituído por circuitos de corrente, circuitos de alimentação para arrefecimento do transformador e equipamentos auxiliares de monitorização, bem como os circuitos de alarme e disparo que permite avisar o utilizador final da SM sobre a ocorrência de alguma anomalia. No secundário do TP é conectado o transformador de serviços auxiliares que permite baixar a tensão de 24.5kV para a tensão requerida no

barramento de potência com 400/230 VCA, 50 Hz. A Figura 3.3 representa o diagrama unifilar parcial do módulo TP.

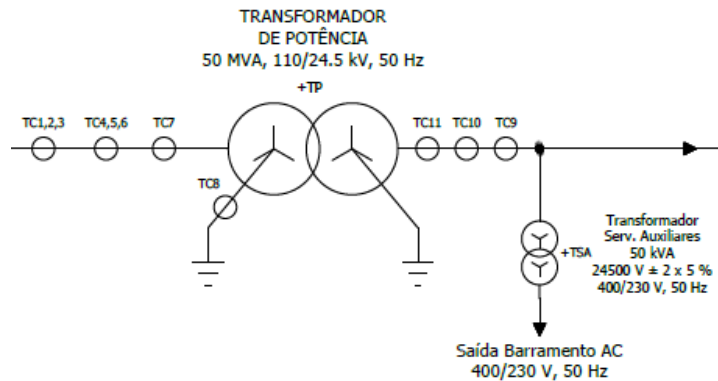


Figura 3.3. Diagrama unifilar parcial, Módulo TP.

Este módulo é constituído pelos seguintes dispositivos a ter em consideração no dimensionamento dos circuitos de alimentação e controlo.

- Transformadores de intensidade – Designados por TC1 a TC11;
- Transformador de potência – Designado por TP;
- Transformador de Serviços Auxiliares – Designado por TSA.

3.1.3 DESCRIÇÃO DO MÓDULO DE CELAS MT

O presente módulo de média tensão é constituído por uma cela de entrada e 3 celas de saída, contemplando os seguintes dispositivos a ter em consideração no dimensionamento dos circuitos de alimentação e controlo.

- Transformadores de intensidade – Designados por C1 a C4;
- Transformadores de tensão – Designados por TTs;
- Seccionadores de terra – Designados por ST1 a ST4;
- Disjuntores – Designados por S1 a S3.

Os circuitos suscetíveis de serem alimentados são os circuitos de comando e controlo de cada seccionador e disjuntor, dos quais fazem parte os circuitos de motorização para abertura e fecho e os circuitos de sinalização de estado.

A Figura 3.4 apresenta o diagrama unifilar parcial para o módulo de MT, a partir do qual foi desenvolvido o esquema multifilar para este circuito da SM.

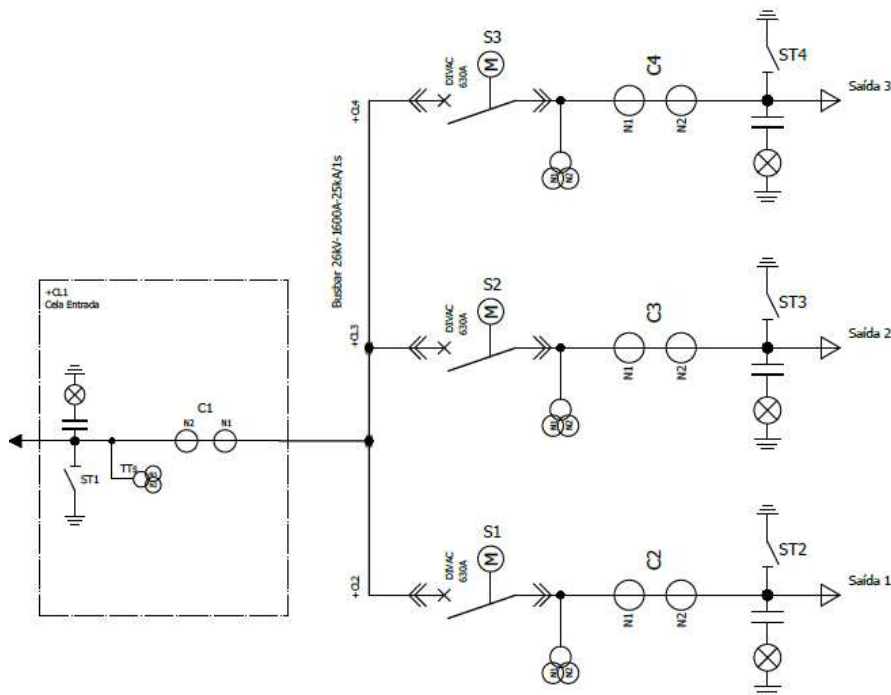


Figura 3.4. Diagrama unifilar parcial, Módulo Celas MT.

3.2 VISÃO DETALHADA DOS CIRCUITOS DE ALIMENTAÇÃO

Os circuitos de alimentação são parte importante de uma SM, deles depende todo o funcionamento do sistema. Estes circuitos dividem-se normalmente em vários níveis de tensão, com alimentação trifásica para cargas que assim o necessitem, como motores trifásicos, alimentações monofásicas e alimentações recorrendo a uma fonte de alimentação em corrente contínua.

A alimentação principal de um barramento CA partirá sempre de um Transformador de Serviços Auxiliares (TSA) que transformará uma média tensão em baixa tensão e será dimensionado tendo em consideração as cargas totais penduradas no barramento CA. Posteriormente cada disjuntor de proteção individual é dimensionado tendo em consideração as necessidades do circuito que está a proteger.

Os níveis de tensões selecionados na BT do TSA vão de encontro aos níveis de tensão usados na Europa, ou seja 400/230VCA a uma frequência de 50Hz.

Neste subcapítulo é apresentada a visão detalhada dos circuitos de alimentação que foi considerada para a elaboração do projeto em assunto. A Figura 3.5 apresenta a visão geral de um circuito CA/CC de toda a Subestação.

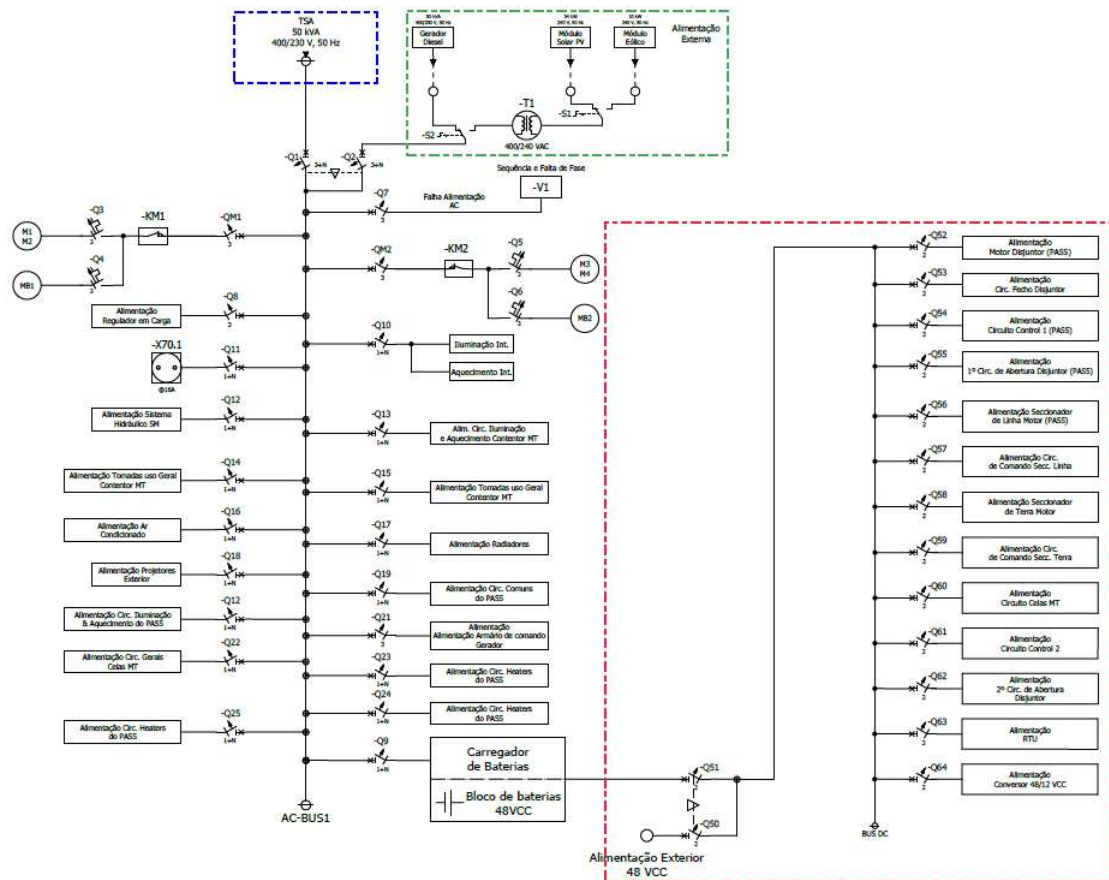


Figura 3.5. Visão geral do circuito de alimentações de uma SM.

Através do circuito geral AC apresentado anteriormente destacam-se 3 pontos fundamentais que se encontram assinalados, isto porque são pontos principais de alimentação. Estes podem ser identificados como:

- Interligação do TSA ao Barramento CA - retângulo azul;
- Interligação de Fontes externas ao Barramento CA - retângulo verde;
- Carregador de Baterias (Inversor CA/CC) – Alimentação Circuito CC - retângulo vermelho.

3.2.1 INTERLIGAÇÃO DO TSA AO BARRAMENTO CA

O secundário do TSA é conectado diretamente ao barramento CA, sendo esta a fonte principal de alimentação de todo o circuito de alimentação da SM, conectada ao disjuntor geral de entrada designado por (-Q1). O TSA é dimensionado tendo em

consideração todas as cargas penduradas no barramento, considerando a sua potência, fator de potência e de demanda, bem como a distribuição no barramento.

CÁLCULO DE CARGAS E CONSUMO														
DETALHES ELÉTRICOS														
						Cargas na fase L1 (R)			47	Amp	Tensão (Fase-Neutro)			230
Total KW			34,11	Kw	Cargas na fase L2 (Y)			48	Amp	Tensão (L1-L2)			400	
Total KVA			39	Kva	Cargas na fase L3 (B)			48	Amp	Tensão (L2-L3)			400	
Total de cargas			147	Amp	Corrente de Arranque			148	Amp	Tensão (L1-L3)			400	
Detalhes de equipamentos										Electrical Load Detail				
Aplicação	1Ph 3Ph	Fase	Unit Potência (Kw)	F.P	Qtd	Tipo de Carga	Fator Demanda	Motor Starter	Uso	Pot. Absorvida (Kva)	Full Load Current (Amp)	Starting Current (Amp)	Potência Estimada (KW)	Potência Estimada (Kva)
Carregador de Baterias	1	R	2,5	0,99	1	Other	1		Non-Cont	3	11	11	2,5	3
Motor Regulador em Carga	3		7	0,8	1	Motor	0,5		Non-Cont	9	13	15	3,5	4
Iluminação Exterior - Projetores	1	Y	0,5	0,9	1	Lighting	0,8		Non-Cont	1	2	2	0,4	0
Ar Condicionado	1	B	0,8	1	2	A.C	1		Cont	2	7	7	1,6	2
Radiadores 2x1500W	1	R	3	1	1	Heating	1		Non-Cont	3	13	13	3	3
Bombas	3		0,8	0,8	2	Motor	1		Cont	2	3	3	1,6	2
Ventiladores	3		0,41	0,41	4	Motor	1		Cont	4	6	7	1,64	4
Resistências Aquec. L1 (PASS)	1	R	2,65	1	1	Heating	0,8		Non-Cont	3	12	12	2,12	2
Resistências Aquec. L2 (PASS)	1	Y	2,65	1	1	Heating	0,8		Non-Cont	3	12	12	2,12	2
Resistências Aquec. L3 (PASS)	1	B	2,65	1	1	Heating	0,8		Non-Cont	3	12	12	2,12	2
Iluminação contendor	1	Y	0,3	0,9	1	Lighting	0,8		Non-Cont	0	1	1	0,24	0
Alim. Armário Gerador	3		7,47	0,9	1	Other	1		Non-Cont	8	12	12	7,47	8
Alim. Circuito Celas MT	1	B	1,4	0,9	1	Other	1		Non-Cont	2	7	7	1,4	2
Iluminação/Aquecimento quadros	1	Y	0,5	0,9	1	Lighting	0,8		Non-Cont	1	2	2	0,4	0
Alim. Circuitos Gerais Pass	1	Y	2	0,9	1	Other	0,8		Non-Cont	2	10	10	1,6	2
Alimentação Circuito Hidráulicos	1	B	0,5	0,9	1	Other	0,8		Non-Cont	1	2	2	0,4	0
Circuito Tomadas quadros	1	Y	2	0,9	1	Other	0,5		Non-Cont	2	10	10	1	1
Circuito Tomadas contenedores	1	B	2	0,9	1	Other	0,5		Non-Cont	2	10	10	1	1

Figura 3.6. Simulação da distribuição de cargas para dimensionamento do TSA.

Apesar de aplicados os fatores de potência e demanda, o TSA deve ser dimensionado normalmente para um valor acima do valor obtido no cálculo, como ilustrado na Figura 3.6. No projeto em assunto optou-se pela seleção de um TSA de 50kVA para fazer face aos requisitos de carga do barramento.

A Figura 3.7 representa a interligação entre o terciário do TP e o primário do TSA, daqui é feita a transformação de uma média tensão nos 400/230V usados nos circuitos de baixa tensão. Por outro lado, a Figura 3.8 representa a interligação do secundário do TSA ao disjuntor de entrada com o nome (-Q1) que irá servir de proteção ao barramento AC principal da SM, onde estão alocadas as principais cargas monofásicas e trifásicas da SM.

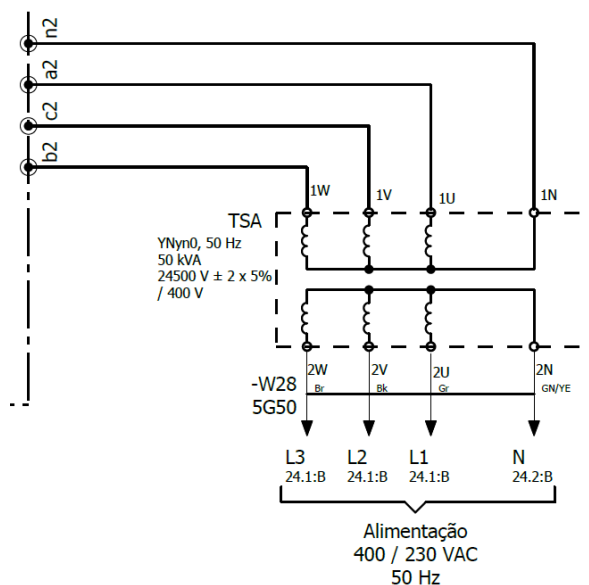


Figura 3.7. Representação Multifilar do TSA.

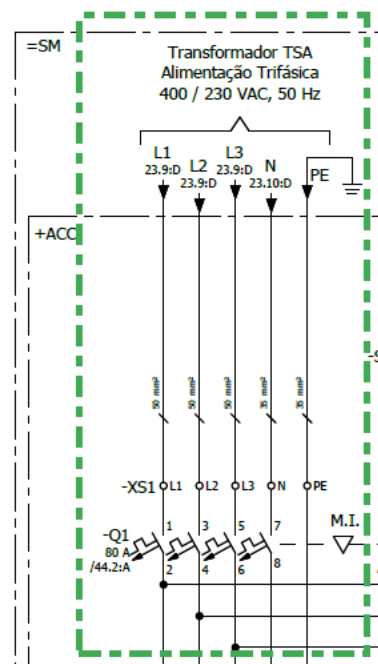


Figura 3.8. Interligação entre TSA e barramento principal

A alimentação trifásica com 3 pólos mais neutro de 400V/230VCA permite alimentar as cargas trifásicas da SM como os moto-ventiladores e as bombas. O barramento trifásico e a correta distribuição das cargas permite evitar o desequilíbrio das mesmas e ter uma distribuição uniforme no circuito.

3.2.2 INTERLIGAÇÃO DE FONTES EXTERNAS AO BARRAMENTO CA

Tratando-se os circuitos de alimentação auxiliares, fundamentais para o correto funcionamento de uma SM, torna-se fulcral garantir o seu funcionamento e ininterruptibilidade na medida da utilização que se pretende dar à SM. A seleção da fonte de alimentação é realizada de forma alternada dentro do armário de comando via disjuntores de entrada (-Q1 e -Q2).

O TSA poderá ficar inoperacional caso a subestação seja retirada de serviço ou para alguma manutenção necessária. Neste sentido e dada a necessidade de garantir a alimentação dos circuitos auxiliares para a realização de ensaios e monitorização da SM é necessário alternar a via de alimentação para uma segunda fonte. Esta fonte poderá ser um gerador a diesel já usado em diversas industriais e serviços que necessitam de garantir a ininterruptibilidade de alimentação, bem como a seleção de módulos que permitam a

produção de energia recorrendo a recursos renováveis, contribuindo assim para a redução dos níveis de CO₂.

A Figura 3.9 representa as fontes consideradas e implementadas no projeto da SM desenvolvido neste trabalho. O sistema será dotado de um gerador a diesel que permitirá cobrir a totalidade das necessidades das cargas, à semelhança do TSA, bem como os módulos FER (eólico e fotovoltaico) que permitirão a alimentação dos principais circuitos da SM.

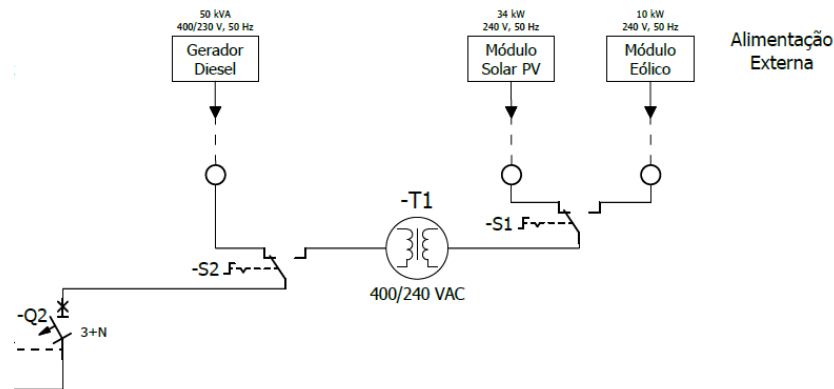


Figura 3.9. Representação unifilar das fontes de alimentação externas (alternativas).

A seleção de fontes é realizada através do comutador (-S2) no caso de ser pretendido escolher entre a fonte a diesel ou renovável.

O esquema multifilar implementado para a alternância de fontes de alimentação e a sua ligação ao barramento CA do armário de comando e controlo da SM permite operar facilmente este sistema e selecionar a fonte que necessitar. A Figura 3.10 representa o esquema multifilar do sistema aqui descrito.

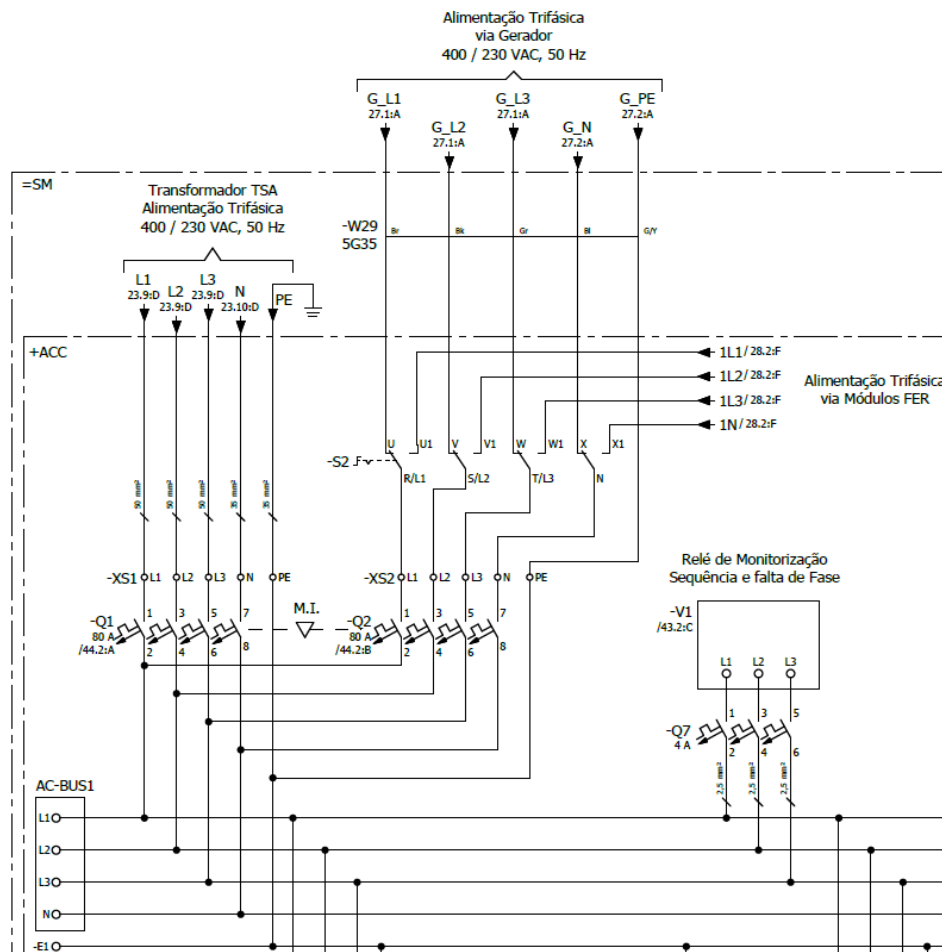


Figura 3.10. Esquema multifilar de alternância e monitorização de fontes.

No que concerne ao gerador a diesel ou de emergência, este está sempre pronto a arrancar desde que seja garantido o abastecimento do seu depósito. Neste tipo de geradores e para ter um controlo sobre o mesmo é necessário um circuito de comando de forma a monitorizar o seu estado. A Figura 3.11 representa o circuito interno de comando e controlo do gerador de emergência.

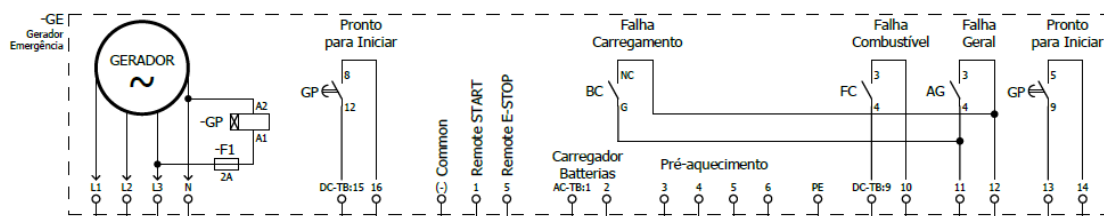


Figura 3.11. Circuito interno de comando e controlo do gerador.

A fim de garantir que o arranque do gerador seja realizado de forma segura é tido em consideração as seguintes sinalizações/alarmes:

- a) **Gerador pronto a iniciar:** Sinaliza que o gerador está apto para iniciar o seu funcionamento;
- b) **Falha carregamento de bateria:** Sinaliza que a bateria necessária para ajuda do arranque do gerador não se encontra operacional, não sendo possível a sua recarga. Esta é suscetível a danos, uma vez que é propensa à acumulação de sulfatos de chumbo nas suas placas, acabando por avariar quando o gerador não é usado de forma periódica;
- c) **Falha Geral:** Esta falha é ativada no caso de acontecer algum defeito que impeça o arranque do gerador;
- d) **Falha de Combustível:** Sinaliza que o gerador não possui combustível para iniciar a sua operação.

Após a verificação de estado das sinalizações anteriores o gerador poderá ser iniciado tendo a sinalização “Pronto para iniciar” ativa. O gerador poderá ser arrancado localmente através da sua própria caixa de comando ou remotamente através dos contactos representados no esquema para “START” e “E-STOP”.

O circuito de comando e controlo do gerador poderá ser consultado na íntegra no projeto desenvolvido para o efeito e que se encontra como anexo a esta dissertação.

3.2.3 CARREGADOR DE BATERIAS (INVERSOR CA/CC) – CIRCUITO CC

O carregador de baterias que desempenha a função também de inversor CA/CC é um equipamento fundamental que permite não só alimentar o barramento CC onde se encontram todas as cargas alimentadas a corrente contínua, como também permite o carregamento/alimentação do banco de baterias auxiliar a este circuito. O seguinte circuito apresenta todas as cargas alimentadas em corrente contínua sendo a maioria destinadas ao controlo e monitorização da SM, conforme demonstrado na Figura 3.12.

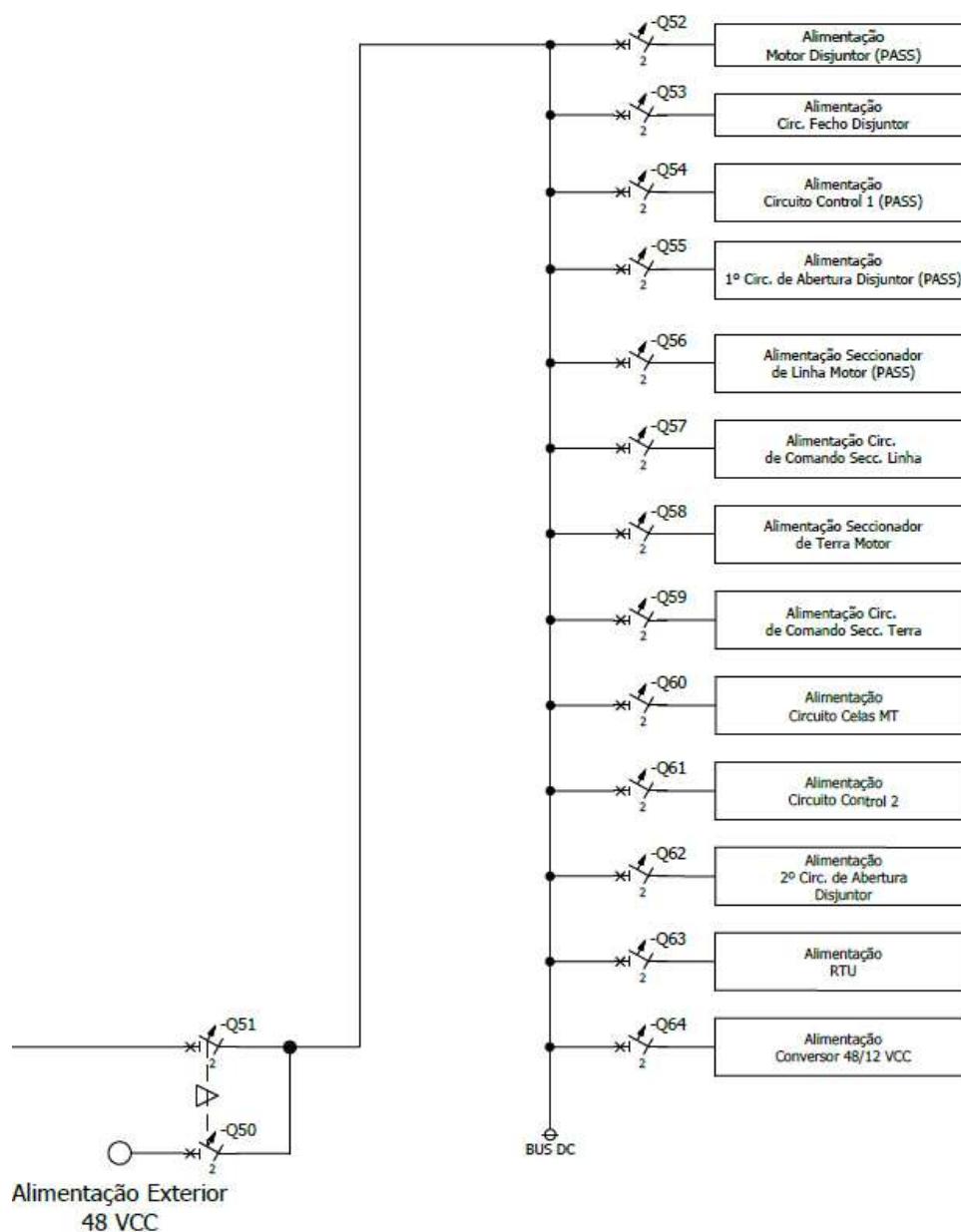


Figura 3.12. Alimentação barramento CC.

O carregador de baterias é alimentado em CA e possui na sua saída a tensão necessária ao barramento CC, o mesmo para além de alimentar o circuito e carregar as baterias faz a monitorização do estado das baterias. A saída do carregador estará assim em paralelo com o banco de baterias, servindo também como “backup” às baterias.

A alimentação do barramento CC poderá ser realizada de forma independente pelo cliente final, através de uma fonte externa conectada ao disjuntor para alimentação exterior com a designação (-Q50).

A Figura 3.13 representa a ligação entre o carregador de baterias e o banco de baterias composto por 4 unidades e com uma capacidade de 85Ah/12h.

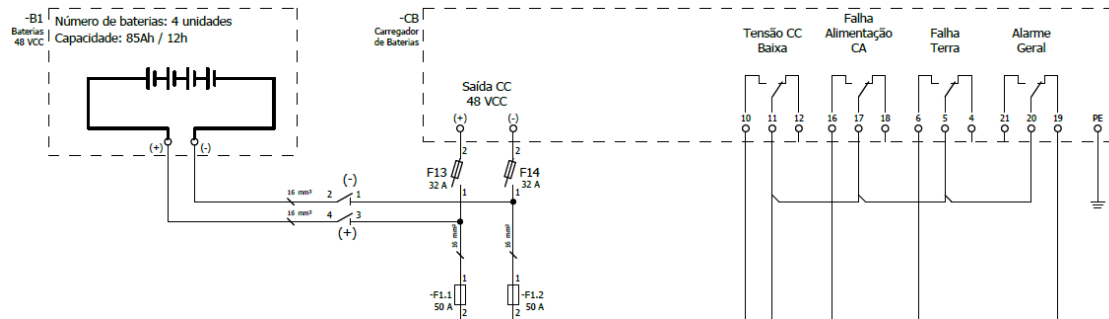


Figura 3.13. Representação multifilar da interligação do carregador de baterias e do banco de baterias.

O carregador de baterias possui também a seguinte sinalização importante para aferir o seu bom funcionamento, das quais as mais usuais são:

- Tensão CC Baixa:** Sinalização que indica que o nível de tensão está abaixo do valor nominal do barramento CC que neste projeto é os 48VCC;
- Falha de Alimentação CA:** Sinalização de falha de alimentação CA na entrada do carregador de baterias;
- Falha Terra:** Sinaliza a falha de corrente à massa do circuito;
- Alarme Geral:** Sinaliza a falha geral do carregador de baterias.

3.3 CONCEÇÃO DE CIRCUITOS DE ALIMENTAÇÃO COM MÓDULOS FER

Neste subcapítulo é apresentada a conceção e implementação dos módulos FER com origem em energia solar fotovoltaica e energia eólica. Estes módulos com origem em energia renovável permitem conceder ao sistema o fornecimento de energia produzida de forma independente e com recurso a fontes renováveis que se podem aliar a este tipo de SMs, conferindo-lhes independência energética comparativamente ao caso dos geradores. Outro tipo de exploração que poderá ser feita é a alimentação da rede local através da injeção na rede da energia produzida quando a SM se encontra armazenada ou desconectada da rede. Este tipo de exploração permitiria ao cliente final rentabilizar o investimento realizado.

O cliente final poderá ter a opção de funcionar com o sistema modular PV ou com o módulo eólico, aproveitando também o facto de cada um destes módulos se

complementarem, isto porque o sistema PV estará limitado às horas de radiação solar, sendo que nas horas noturnas sem sol o sistema eólico poderá dar um maior contributo. Os esquemas de comando e controlo poderão ser consultados na integra no Anexo B.

3.3.1 SISTEMA MODULAR SOLAR PV

O presente sistema não é mais que um modulo autónomo de produção de energia através de painéis fotovoltaicos que armazenam a energia produzida num banco de baterias, permitindo a injeção de energia CA numa rede através da inversão de tensão CC do barramento numa tensão CA de 240V.

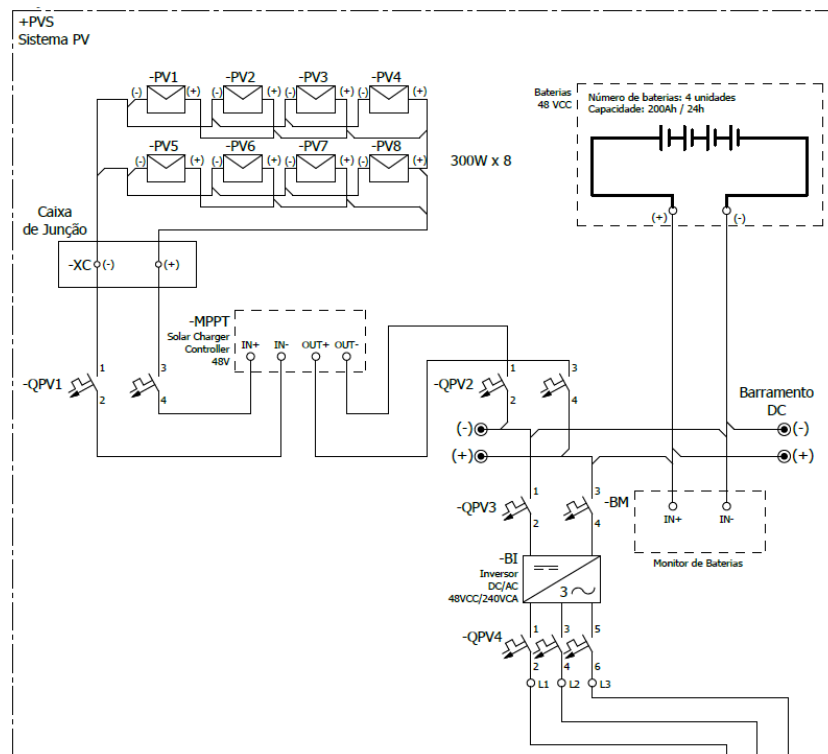


Figura 3.14. Esquema de modulo solar PV.

A Figura 3.14 representa o esquema elétrico do módulo atrelado composto por 8 painéis fotovoltaicos de 300W cada, com sistema MPPT para controlo de carga, barramento CC, banco de baterias para armazenamento e inversor de saída que converte os 48VCC do sistema em 240VCA. A potência nominal deste módulo é de 34kW.

3.3.2 SISTEMA MODULAR EÓLICO

O sistema modular eólico recorre a uma turbina retrátil colocada em cima de um semirreboque ou dentro de um contentor e transportável para qualquer lado, conforme Figura 2.15 e Figura 2.16 apresentadas anteriormente.

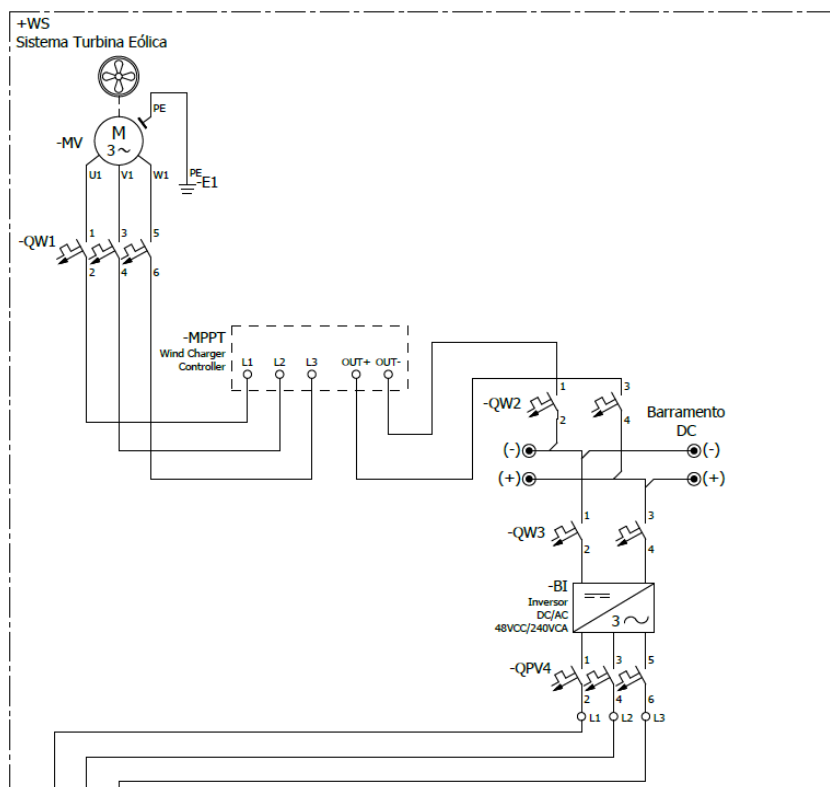


Figura 3.15. Esquema de Módulo eólico.

A Figura 3.15 representa o esquema elétrico do módulo atrelado eólico composto por uma torre com turbina eólica, com sistema MPPT para controlo de carga, barramento CC e inversor de saída que converte os 48VCC do sistema em 240VCA. Trata-se de um módulo de fácil transporte e utilização por parte do utilizador final, sendo apenas necessário um técnico para o colocar em serviço.

A potência nominal deste módulo, segundo o fornecedor, é de 10kW com uma velocidade média aproximada de 11.2 m/s e a baixa velocidade de aproximadamente 4.5 m/s). A turbina é composta por pás feitas em fibra de carbono e com uma torre de altura máxima igual a 18.3 metros. Segundo o fornecedor é aconselhável uma manutenção mensal, com um funcionamento de pelo menos 2 a 4 horas de serviço.

3.3.3 INTERLIGAÇÃO E SELEÇÃO DOS MÓDULOS FER

A fim de garantir a correta utilização dos módulos FER, permitindo ao cliente final a sua exploração de forma autónoma foi efetuada a interligação destes módulos FER ao barramento geral da SM. Tanto o módulo PV como o eólico possuem uma saída de 240VCA. No entanto e para a interligação ao barramento trifásico da SM, é necessário a utilização de um transformador auxiliar que transforme os 240VCA em 400/230VCA, este é designado nos esquemas por (-T1), como ilustrado na Figura 3.16.

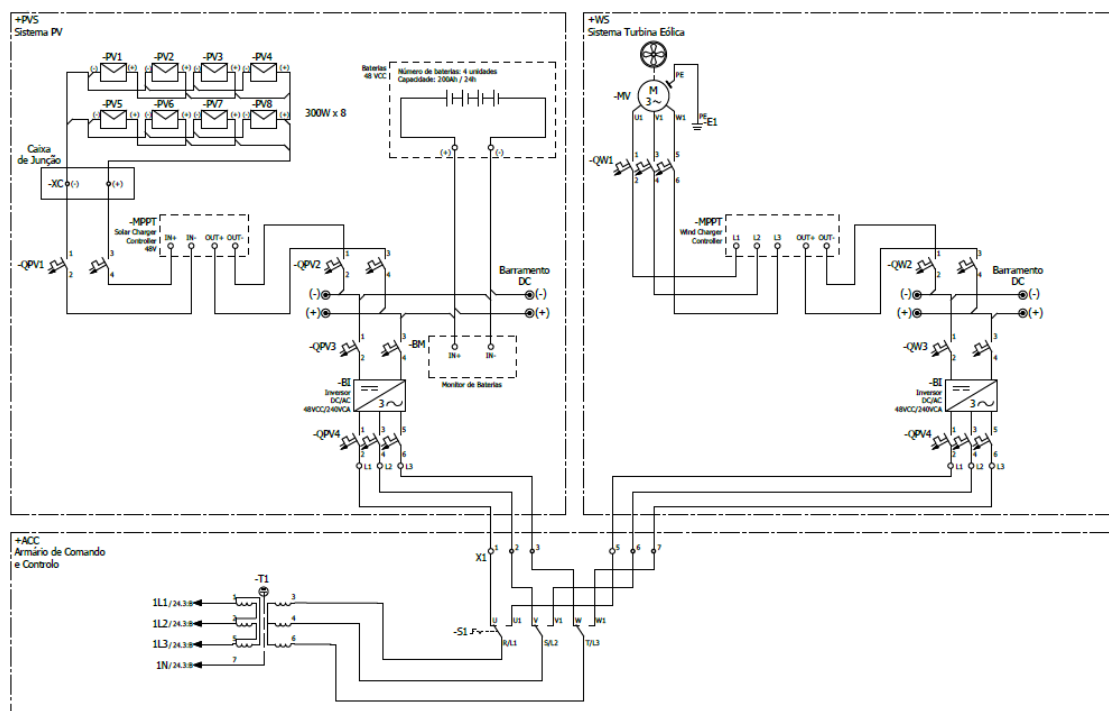


Figura 3.16. Interligação dos módulos FER ao barramento geral da SM.

A configuração aqui presente confere a opção de selecionar uma das duas fontes para alimentar o barramento geral da SM, na situação em que quer o TSA quer o gerador estão fora de serviço. A seleção do tipo de fonte FER é realizada através do comutador de potência designado por (-S1).

Os módulos aqui presentes podem funcionar de forma independente da subestação e injetar a energia produzida na rede ou funcionar em modo conjunto conforme esquema multifilar apresentado na Figura 3.16.

4 ESTUDO ECONÓMICO DA UTILIZAÇÃO DE MÓDULOS FER

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FER APLICADAS NAS SMS

O presente subcapítulo tem como intuito a caracterização das Fontes de Energia Renovável (FER) passíveis de serem aplicadas nas SM. Como se trata de uma SM, o estudo recai sobre unidades de energia renováveis também móveis e que permitam ser transportadas para qualquer lado em conjunto com a unidade SM principal ou em separado, dependendo do tipo de exploração a realizar.

A incorporação de módulos FER prende-se com a necessidade de acrescentar maior fiabilidade aos serviços auxiliares da SM. Este é o seu principal objetivo, uma vez que em caso de necessidade de manutenção em que o transformador esteja fora de serviço, os serviços auxiliares poderão socorrer-se de FER obtidas em qualquer local onde estejam.

As FER que preenchem mais requisitos para este tipo de exploração serão as baseadas em energia solar PV e eólica, isto porque para além de possuírem uma tecnologia cada vez mais desenvolvida estão cada vez mais presentes na indústria. Isso leva ao surgimento de novos projetos e conceitos de exploração conforme demonstrado nesta dissertação.

O aparecimento de novas empresas e projetos que acrescentam mobilidade, independência e maior fiabilidade destes sistemas renováveis representa aqui uma enorme valia para a indústria. Em especial a indústria que depende de grandes consumos de energia, que trabalham ininterruptamente e em zonas por vezes isoladas e sem acesso direto à rede.

Por forma a garantir a fiabilidade do sistema, uma vez que as tecnologias FER são fontes de energia intermitentes, esta dissertação considera no seu modelo base um gerador a diesel para alimentar o barramento AC e um banco de baterias e respetivo carregador de baterias alimentado através do barramento AC.

Caracterização do sistema PV [31]:

- 34kW de potência de saída, 240VCA, 50/60Hz;
- 8 módulos PV de 300W monocristalinos;
- Capacidade máxima das baterias de 200Ah/24h;
- Tempo de carregamento de 30h;
- Inversor/Carregador de baterias e monitorização;
- Banco de baterias livres de manutenção;
- Fácil colocação em serviço, com atrelado para instalação em qualquer lado.

Caracterização do sistema Eólico [29]:

- 10kW de potência de saída, 240VCA, 50/60Hz;
- Velocidade máxima de 11.2 m/s;
- Pás em fibra de carbono e altura máxima de 18,3 metros;
- Inversor CC/AC;
- Fácil colocação em serviço, com atrelado para instalação em qualquer lado.

O sistema PV consegue produzir mais energia e possui um sistema mais eficiente e robusto para gestão da energia gerada apresentando também menor volume, os painéis fotovoltaicos são retrateis o que permite o fácil transporte da unidade. Segundo informações obtidas através do fabricante, esta unidade tem um custo de aquisição de aproximadamente 70 mil euros, valor este que será tido em consideração na avaliação técnico-económica a ser realizada.

O sistema Eólico é composto por um atrelado de dimensões maiores, no entanto a sua potência de saída é inferior à do sistema PV. Como até à data não foi possível obter orçamento para esta unidade móvel, mas tratando-se de um sistema inovador e que permite colmatar a falta de produção de energia nos horários sem sol, será aqui considerado o mesmo valor de 70 mil euros para o cálculo a ser apresentado. A Tabela 4.1 apresenta os valores de entrada considerados para o estudo e que irão permitir a realização do estudo técnico-económico da utilização de uma SM e ou dos módulos FER.

Tabela 4.1. Informação técnica a considerar para o estudo a realizar.

Descrição das Características Técnicas	Dados Técnicos	Referência
Potência/Capacidade instalada da SM:	50 MVA	Não aplicável
Tempo de vida útil da SM:	25 anos	[32], [33]
Custo aquisição da SM sem FER:	2 milhões de euros	[34], [35]
Duração média de falhas tipo II anual:	59 horas	[32]
Custo Interrupção:	9,2€/kWh	[35]
Valor de carga Perdida (<i>Value Of Lost Load</i>):	5.12 €/kWh	[36]
Custo de Operação com pessoal técnico:	97 200€/ano	Não aplicável
Custo médio energia PT:	0,2259€/kWh	[37]
Taxa de desconto:	15%	[38]

Conforme já indicado a potência máxima da SM é de 50 MVA. Este tipo de tecnologia é desenvolvida para operar de forma continua durante vários anos, sendo que em média o seu tempo de operação é superior a 25 anos. O custo de aquisição da SM sem FER situa-se nos 2 milhões de euros [34], [35].

Dada a adversidade das condições de operação de uma SM a mesma está sujeita a algumas falhas que segundo os autores em[39], podem ser falhas tipo I ou falhas tipo II[32].As falhas tipo I são falhas que implicam a retirada da SM de serviço e a intervenção para correção do problema normalmente de no mínimo 1 ano, ao passo que as falhas tipo II são falhas de menor impacto e que podem chegar até aproximadamente 59h/ano. Assim sendo, nesta dissertação foram consideradas as falhas tipo II que estarão associadas a um custo de interrupção atualizado de 9,2€/kWh [35].

Com a finalidade de obter o retorno do investimento da SM, será necessário ter em consideração diversos cenários de utilização, sendo que no cálculo base de utilização da SM será necessário considerar o Valor de Carga Perdida designado em inglês como (*Value Of Lost Load* - VOLL), sendo o valor aqui considerado de 5,12 €/kWh [36].

A taxa de desconto pode ser determinada pelo método do Custo Médio Ponderado de Capital (*Weighted Average Cost of Capital* - WACC) ou pelo método do Custo de capital Próprio (*Capital Assests Pricing Model* - CAPM). Uma vez que para este projeto não é conhecido o sistema de financiamento do comprador da SM (financiamento por capitais próprios e/ou alheios), foi assumida uma taxa de desconto nominal de 15%, típica para projetos com este grau de complexidade/grandeza [38].

Considerando a informação apresentada, serão realizados vários cenários tendo em consideração a utilização independente da SM, o uso conjunto com as FER ou o uso individual das FER aqui apresentadas com a SM.

4.2 AVALIZAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICA DO PROJETO

Este subcapítulo tem como objetivo o estudo técnico-económico dos sistemas PV e Eólico no contexto de utilização com a SM. Será realizada uma avaliação económica de investimento e considerados os principais indicadores económicos que permitiram avaliar de forma concisa a viabilidade na aposta dos sistemas FER em conjunto com a SM.

4.2.1 INDICADORES DE VIABILIDADE FINANCEIRA

Alguns conceitos sobre indicadores económicos serão aqui apresentados para relembrar definições e aplicabilidades [40].

Cash Flow: - É a medida de rentabilidade de um projeto, ou seja, os fluxos líquidos gerados pelo projeto que assumem a forma de numerário. Os registos relevantes para a medição do cashflow são as receitas e despesas efetivas em numerário; O Cash flow é também designado por fluxo de caixa e refere-se ao fluxo do dinheiro, ou seja, ao montante de caixa recolhido e gasto por uma empresa durante um período de tempo definido, algumas vezes ligado a um projeto específico. O fluxo de caixa refere-se ao movimento de dinheiro no período passado, enquanto o orçamento é o seu equivalente para períodos futuros.

Valor Atual Líquido (VAL): - Critério financeiro destinado a avaliar investimentos através da comparação entre os cashflows gerados por um projeto e o capital investido. De forma simples, o VAL poderá ser obtido através da seguinte equação:

$$VAL = \sum_{i=0}^n \frac{FC_i}{(1+t)^i} \quad (1)$$

Onde,

FC_i = Fluxo de caixa no ano i ;

t = Taxa de desconto.

De forma geral, um projeto de investimento é considerado rentável quando o seu VAL é positivo. Outro indicador que se baseia no VAL e que nos permite conhecer a rentabilidade gerada por um determinado investimento é a designada Taxa Interna de Rentabilidade (TIR).

Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) - É gerada por determinado investimento e muito utilizada como um dos indicadores chave em estudos de análise de viabilidade, ou seja, representa uma taxa de juro tal, que se o capital investido tivesse sido colocada a essa taxa, obteríamos exatamente a mesma taxa de rentabilidade final. De forma resumida, a TIR representa uma taxa que se utilizada como taxa de desconto, torna o VAL igual a zero.

$$\sum_{i=1}^n \frac{FC_i}{(1 + TIR)^i} - Investimento\ inicial = 0 \quad (2)$$

Onde,

FC = Fluxos de caixa.

i = Período de cada investimento.

n = Período final do investimento.

Tempo de retorno (Payback)- Permite determinar o período de tempo que o projeto leva a recuperar o capital investido. Em termos técnicos, é o tempo de retorno desde o investimento inicial até ao momento em que os rendimentos acumulados tornam-se iguais ao valor desse investimento. Sendo dado pela seguinte equação:

$$PAYBACK = \frac{I}{FC} \quad (3)$$

Onde,

I = Investimento.

FC = Fluxo Caixa.

O payback está relacionado também com os seguintes indicadores:

ROI (Retorno sobre Investimento): Percentual de retorno sobre o investimento inicial, permite avaliar a eficiência e capacidade de gestão dos investimentos através da medição da capacidade dos ativos gerarem retorno financeiro, independentemente da forma como esses ativos foram financiados[41].

VPL (Valor Presente Líquido): Valor acumulado do fluxo de caixa, usado para o cálculo exato do payback, é também calculado para saber qual o valor atual de um investimento, bem como a sua rentabilidade[42].

Taxa de Lucratividade: A lucratividade, designada também por margem de lucro, é um indicador que mostra o ganho obtido pela empresa sobre as vendas realizadas num período.

O índice de lucratividade também é um valor percentual e indica qual a eficiência operacional da empresa, ou seja, se suas operações pagam os custos e as despesas [43].

4.2.2 IMPACTO ENERGÉTICO NA SUBESTAÇÃO

A utilização dos módulos FER aliados à SM irá permitir não só aumentar a sua fiabilidade, mas também reduzir e/ou alterar a dependência quer do TSA quer do Gerador a Diesel contribuindo para um impacto energético sustentável.

Apesar de uma SM ter diversas cargas que necessitam de ser alimentadas em regra geral através do TSA, existem algumas cargas cruciais para garantir o funcionamento mínimo da SM e que estão sublinhadas no diagrama de cargas abaixo apresentado, serão as designadas cargas de maior relevo.

Date		28-Apr-21		CÁLCULO DE CARGAS E CONSUMO										
		DETALHES ELÉTRICOS												
					Cargas na fase L1 (R):		46	Amp	Tensão (Fase-Neutro)		230			
Total KW		29,47	Kw	Cargas na fase L2 (Y):		26	Amp	Tensão (L1-L2)		400				
Total KVA		34	Kva	Cargas na fase L3 (B):		36	Amp	Tensão (L2-L3)		400				
Total de cargas		112	Amp	Corrente de Arranque :		113	Amp	Tensão (L1-L3)		400				
Detalhes de equipamentos										Electrical Load Detail				
Aplicação	1Ph 3Ph	Load on Phase	Unit Power (Kw)	P.f	Qty	Type of Load	Demand Factor	Motor Starter	Use	Absorb (Kva)	Full Load Current (Amp)	Starting Current (Amp)	Estimated Power (KW)	Estimated Power (Kva)
Carregador de Baterias	1	R	2,3	0,99	1	Other	1		Non-Cont	2	10	10	2,3	2
Motor Regulador em Carga	3		6,92	0,8	1	Motor	0,5		Non-Cont	9	12	15	3,46	4
Iluminação Exterior	1	Y	0,5	0,9	1	Lighting	0,8		Non-Cont	1	2	2	0,4	0
Ar Condicionado	1	B	0,8	1	2	A.C	1		Cont	2	7	7	1,6	2
Radiadores 2x1500W	1	R	3	1	1	Heating	1		Non-Cont	3	13	13	3	3
Bombas	3		0,8	0,8	2	Motor	1		Cont	2	3	3	1,6	2
Ventiladores	3		0,41	0,41	4	Motor	1		Cont	4	6	7	1,64	4
Resistências Aquec. L1 (PASS)	1	R	2,65	1	1	Heating	0,8		Non-Cont	3	12	12	2,12	2
Resistências Aquec. L2 (PASS)	1	Y	2,65	1	1	Heating	0,8		Non-Cont	3	12	12	2,12	2
Resistências Aquec. L3 (PASS)	1	B	2,65	1	1	Heating	0,8		Non-Cont	3	12	12	2,12	2
Iluminação contentor	1	Y	0,3	0,9	1	Lighting	0,8		Non-Cont	0	1	1	0,24	0
Alim. Armário Gerador	3		7,47	0,9	1	Other	1		Non-Cont	8	12	12	7,47	8
Alim. Circuito Celas MT	1	B	1,4	0,9	1	Other	1		Non-Cont	2	7	7	1,4	2

Figura 4.1. Apresentação das cargas de maior relevo.

A SM para desempenhar a sua função possui alguns encargos que devem ser tidos em consideração, nomeadamente os custos de manutenção e operação. A manutenção pode ser levada a cabo por um conjunto de técnicos especializados normalmente com inspeções periódicas.

No que concerne aos custos de operação é necessário considerar as cargas de maior relevo e que durante o funcionamento da SM devem estar conectadas de forma permanente. A Figura 4.1 apresenta as cargas de maior relevo, sendo elas o Carregador de Baterias, as Bombas e Ventiladores para o arrefecimento do TP, Alimentação do armário de comando do Gerador e a Alimentação do Circuito das Celas MT. Do somatório da potência destas cargas o valor obtido é de 14,41kW. Este valor servirá de referência ao consumo da SM e entrará na comparação com a produção obtidas através das FER.

4.2.3 IMPACTO ECONÓMICO

O estudo do impacto económico consiste numa análise cuidada a vários cenários de utilização da SM e das unidades FER com o objetivo de analisar a sua rentabilidade e os ganhos que a empresa poderá obter em função da sua aquisição. A Tabela 4.2 apresenta os cenários considerados na análise económica a ser apresentada.

Tabela 4.2. Consideração de cenários para cálculo Económico.

Cenário	Descrição do Cenário em estudo
Cenário 1	Operação continua da SM, sem unidades FER
Cenário 2	Operação continua da SM, com sistema PV para autoconsumo
Cenário 3	Operação continua da SM, com sistema Eólico para autoconsumo
Cenário 4	Operação na modalidade de aluguer, sem unidades FER
Cenário 5	Operação intermitente da SM, com sistema PV e Eólico conectados à rede
Cenário 6	Operação intermitente da SM, sem unidades FER
Cenário 7	Operação continua da SM, com sistema Eólico e PV para autoconsumo
Cenário 8	Operação intermitente da SM a 1 mês e a 3 meses, sem unidades FER
Cenário 9	Operação continua da SM, com gerador para autoconsumo

Para os cenários aqui enumerados serão realizados cálculos de investimento económico para aferir a rentabilidade financeira do investimento. Assim, serão aqui usadas as funções e termos técnicos descritos anteriormente em 4.2.1.

4.2.3.1 CENÁRIO 1 – OPERAÇÃO CONTÍNUA DA SM, SEM UNIDADES FER

A operação contínua da SM parte do pressuposto em que a mesma está em funcionamento permanente e que os cálculos são baseados tendo por base valores anuais. Apesar da sua construção ser realizada para situações de emergência, as mesmas são construídas para trabalhar durante longos anos, bem como os equipamentos de potência que as constituem. As SM são usadas em grande escala em países com grandes lacunas ao nível da transformação, transporte e distribuição de energia, ocorrendo casos em que as mesmas são estacionadas em subestações fixas servindo como aumento de potência para uma determinada zona do país. Este tipo de situações verificam-se normalmente em

alguns países da América Latina e Africanos com redes e sistemas de energia ainda pouco desenvolvidos [44], [45].

A Tabela 4.3 que se segue apresenta os dados obtidos para o cenário 1, aqui descrito, e que se baseia apenas no funcionamento base da SM, sem consideração de qualquer tipo de sistema de alimentação FER.

Tabela 4.3. Dados de estudo do cenário 1.

Descrição dos dados técnicos	Dados Técnicos
Potência nominal de funcionamento (MVA)	50
Tempo de funcionamento (h)	8760
Valor de deslastre de carga (VOLL) PT (€/kWh)	5,12
Despesas de operação com pessoal técnico(€/ano)	97 200,00
Custo médio energia PT (€/kWh)	0,2259
Custo energia por horas de operação/manutenção(€)	162,65
Nº horas fora de serviço em Classe II	59
Valor referência para custo de interrupção (€/kWh)	9,2
Custo associado a horas fora de serviço (Interrupção) (€)	542,8
Carga de maior relevo (kW)	14,41
Custos de operação continua (€/ano)	28 323,66
Apresentação resultado (€/ano)	2 116 330,89

Dado o funcionamento permanente da SM e as suas necessidades de operação, existem despesas como as de operação e manutenção que necessitam de pessoal técnico e que devem ser consideradas. Neste estudo, partiu-se do pressuposto que seriam necessários 3 técnicos que trabalham na SM o equivalente a 3 meses não contínuos por ano e que auferem aproximadamente 45 €/h perfazendo um valor total de 97 200 euros.

O custo médio de energia em Portugal também foi considerado para o cálculo, sendo o mesmo de acordo com o Eurostat e a ERSE em média igual a 0,2259€/kWh [37]. Durante a operação da SM e tendo por base a intervenção técnica a 90 dias, o custo de energia consumida associado é de 162,65 €. Já o custo associado às horas de interrupção não é mais que a multiplicação do valor de referência de 9,2 €/kWh pelo número de horas de interrupção tipo II perfazendo um valor de 542,8€. Para calcular os custos de operação no final do ano é necessário ter em consideração a carga de maior relevo da SM, a diferença entre o número de horas anuais e as interrupções, bem como o custo médio de energia em Portugal.

A determinação do resultado líquido anual terá que ter em consideração a potência nominal da SM, o número de horas de funcionamento e subtrair os custos de operação, manutenção e as interrupções. De forma simplificada, utilizou-se a seguinte equação:

$$CF = (P_n \times n^{\text{horas anual}} \times VOLL) - (\text{Custos de O\&M} + \text{Falhas}) \quad (4)$$

onde,

$CF = \text{CashFlow}$

$P_n = \text{Potência nominal da SM};$

$VOLL = \text{Value Of Lost Load}.$

O resultado líquido anual obtido foi de 2 116 330,89€, valor este a usar no cálculo de investimento apresentado no Anexo C, Tabela C. 1. Com estes valores foi possível calcular os indicadores económicos apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 1.

Indicadores	Valores Obtidos
Soma VPs (Ano 1 a 25)	13 680 100,92 €
VPL do projeto	11 680 100,92 €
Taxa interna de retorno (TIR)	106%
Taxa de lucratividade	6,84
Tempo de retorno (payback) em anos	1,10
Retorno sobre o Investimento (ROI)	584%

Dos valores obtidos e apesar do investimento inicial no valor de 2 milhões de euros, observa-se que estamos perante um investimento rentável que segundo as condições deste cenário o payback ou o tempo que levaria a pagar o investimento inicial seria de apenas 1,10 anos. O projeto teria um retorno do investimento ROI de 584% e uma taxa de lucratividade de 6,84 que como se trata de um valor superior a 1 significa que o projeto é lucrativo e que por cada euro investido é obtido um ganho de 6,84 euros.

Com os valores obtidos a 25 anos podemos traçar um gráfico (Figura 4.2) que nos permite verificar a curva ascendente dos valores acumulados do investimento.

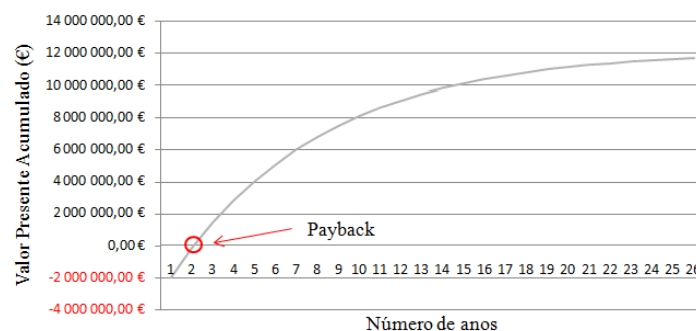


Figura 4.2. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback.

A curva de valores apresentada na Figura 4.2 permite verificar o payback do investimento através da interseção da curva com o valor 0.

4.2.3.2 CENÁRIO 2 – OPERAÇÃO CONTÍNUA DA SM, COM SISTEMA PV PARA AUTOCONSUMO

O presente cenário consiste na operação contínua da SM com acoplamento de uma unidade PV usada para autoconsumo, contribuindo desta forma para a redução dos custos associados de ligação à rede, para alimentar as cargas da SM. Este sistema permitirá também acrescentar maior fiabilidade e independência de ligação à rede. A Tabela 4.5 que se segue apresenta os dados obtidos para o cenário 2.

Tabela 4.5. Dados de estudo do cenário 2.

Descrição dos dados Técnicos	Dados Técnicos
Potência nominal de funcionamento SM (MVA)	50
Potência nominal de funcionamento sistema PV (kW)	34
Produção Média esperada anual (kWh)	74 865,76
Custo troca de baterias (€)	800
Carga de maior relevo (kW)	14,41
Custos de operação continua (€/ano)	11 411,49
Apresentação resultado (€/ano)	2 133 948,51

Usando por base o estudo anterior, ao presente cenário acresce o sistema de produção PV onde foram considerados dados de produção dos últimos 6 anos [46] com o intuito de calcular a produção anual e chegar a um valor referência após 6 anos de produção. A produção média dos últimos 6 anos foi de 74 865,76 kWh, este valor será

usado como referência para os restantes anos até aos 25 anos, tempo de vida útil considerado para a SM.

A cada 12 anos será necessária a substituição das baterias usadas no barramento DC da SM, bem como o banco de baterias que faz parte do sistema PV, o valor das mesmas é de 800€ [47]. Este valor é tido por consideração igual ao das baterias que estão no barramento DC principal da SM, de acordo com o Anexo A. Este será um valor a considerar com custo fixo de 12 em 12 anos dado tratar-se do tempo de vida útil das baterias usadas para este tipo de aplicação [23].

Este cenário como possui produção PV de autoconsumo permitirá reduzir os custos de operação contínua, sendo esta a grande diferença entre estes dois primeiros cenários. O resultado líquido anual obtido foi de 2 133 948,51€, valor este a usar no cálculo de investimento e apresentado no Anexo C, Tabela C. 2.

Através dos valores apresentados e de acordo com os indicadores económicos anteriormente definidos e agora calculados, podemos verificar os mesmos através da Tabela 4.6 para o cenário em assunto.

Tabela 4.6. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 2.

Indicadores	Valores Obtidos
Soma VPs (Ano 1 a 25)	13 793 983,86 €
VPL do projeto	11 723 983,86 €
Taxa interna de retorno (TIR)	103%
Taxa de lucratividade	6,66
Tempo de payback	1,13
Retorno Investimento (ROI)	566%

Dos valores obtidos verifica-se uma redução na TIR e no ROI não muito significativa, mas que está diretamente interligada à aquisição do sistema PV e ao seu uso em modo de autoconsumo. O valor de investimento inicial aqui situa-se nos 2 milhões e 70 mil euros.

Estamos perante um investimento rentável que segundo as condições deste cenário, o payback ou o tempo que levaria a pagar o investimento inicial seria de apenas 1,13 anos. Isto associado a um retorno do investimento ROI de 566% e uma taxa de

lucratividade de 6,66 que como se trata de um valor superior a 1 significa que o projeto é lucrativo e que por cada euro investido é obtido um ganho de 6,66 euros.

O gráfico da Figura 4.3 permite verificar a curva ascendente dos valores acumulados do investimento e encontrar o payback do investimento.

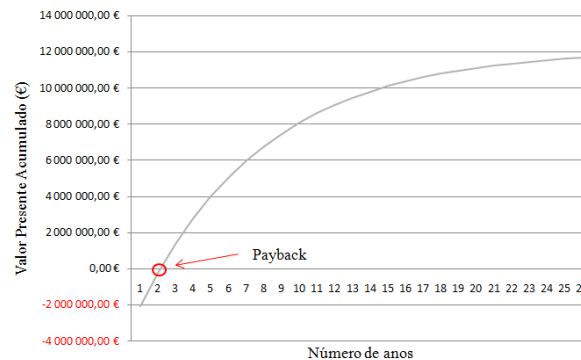


Figura 4.3. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback.

4.2.3.3 CENÁRIO 3 – OPERAÇÃO CONTÍNUA DA SM, COM SISTEMA EÓLICO PARA AUTOCONSUMO

O cenário em estudo consiste na operação contínua da SM com acoplamento de uma unidade eólica usada para autoconsumo, contribuindo desta forma para a redução dos custos associados de ligação à rede BT. Este sistema permitirá também acrescentar maior fiabilidade e independência de ligação à rede embora não tenha capacidade para suprir a totalidade das necessidades totais de carga que a SM possui uma vez ser um sistema com apenas 10kW de potência.

Tabela 4.7. Dados de estudo do cenário 3.

Descrição dos dados Técnicos	Dados Técnicos
Potência nominal de funcionamento SM (MVA)	50
Potência nominal de funcionamento de sistema eólico (kW)	10
Produção Média esperada anual (kWh)	41 372,42
Carga de maior relevo (kW)	14,41
Custos de operação contínua (€/ano)	18 977,63
Apresentação resultado (€/ano)	2 126 382,37

O presente cenário, que tem por base os valores da Tabela 4.7, difere do anterior no tipo de sistema FER, sendo o atual baseado em produção eólica. À semelhança do PV para este sistema também foram considerados dados de produção dos últimos 6 anos [48],

[49]com o intuito de calcular a produção anual e chegar a um valor referência após 6 anos de produção. A produção média dos últimos 6 anos foi de 41 372,42 kWh, este valor será usado como referência para os restantes anos até aos 25 anos, tempo de vida útil considerado para a SM. Os custos de operação contínua não são menores que os do sistema PV, no entanto verifica-se uma redução em comparação com o primeiro cenário.

O resultado líquido anual obtido foi de 2 126 382,37€, valor este a usar no cálculo de investimento no Anexo C,

Tabela C. 3.

São aqui apresentados os indicadores económicos anteriormente definidos e agora calculados e apresentados na Tabela 4.8 para o cenário 3.

Tabela 4.8. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 3.

Indicadores	Valores Obtidos
Soma VPs (Ano 1 a 25)	13 745 075,18 €
VPL do projeto	11 675 075,18 €
Taxa interna de retorno (TIR)	103%
Taxa de lucratividade	6,64
Tempo de payback	1,14
Retorno Investimento (ROI)	564%

Verifica-se uma redução na TIR e no ROI não muito significativa, mas que está diretamente interligada à aquisição do sistema Eólico e ao seu uso em modo de autoconsumo. O valor de investimento inicial aqui situa-se também nos 2 milhões e 70 mil euros, no entanto este é um sistema com menos benefícios porque não permite dar resposta a todo o consumo realizado pelo normal funcionamento dos circuitos auxiliares da SM.

Em comparação com o cenário 2, este é menos compensatório porque estamos a falar de uma diferença de potência instalada entre módulos de 24kW, facto que se deixa notar na taxa de lucratividade, no payback e no ROI, embora de forma muito diminuta.

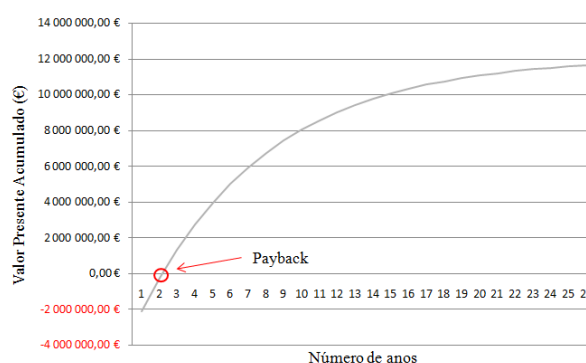


Figura 4.4. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 3.

A Figura 4.4 apresenta aqui a curva do valor presente acumulado e o payback visível graficamente.

4.2.3.4 CENÁRIO 4 – OPERAÇÃO NA MODALIDADE DE ALUGUER, SEM UNIDADES FER

A modalidade de aluguer poderá ser uma alternativa para evitar que a SM fique longos períodos de tempo parada (em caso de operação não contínua), desta forma a empresa proprietária da SM terá aqui a oportunidade de rentabilizar o seu investimento.

O valor obtido no cenário 1 servirá aqui como valor referência, sendo também necessário considerar que neste modo a SM terá que ter algum tempo de paragem para transporte da mesma entre alugueres. O valor considerado neste estudo para o efeito foi o equivalente a 3 meses de paragem, tratando-se de um pressuposto para a realização do cálculo final.

O tempo de paragem normalmente associado à necessidade de aumento de potência são de grande importância pois dele depende a alimentação de milhões de consumidores, facto este que pode acarretar custos avultados para as empresas caso não consigam dar resposta à procura.

Por se tratar muitas vezes de situações de emergência, seja por danos causados na rede por catástrofes naturais ou por aumento súbito do consumo, o fornecedor de energia poderá não ter o tempo necessário para aguardar o fabrico de uma SM que poderá chegar a um ano ou mais dependendo da complexidade da SM [50], tendo que recorrer a aluguer para suprir as suas necessidades imediatas.

Tabela 4.9. Dados de estudo do cenário 4.

Descrição dos dados Técnicos	Dados Técnicos
Potência nominal de funcionamento SM (MVA)	50
Valor obtido em funcionamento normal, sem aluguer (€/ano)	2 116 330,89
Tempo de Comissionamento (h)	80
Custo de Comissionamento (€)	19200
Aluguer trimestral (€)	1 077 365,45
Apresentação resultado, (€/ano)	3 232 096,34

A Tabela 4.9 apresenta os seguintes pressupostos, o tempo de comissionamento considerado aqui foi de 10 dias, o que equivale a 80 horas de trabalho normal diário, o custo de comissionamento baseia-se neste tempo de comissionamento e numa média de 3 técnicos para colocarem a SM em serviço, com um valor pago de 80 € por dia, valor que depende sempre do país e condições do local onde será instalada a SM. Foi também

considerado o pressuposto que a SM estaria 3 meses sem ser alugada, para assim diluir o tempo de transporte entre cada aluguer e possíveis manutenções a serem feitas.

Como salvaguarda e de forma a garantir uma rentabilidade adequada, o arrendatário poderá estipular um valor que lhe garanta pelo menos meio ano de rendimento normal. Isto porque poderá haver meses em que não consiga alugar a SM, desta forma o valor do aluguer trimestral considera 50% do valor obtido num funcionamento normal anual. Multiplicando o valor do aluguer trimestral por 3 vezes ao ano obtêm-se o resultado final de 3 232 096,34 € por ano.

De acordo com o Anexo C, a Tabela C. 4 apresentada, reproduz os valores de fluxo de caixa e valores presente ao longo dos 25 anos de funcionamento útil da SM.

São aqui apresentados os indicadores económicos anteriormente definidos e agora calculados e apresentados na Tabela 4.10.

Tabela 4.10. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 4.

Indicadores	Valores Obtidos
Soma VPs (Ano 1 a 25)	20 896 949,60 €
VPL do projeto	18 896 949,60 €
Taxa interna de retorno (TIR)	162%
Taxa de lucratividade	10,45
Tempo de payback	0,71
Retorno Investimento (ROI)	945%

Os indicadores económicos aqui obtidos refletem a excelente oportunidade de negócio que poderá ser o presente cenário de aluguer ao apresentar um tempo de retorno de investimento inferior a 1 ano, com um TIR e um ROI claramente superiores aos restantes cenários. O valor base de renda trimestral determinado por quem detém a SM foi essencial para a obtenção destes valores.

É necessário ter em consideração que os valores apresentados são para uma situação ideal em que a SM é alugada 3 vezes por ano durante 25 anos.

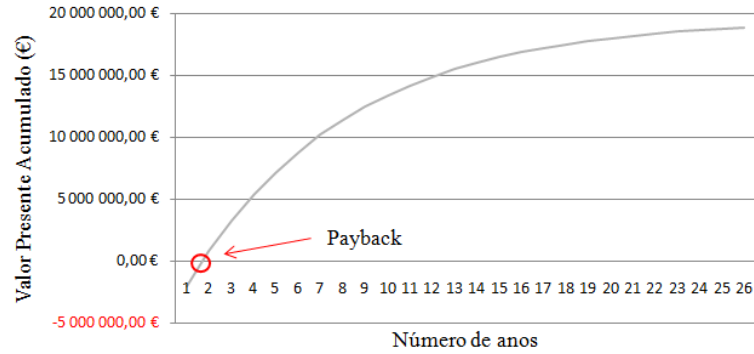


Figura 4.5. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 4.

A Figura 4.5 apresenta aqui a curva do valor presente acumulado e o payback visível graficamente para este cenário.

4.2.3.5 CENÁRIO 5 – OPERAÇÃO INTERMITENTE DA SM, COM SISTEMA PV E EÓLICO CONECTADOS À REDE

O presente cenário tem por base a utilização mínima da SM de 6 meses por ano, tirando partido da produção de energia realizada através dos sistemas PV e Eólico, através da conexão à rede.

O ganho obtido com o funcionamento da SM baseia-se nos valores já calculados anteriormente no Cenário 1. No que se refere às FER, é levado em consideração o possível ganho de se a energia produzida fosse vendida em mercado ao abrigo do contrato de Regime remuneratório e de compensação previsto no artigo 24º do decreto de lei nº 153/2014. Para efeito do cálculo da remuneração a obter segundo o artigo descrito anteriormente utiliza-se a seguinte equação:

$$R_{UPAC,m} = E_{fornecida,m} \times OMIE_m \times 0,9 \quad (5)$$

Onde,

$R_{UPAC,m}$ = Remuneração da eletricidade fornecida à rede no mês 'm', em €;

$E_{fornecida,m}$ = Energia fornecida no mês 'm' em kWh;

$OMIE_m$ = Valor resultante da média aritmética simples dos preços de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal (mercado diário), relativos ao mês 'm', em €/kWh [51], [52].

Na Tabela 4.11 são apresentados os valores considerados para o estudo do cenário aqui apresentado.

Tabela 4.11. Dados de estudo do cenário 5.

Descrição dos dados Técnicos	Dados Técnicos
Potência nominal de funcionamento (MVA)	50
Tempo de funcionamento (h) - 6 meses de funcionamento anual	4380
Valor de deslastre de carga(VOLL) em Portugal (€/kWh)	5,12
Despesas de operação com pessoal técnico(€/ano)	97 200,00
Custo médio energia PT (€/kWh)	0,2259
Custo de energia por horas de O&M (€)	162,65
Nº horas fora de serviço em Classe II	59
Valor de referência para custo de Interrupção (€/kWh)	9,2
Custo associado a horas fora de serviço (Interrupção) (€)	542,8
Carga de maior relevo (kW)	14,41
Custos de operação (€/ano)	14 065,80
Ganho obtido do funcionamento intermitente a 6 meses (€)	1 009 308,75
Remuneração média semestral obtida com PV na rede (€/ano)	1 643,63
Remuneração média semestral obtida com Eólico na rede (€/ano)	902,78
Apresentação resultado (€/ano)	1 011 855,16

Os dados apresentados foram calculados para 6 meses quer para o funcionamento da SM como para os sistemas FER. O resultado final é a soma do ganho obtido com o funcionamento da SM, mais o ganho da remuneração obtida com a venda da energia PV e eólica à rede. De acordo com o Anexo C, Tabela C. 5, são apresentados os valores ao longo dos 25 anos de exploração.

Os indicadores económicos apresentados na Tabela 4.12, permitirão averiguar se estamos perante um cenário de investimento adequado e rentável.

Tabela 4.12. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 5.

Indicadores	Valores Obtidos
Soma VPs (Ano 1 a 25)	6 540 427,67 €
VPL do projeto	4 400 427,67 €
Taxa interna de retorno (TIR)	47%
Taxa de lucratividade	3,06
Tempo de payback	2,74
Retorno Investimento (ROI)	206%

Dos valores aqui apresentados, verifica-se um payback acima dos valores apresentados até ao momento e igual a um tempo de retorno de investimento a aproximar-se dos 3 anos. Valor que poderá estar relacionado com a utilização da SM de forma semestral bem como dos sistemas FER. Este não deixa por si só de ser um possível negócio com rentabilidade que considera um tempo de utilização talvez mais ajustado à realidade.

Na Figura 4.6 apresenta aqui a curva do valor presente acumulado e o payback visível graficamente para este cenário.

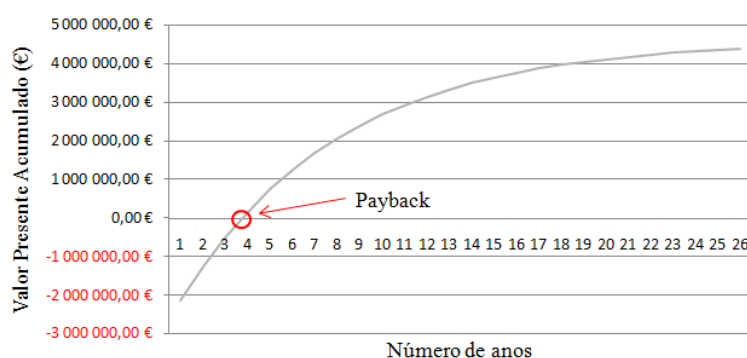


Figura 4.6. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 5.

4.2.3.6 CENÁRIO 6 – OPERAÇÃO INTERMITENTE DA SM, SEM UNIDADES FER

O cenário atual contempla os mesmos dados do Cenário 5 sem utilização dos módulos FER. Será aqui considerada uma utilização a 6 meses.

Tabela 4.13.Dados de estudo do cenário 6.

Descrição dos dados Técnicos	Dados Técnicos
Potência nominal de funcionamento (MVA)	50
Tempo de funcionamento (h) - 6 meses de funcionamento anual	4380
Valor médio de deslastre de carga (VOLL) em Portugal (€/kWh)	5,12
Despesas de operação com pessoal técnico(€/ano)	97 200,00
Custo médio de energia (PT) (€/kWh)	0,2259
Custo energia por horas de O&M (€)	162,65
Nº horas fora de serviço em Classe II	59
Valor referência para custo de Interrupção (€/kWh)	9,2
Custo associado a horas fora de serviço (Interrupção) (€)	542,8
Carga de maior relevo (kW)	14,41
Custos de operação (€/ano)	14 065,80
Apresentação resultado (€/ano)	1 009 308,75

No Anexo C, Tabela C. 6, são apresentados os valores ao longo dos 25 anos de exploração. Os indicadores económicos apresentados na Tabela 4.14, permitirão averiguar se estamos perante um cenário de investimento adequado e rentável.

Tabela 4.14. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 6.

Indicadores	Valores obtidos
Soma VPs (Ano 1 a 25)	6 524 144,76 €
VPL do projeto	4 524 144,76 €
Taxa interna de retorno (TIR)	50%
Taxa de lucratividade	3,26
Tempo de payback	2,54
Retorno Investimento (ROI)	226%

O cenário atual possui um payback de 2,54 anos com uma taxa de lucratividade de 3,26 e um ROI de 226%. A Figura 4.7. apresenta a curva do valor presente acumulado e o payback visível graficamente para este cenário.

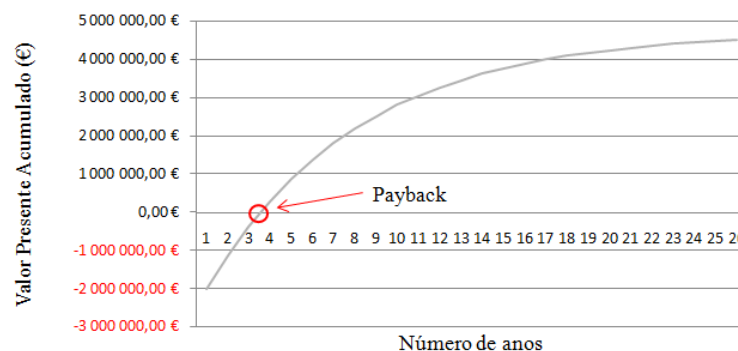


Figura 4.7. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 6.

4.2.3.7 CENÁRIO 7 – OPERAÇÃO CONTÍNUA DA SM, COM SISTEMA EÓLICO E PV PARA AUTOCONSUMO

Este cenário permitirá suprir todas as necessidades de consumo energético da SM, uma vez que é utilizado o conjunto dos sistemas eólico e PV para produção de energia com a finalidade de autoconsumo. Com o funcionamento destes sistemas em conjunto, a SM torna-se autónoma no que diz respeito à alimentação dos seus circuitos auxiliares para comando e controlo da mesma.

A Tabela 4.15 apresenta os valores principais a considerar para o cálculo de investimento deste cenário, com a produção média esperada para cada um dos sistemas FER.

Tabela 4.15. Dados de estudo do cenário 7.

Descrição dos dados Técnicos	Dados Técnicos
Potência nominal de funcionamento (MVA)	50
Potência nominal funcionamento sistema Eólico (kW)	10
Potência nominal funcionamento sistema PV (kW)	34
Prod. Média esperada anual Eólica (kWh)	41372,42
Prod. Média esperada anual PV (kWh)	74865,76
Carga de maior relevo (kW)	14,41
Custos de operação (€/ano)	2065,46
Apresentação resultado (€/ano)	2 143 294,54

No Anexo C, Tabela C. 7 é possível verificar a demonstração dos valores para 25 anos de exploração. Os indicadores económicos apresentados na Tabela 4.16, permitirão averiguar se estamos perante um cenário de investimento adequado e rentável.

Tabela 4.16. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 7.

Indicadores	Valores Obtidos
Soma VPs (Ano 1 a 25)	13 854 220,52 €
VPL do projeto	11 714 220,52 €
Taxa interna de retorno (TIR)	100%
Taxa de lucratividade	6,47
Tempo de payback	1,17
Retorno Investimento (ROI)	547%

A Figura 4.8. apresenta aqui a curva do valor presente acumulado e o payback visível graficamente para este cenário.

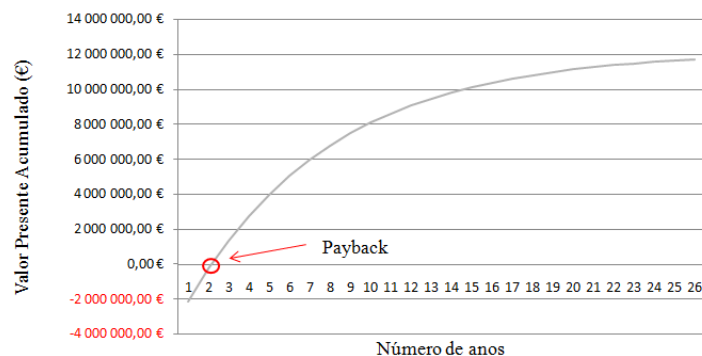


Figura 4.8. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 7.

4.2.3.8 CENÁRIO 8 – OPERAÇÃO INTERMITENTE DA SM A 1 MÊS E A 3 MESES, SEM UNIDADES FER

No sentido de averiguar a rentabilidade de uma SM ao longo do seu tempo de funcionamento em condições adequadas, este cenário irá considerar períodos de funcionamento baixos a cada ano com uma análise económica feita para 1 mês e 3 meses por ano de utilização da mesma. Estes serão certamente os casos mais desfavoráveis no que concerne à exploração da SM. Independentemente do seu tempo de funcionamento, a presença de pessoal técnico é essencial para detetar e retificar pequenos inconvenientes que possam surgir a nível elétrico e mecânico, sendo este um custo a considerar no cálculo final. Procedeu-se também a uma correlação das interrupções tipo II para os espaços temporais de utilização aqui considerados. Por fim, é calculado os valores de ganho por ter a SM a funcionar quer mensalmente quer de forma trimestral, verificando-se à partida que o valor obtido semestralmente será demasiado baixo para tornar a utilização e exploração da SM rentável.

A Tabela 4.17 apresenta os valores principais a considerar para o cálculo de investimento deste cenário, obtendo-se assim o ganho obtido para um funcionamento da SM a 1 e 3 meses. Com estes valores foram realizados os cálculos dos fluxos de caixa e do valor presente e valor presente acumulado para 1 e 3 meses, apresentadas no Anexo C, Tabela C. 8 e Tabela C. 9, respetivamente.

Tabela 4.17. Dados de estudo do cenário 8

.Descrição dos dados Técnicos	Dados Técnicos
Potência nominal de funcionamento (MVA)	50

Tempo de funcionamento (h) - 1 mês de funcionamento anual	730
Tempo de funcionamento (h) - 3 meses de funcionamento anual	2190
Valor médio VOLL PT (€/kWh)	5,12
Pessoal Técnico (x3 pessoas) correspondente a 1 mês (€)	8 100,00
Pessoal Técnico (x3 pessoas) correspondente a 3 mês (€)	24 300,00
Despesas Operação com Pessoal Técnico(€/ano)	97 200,00
Custo médio energia PT (€/kWh)	0,2259
Custo energia Horas Operação/Manutenção(€)	162,65
Nº horas fora de serviço em Classe II correspondente a 1 mês	4,92
Nº horas fora de serviço em Classe II correspondente a 3 mês	14,75
Custo Interrupção (€/kWh)	9,2
Custo associado a HFS (Horas Fora de Serviço) para 1 mês	45,23
Custo associado a HFS (Horas Fora de Serviço) para 3 mês	135,70
Carga de maior relevo (kW)	14,14
Custos de operação a 1 mês (€)	2316,08
Custos de operação a 3 meses (€)	6948,24
Apresentação resultado (€/ano)- p/ 1 mês	176 256,04
Apresentação resultado (€/ano)- p/ 3 meses	529 093,41

Da análise que se pode fazer ao valor presente acumulado da Tabela C. 8, pode aferir-se que os valores negativos aqui apresentados serão suficientes para definir se estamos perante um projeto viável ou não.

A viabilidade deste projeto pode ser vista através da apresentação dos indicadores económicos apresentados na Tabela 4.18.

Tabela 4.18. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 8 (a 1 mês).

Indicadores	Valores Obtidos
Soma VPs (Ano 1 a 25)	1 126 822,80 €
VPL do projeto	-873 177,20 €
Taxa interna de retorno (TIR)	7%
Taxa de lucratividade	0,56
Tempo de payback	Projeto Inviável
Retorno Investimento (ROI)	-44%

Como estamos perante um cenário que apresenta um VPL negativo, bem como uma taxa de lucratividade inferior a 1 e um ROI também ele negativo, estes elementos

são suficientes para indicar que estamos perante um projeto **inviável**. Isto é, não será possível reaver o dinheiro investido no prazo máximo de 25 anos considerado para o tempo de funcionamento de 1 mês por ano da SM.

O gráfico da Figura 4.9 reflete precisamente a impossibilidade de retorno do investimento realizado caso se opte por uma utilização esporádica de apenas 1 mês por ano da SM.

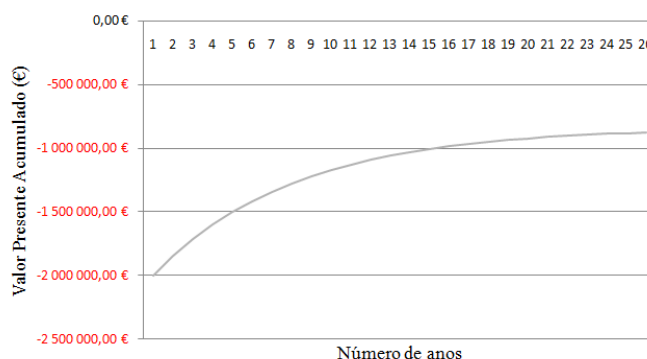


Figura 4.9. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 8 (a 1 mês).

Após a análise realizada para 1 mês de utilização, serão aqui apresentados os valores para uma utilização anual da SM de no mínimo 3 meses, conforme resultados demonstrados no Anexo C, Tabela C. 9.

A tabela anterior permite-nos ter uma noção se o cenário será rentável ou não, mesmo antes do cálculo dos indicadores económicos, isto porque se fizermos uma análise ao valor presente acumulado, verifica-se que o mesmo deixa de ser negativo após a 4ª linha. Isto significa que o payback andarà entre os 3 a 4 anos, como o valor da 4ª linha é inferior ao seu correspondente para o Valor Presente na coluna anterior, então o payback será inferior a 4 anos.

Tabela 4.19. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 8 (a 3 meses).

Indicadores	Valores Obtidos
Soma VPs (Ano 1 a 25)	13 066 859,70 €
VPL do projeto	13 066 859,70 €
Taxa interna de retorno (TIR)	26%
Taxa de lucratividade	6,53
Tempo de payback	3,82
Retorno Investimento (ROI)	553%

Com os indicadores económicos aqui presentes na Tabela 4.19, chegamos à conclusão que para uma utilização média a 3 meses por ano da SM, é possível ter lucro com o investimento e tipo de utilização realizada, embora o mesmo só seja pago ao final de 3,82 anos, não deixando de ser um projeto rentável em comparação com outros cenários já aqui apresentados.

O gráfico da Figura 4.10. apresenta aqui uma reta linear entre o Valor Presente Acumulado e o número de anos de utilização.

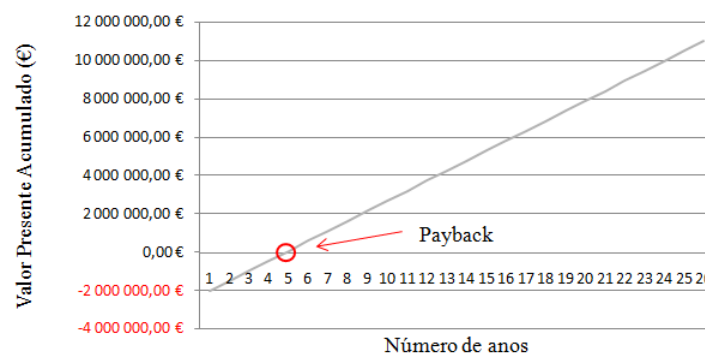


Figura 4.10. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 8 (a 3 meses).

4.2.3.9 CENÁRIO 9 – OPERAÇÃO CONTÍNUA DA SM, COM GERADOR PARA AUTOCONSUMO

O presente cenário aqui a considerar será a operação contínua da SM com alimentação via gerador a diesel. Este estudo permitirá fazer uma análise comparativa com os sistemas FER. Apesar do gerador estar considerado no fornecimento base da SM e que se situa nos 2 milhões de euros, conforme referido na Tabela 4.1, por si só este gerador possui um valor de 12964,2 euros de acordo com informação disponível no Anexo A, valor este bastante inferior ao custo de um módulo FER.

Algumas limitações tais como o facto do gerador ter um tanque limitado a 150 litros[53] o que implica abastecer o mesmo com frequência e também o custo do combustível faz com que numa utilização mais exaustiva este tipo de opção se torne demasiado mais dispendiosa.

Normalmente os geradores a diesel são utilizados como fonte secundária, no caso de falha de alimentação da fonte principal, que neste projeto é realizada diretamente do TSA. O gerador é dotado de uma serie de sinalizações para permitir aos operadores locais

saberem qual o seu estado, ou seja, se está pronto para possível arranque de emergência e se tem combustível necessário no tanque para a sua operação. A seguinte tabela possui os valores de entrada para cálculo económico deste cenário.

Tabela 4.20. Dados de estudo do cenário 9.

Descrição dos dados técnicos	Dados Técnicos
Potência nominal de funcionamento (MVA)	50
Tempo de funcionamento (h)	8760
Valor de deslastre de carga (VOLL) PT (€/kWh)	5,12
Despesas de operação com pessoal técnico(€/ano)	97 200,00
Custo médio energia PT (€/kWh)	0,2259
Custo energia por horas de O&M (€)	162,65
Nº horas fora de serviço em Classe II	59
Valor referência para custo de interrupção (€/kWh)	9,2
Custo associado a horas fora de serviço (Interrupção) (€)	542,8
Carga de maior relevo (kW)	14,41
Potência nominal funcionamento gerador (kW)	50
Consumo gerador à potência nominal (50kW)	4L/h
Correlação consumo gerador à carga de maior relevo (14,14kW)	1,15L/h
Custo médio Diesel (€/L)	1,3
Custos de operação continua (€/ano)	187 445,21
Apresentação resultado (€/ano)	1 957 209,34

O consumo do gerador à potência nominal é de 4 litros por hora, de acordo com documento técnico do equipamento presente no Anexo A. Valor a ter em consideração também é o custo médio do diesel que em 2020 foi de 1,3 euros por litro [54].

O resultado líquido anual obtido foi de 1 957 209,34 €, valor este a usar no cálculo de investimento no Anexo C, Tabela C. 10. São aqui apresentados os indicadores económicos anteriormente definidos e agora calculados e apresentados na Tabela 4.21 para o cenário 9.

Tabela 4.21. Apresentação de indicadores económicos - Cenário 9.

Indicadores	Valores Obtidos
Soma VPs (Ano 1 a 25)	12 651 515,52 €
VPL do projeto	10 651 515,52 €
Taxa interna de retorno (TIR)	98%
Taxa de lucratividade	6,33
Tempo de payback	1,20
Retorno Investimento (ROI)	533%

O tempo de payback obtido neste cenário foi de 1,20 anos, valor muito idêntico ao cenário 1, neste caso os valores são ligeiramente superiores pelo uso do diesel como fonte de alimentação. O gráfico da Figura 4.11 reflete a curva do valor presente acumulado ao longo dos 25 anos.

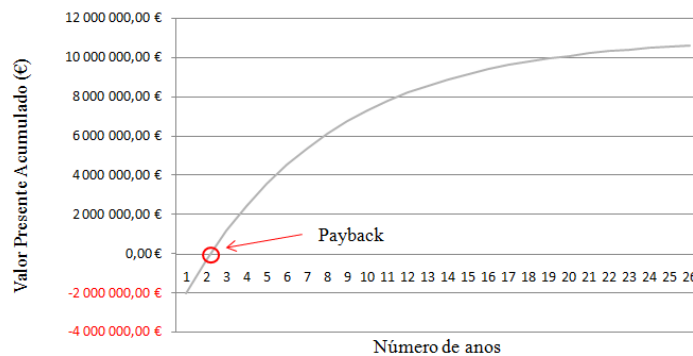


Figura 4.11. Gráfico do Valor Presente Acumulado para obtenção do payback - Cenário 9.

A interseção da curva com o eixo do x, no valor 0 dá-nos o payback associado a este cenário.

4.3 AVALIZAÇÃO DO IMPACTO DAS FER NUMA SM

Para além da dependência energética que as FER podem dar a uma SM e ao seu funcionamento no que concerne à utilização dos circuitos auxiliares de forma ininterrupta e sem falhas, é necessário ter em consideração os diferentes modos de utilização e conjugação entre estes sistemas de forma a majorar os proveitos que daqui se podem retirar. Tanto o sistema PV como o Eólico são sistemas intermitentes, ou seja, dependem das condições climáticas, no entanto em conjunto podem complementarem-se e serem uma mais valia para as SM.

A comparação de cenários do gráfico da Figura 4.12, permite verificar que o payback de todos os cenários em que são usadas as FER numa utilização contínua acabam por não serem muito diferentes entre eles. Isto é, é uma tecnologia que acaba por ver o seu retorno de investimento realizado ao longo da sua utilização.

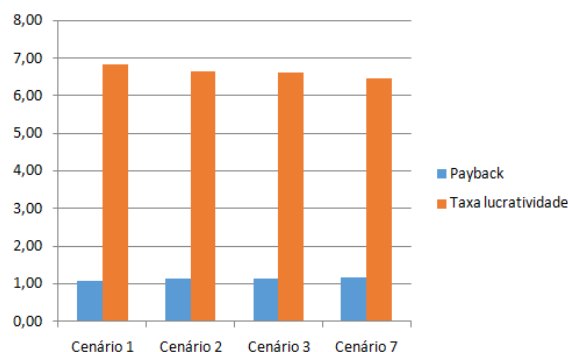


Figura 4.12. Comparação do impacto das FER numa SM.

O cenário 7 como possui os dois sistemas FER em funcionamento para autoconsumo revela uma taxa de lucratividade inferior aos restantes. Isto acontece pelo facto de ser um investimento significativamente mais elevado, bem como o benefício retirado da comercialização de energia não é suficiente para reduzir o payback relativamente a outros cenários. No entanto, este permite fazer uma melhor gestão da energia produzida através dos mesmos, como por exemplo através de um mecanismo de permita comercializar o excedente de energia produzida e injetar o mesmo na rede.

4.4 COMPARAÇÃO TÉCNICO-ECONÓMICA

O presente subcapítulo tem como objetivo a realização de uma análise geral entre os principais indicadores económicos para os diversos cenários aqui apresentados.

De acordo com a Figura 4.13, os três primeiros cenários possuem um payback praticamente igual pelo facto de considerar um funcionamento contínuo da SM, obtendo-se desde logo um rendimento que se reflete claramente no retorno do investimento. O cenário 4 é aquele que mais se evidencia e que possui o menor payback e uma TIR elevada. Inversamente, o cenário 8 é aquele com piores resultados em que o payback é o mais elevado e a TIR a mais baixa em comparação com os restantes cenários.

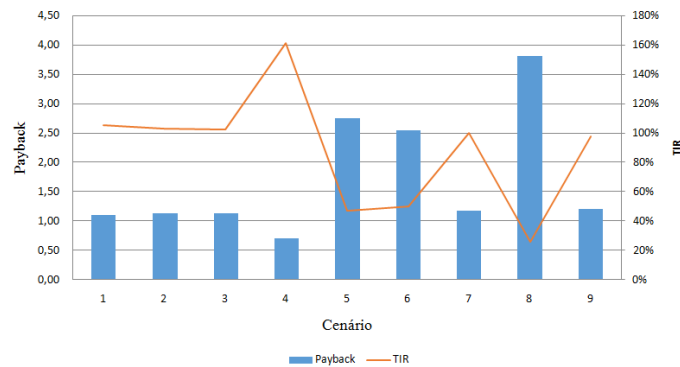


Figura 4.13. Comparação Payback vs TIR dos cenários.

A presente análise pode ser vista também por comparação entre o ROI e a TIR de cada cenário, através da Figura 4.14.

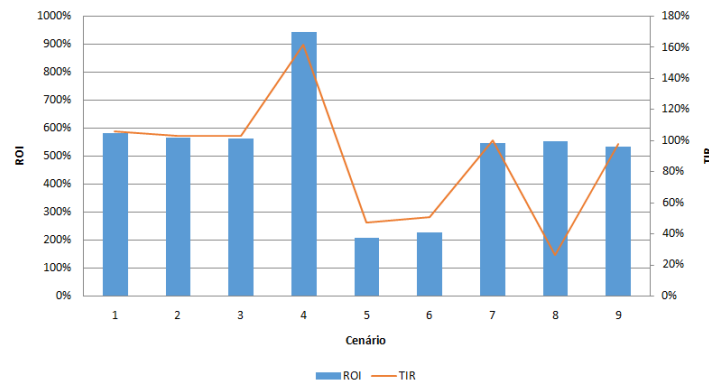


Figura 4.14. Comparação ROI vs TIR dos cenários.

A presente figura compara o ROI de cada cenário com a TIR, sendo que em regra geral a TIR acompanha a subida do ROI. No entanto, os cenários 7 e 8 são os que apresentam maior diferença pelo facto do cenário 7 poder ter um melhor desempenho caso as FER sejam devidamente aproveitadas ao passo que o cenário 8 reflete mais uma vez a menor rentabilidade entre todos os cenários. O cenário 9 por comparação com os restantes cenários que são baseados numa utilização continua da SM apresenta uma rentabilidade inferior e um Payback superior.

5 CONCLUSÕES

Neste capítulo, são apresentadas as principais conclusões e contribuições no âmbito desta dissertação, bem como as perspectivas de trabalho futuro.

5.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

O continuo aumento da população mundial, a crescente procura por energia, a necessidade de investimento em novas linhas de transporte e distribuição, bem como o aumento de potência de subestações, terá um impacto na procura de meios que permitam a construção e assegurem esta melhoria do sector energético.

Complementarmente, a crescente diminuição da utilização dos combustíveis fósseis na produção de energia e a forte aposta nas FER, permitirá a construção de novos sistemas energéticos e a melhoria do sector da produção, transporte e distribuição de energia. No sentido de ajudar na revitalização dos sistemas de energia e nos aumentos de potência, as SMs são a solução ideal para garantir de forma segura a ininterruptibilidade no fornecimento de energia, seja de forma contínua ou parcial.

Um dos objetivos identificados nesta dissertação visa a contribuição e modernização do Circuitos auxiliares de Comando e Controlo das SMs, dado ser através

destes que sai todo o controlo e comando das mesmas. Reforçar os seus sistemas de alimentação e torná-los autónomos foi o principal motivo para incluir sistemas de energias renováveis, como fontes auxiliares de alimentação.

O desenvolvimento e configuração dos serviços auxiliares de uma SM, bem como a sua conceção e o desenvolvimento detalhado do projeto elétrico de comando e controlo possui igualmente grande relevância no sentido de se averiguar em termos técnicos a aplicabilidade das FER. Além disso, contribui para uma análise técnico-económica destes sistemas nas SM, através da criação de vários cenários de estudo.

No sentido de averiguar os benefícios com a aquisição de uma SM e a sua rentabilidade mediante o tipo de exploração a realizar da mesma, esta dissertação fornece 9 cenários distintos que contemplam a operação continua da SM, intermitente e também na modalidade de aluguer. A sua utilização pode ser feita tendo por base a utilização independente ou conjunta de unidades FER para autoconsumo ou conectados à rede. Por comparação com as unidades renováveis, foi realizada uma análise também à utilização do gerador a diesel para autoconsumo.

O estudo económico realizado para cada cenário permite aferir com exatidão qual a modalidade de exploração mais rentável, sendo o cenário 4 o que mais se destaca pelo menor tempo de retorno de investimento e por ter uma TIR e um ROI mais elevados. Este é um cenário que permite ao proprietário da SM alugar a mesma, tratando-se de uma modalidade que depende sempre da procura. O proprietário terá que estipular um aluguer mínimo de 3 meses e um valor base que garanta um retorno de investimento e pague os custos de operação e manutenção.

Num regime de autoconsumo, verifica-se que o sistema PV abrange em larga escala as necessidades de consumo em comparação com o sistema eólico, pelo facto de o sistema eólico possuir uma potência nominal de funcionamento inferior à carga de maior relevância da SM. A possibilidade de comercializar a energia produzida pelas FER ao abrigo do contrato de Regime remuneratório e de compensação previsto no artigo 24º do decreto de lei nº 153/2014, permite também a obtenção do melhor retorno para este tipo de sistemas, uma vez que o seu investimento em cerca de 70 mil euros por unidade não está contemplado no valor base da SM.

Num tipo de exploração em que o TSA da SM não está operacional, nem haja a possibilidade de conectar os serviços auxiliares a um módulo FER, a solução passa pela utilização do gerador a diesel que conforme constatado não é a solução ideal para um funcionamento contínuo pelo facto do preço do combustível impossibilitar o seu uso de forma continuada.

Do conjunto dos cenários estudados, o único que não é viável é a utilização da SM de forma intermitente de apenas 1 mês por ano e sem recurso à utilização dos módulos FER. A sua curta operação e os custos associados à operação e manutenção da mesma tornam o investimento inviável para este tipo de exploração. Se for feita uma utilização mínima anual de pelos menos 3 meses já é permitido ter um retorno de investimento ao fim de 3,82 anos, com uma TIR positiva de 26% e uma taxa de lucratividade de 6,53. Isto significa que por cada euro investido será obtido 6,53 € de lucro, tornando o investimento claramente viável.

Por fim, vale realçar que apesar do investimento inicial elevado numa SM, verifica-se que este é um investimento rentável e que o seu investimento fica pago sensivelmente entre 3 a 4 anos na pior das hipóteses, excluindo a utilização de apenas 1 mês ou em último caso uma ocorrência tipo I que implique enviar a SM para a fábrica. O investimento em módulos FER torna-se fundamental do ponto de vista de garantir a alimentação dos serviços auxiliares de forma ininterrupta contribuindo para a melhor fiabilidade da SM e por se tratar de sistemas que vão sendo amortizados pelo seu contributo na gestão das cargas da SM e na redução da necessidade de consumo de energia proveniente da rede.

5.2 PERSPETIVAS DE TRABALHO FUTURO

Ao longo da elaboração desta dissertação, várias ideias emergiram no sentido de desenvolver novos sistemas que permitam ajudar e contribuir para melhorar a exploração das SMs e dos módulos FER aqui estudados. Entre os avanços disponibilizados, poderão ser ainda desenvolvidos e estudados os seguintes pontos:

- Usando a filosofia de aluguer que foi realizada para a SM, considerar o aluguer conjunto ou separado nos módulos FER, importante para SMs localizadas em zonas remotas ainda sem grandes infraestruturas de alimentação;

- Estudo das necessidades de aumento de potência na rede elétrica e de que forma as SM podem contribuir para que o abastecimento de energia não seja interrompido;
- Estudo e Análise das interrupções de uma SM e de que forma as FER podem contribuir para a redução destas interrupções.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Siemens, “Portable Power Solutions - Plug and play E-house, skids & mobile substations up to 420kV,” 2019. <https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:d7de0ab4-77ac-4580-b5ae-74e7852ee159/brochure-pps-fr.pdf> (accessed Jan. 13, 2021).
- [2] E. Madrona and J. Bonassi, “FIEE - WEG ‘Transmissão & Distribuição,’” 2017, pp. 1–26.
- [3] Markets and Markets, “Mobile Substation Market by Application (Industrial (Metals & Mining, Oil & Gas, Construction, Port, and Data Centers), and Utilities), and Region (Middle East & Africa, Americas, Europe, and Asia Pacific) - Global Forecast to 2023,” 2018. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/mobile-substation-market-1857695.html> (accessed Jan. 13, 2021).
- [4] A. M. Malvi and M. G. K. Sharma, “Design Development and Simulation of Mobile Substation for Distribution Network,” *Int. J. Sci. Res. Dev.*, vol. 3, no. 10, 2015.
- [5] M. J. Thompson and D. Wilson, “Auxiliary DC Control Power System Design for Substations,” in *60th Annual Conference for Protective Relay Engineers*, 2007, pp. 522–533, doi: 10.1109/CPRE.2007.359922.
- [6] enel, *Subestación Eléctrica Móvil Codensa*. Colombia, 2017.
- [7] S. Cervidi, “PASS – Plug and Switch System,” *ABB*, Medellin, p. 39, 2016.
- [8] Enel, “Codensa Implementa Solución Móvil para Modernizar la Red y Atender Contingencias.” <https://www.enel.com.co/es/prensa/news/d201708-codensa->

- implementa-solucin-mvil-para-modernizar-la-red-y-atender-contingencias.html (accessed Dec. 02, 2020).
- [9] ABB Hitachi, “Mobile Substations.” <https://www.hitachiabb-powergrids.com/offering/product-and-system/substations/mobile-substations> (accessed Dec. 02, 2020).
 - [10] WEG, “Manual de Instalação e Manutenção para Transformadores a Óleo.” p. 28.
 - [11] “Subestacion Movil de Distribucion.” <https://www.haikudeck.com/subestacion-movil-de-distribucion-mobile-distribution-substation-business-presentation-c2u2efktzK> (accessed Dec. 02, 2020).
 - [12] EDP Distribuição, “Bloco Móvel de Corte e Proteção MT,” DIT-C13-620/N, 2020.
 - [13] A. Teixeira, “Avaliação da Utilização do IEC 61850 Process Bus no Projecto Tipo de SEs da EDP,” Faculdade de Engenharia - Universidade do Porto, 2013.
 - [14] IEEE, “Guide for the Design of Low-Voltage Auxiliary Systems for Electric Power Substations,” *IEEE Std 1818*, 2017.
 - [15] Southern States, “Mobile Substation - Protection & Electrical System Solutions.” <https://www.southernstatesllc.com/applications/mobile-substations> (accessed Dec. 07, 2020).
 - [16] Rittal, “Rittal - Protection for the Industry that Powers the Planet.” https://www.rittal.com/uk-en/content/eng/unternehmen/presse/pressemeldungen/pressemeldung_detail_33024.jsp (accessed Dec. 07, 2020).
 - [17] C. R. Bayliss and B. J. Hardy, Eds., “Substation Auxiliary Power Supplies,” in *Transmission and Distribution Electrical Engineering*, 3th ed., Newnes, 2007, pp. 115–148.
 - [18] W. Zheng, Q. Pan, B. Zhang, Y. Chen, and M. Bi, “Construction and Application of 35kV Vehicle Mounted Mobile Substation,” in *International Conference on Power System Technology (POWERCON)*, 2018, pp. 3667–3673, doi: 10.1109/POWERCON.2018.8601995.
 - [19] L. Willy, A. Lennart, and J. Inge, “Mobile Substations,” in *19th International Conference on Electricity Distribution*, 2007, pp. 1–4.
 - [20] M. Dib, A. Nejmi, and M. Ramzi, “New Auxiliary Services System in a Transmission Substation in the Presence of a Renewable Energy Source PV,” *Mater. Today Proc.*, vol. 27, no. 4, pp. 3151–3156, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.820.
 - [21] Energy Development and Power Generation Committee, “IEEE Design Guide for Electric Power Service Systems for Generating Stations,” pp. 1–350, 2007, doi: 10.1109/IEEESTD.2007.357955.
 - [22] IEEE, “1013-2019 - IEEE Recommended Practice for Sizing Lead-Acid Batteries for Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems,” pp. 1–50, 2019, doi: 10.1109/IEEESTD.2019.8845030.
 - [23] GNB Industrial Power, “Industrial Batteries / Network Power - Marathon M-FT.” https://www.batterie-solaire.com/Files/25346/Batterie-GNB_Marathon_M-FT.pdf (accessed Jan. 13, 2021).
 - [24] R. Calone, G. Di Lembo, and A. Fatica, “Power Supply Station for Auxiliary Services in Primary Substations,” in *CIREN - 20th International Conference and*

- Exhibition on Electricity Distribution*, 2009, pp. 1–3, doi: 10.1049/cp.2009.0750.
- [25] C. P. Generation, “Power Generation - Solving All your Power needs the Cummins Way.” pp. 1–20, 2015.
 - [26] T. Abreu, A. Couto, D. Ribeiro, M. Marques, R. Cunha, and F. Contreiras, “CIRED - Emergency Kits for MV Distribution Network,” in *23rd International Conference on Electricity Distribution*, 2015, pp. 1–5.
 - [27] P. Singh and J. Lather, “Power Management and Control of a Grid-Independent DC Microgrid with Hybrid Energy Storage System,” *Elsevier*, vol. 43, no. 100924, pp. 2213–1388, 2021, doi: doi.org/10.1016/j.seta.2020.100924.
 - [28] D. Lappas and J. Rodriguez, “Solar Hybrid Microgrids in Emergency Power Management.” The Zofnass Program at Harvard, pp. 1–17, 2019.
 - [29] Uprise Energy, “World’s First Mobile Renewable Energy System of Meaningful Size,” *Mobile Power Station*. <http://upriseenergy.com/contact> (accessed Dec. 29, 2020).
 - [30] Transparency Market Research, “Mobile Substation Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2019 - 2027,” 2018. <https://www.transparencymarketresearch.com/mobile-substation-market.html> (accessed Jan. 13, 2021).
 - [31] OkSolar, “Renewable Energy Solutions - Solar Trailer.” <https://www.oksolar.com/lion/Item/000777000/solar-trailer> (accessed Feb. 01, 2021).
 - [32] U.S. Department of Energy, “Benefits of using Mobile Transformers and Mobile Transformers and Mobile Substations for Rapidly Restoring Electrical Service,” 2006.
 - [33] Rob Stephen, “End of Life Estimation of HV Switchgear and GIS Substations, Cigré - June 10th,” 2016. [Online]. Available: <https://www.ee.co.za/article/end-life-estimation-hv-switchgear-gis-substations.html>.
 - [34] G. Hamoud, “Cost/Benefit Analysis for Use of Mobile Unit Substations in Customer Delivery Systems,” Toronto, Canada, 2006.
 - [35] G. A. HAMOUD and C. YIU, “Another Look at the Use of Mobile Unit Substations in Customer Delivery Systems,” in *2020 CIGRE Canada Conference*, 2020, pp. 1–8.
 - [36] R. Castro, S. Faias, and J. Esteves, “The cost of electricity interruptions in Portugal: Valuing lost load by applying the production-function approach,” *Util. Policy*, 2016, doi: 10.1016/j.jup.2016.04.003.
 - [37] EUROSTAT; ERSE, “Comparação Preços Eletricidade EUROSTAT. 2.º Semestre 2020,” 2020. [Online]. Available: https://www.erse.pt/media/cz3f1gih/boletim-eletricidade-eurostat_2020s2.pdf.
 - [38] D. J. O. Filipe, “Uma reanálise do ponto de vista económico de Centrais Fotovoltaicas,” Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra, 2015.
 - [39] G. A. Hamoud and C. Yiu, “Use of mobile unit substations in redundant customer delivery systems,” *IEEE Trans. Power Syst.*, 2014, doi: 10.1109/TPWRS.2013.2291446.
 - [40] E. S. Silva and M. Queirós, *Análise de Investimentos em Ativos Reais*. .
 - [41] PAULO ALCARVA, “F4G - Análise Económico - Financeira,” 2020.
 - [42] Dicionário Financeiro, “O que é VPL e como calcular.”

- <https://www.dicionariofinanceiro.com/valor-presente-liquido/> (accessed Jul. 11, 2021).
- [43] Dicionário Financeiro, “Rentabilidade e Lucratividade.” <https://www.dicionariofinanceiro.com/rentabilidade-e-lucratividade/> (accessed Jul. 11, 2021).
- [44] CORPOELEC, “Modernizan y fortalecen subestación Ordaz en Bolívar,” 2015. <http://www.corpoelec.gob.ve/noticias/modernizan-y-fortalecen-subestacion-ordaz-en-bolivar> (accessed Jun. 30, 2021).
- [45] TRES LINEAS, “Invierten \$143 millones para reforzar el suministro eléctrico,” 2014. <https://www.treslineas.com.ar/invierten-millones-para-reforzar-suministro-electrico-n-1209130.html> (accessed Jun. 30, 2021).
- [46] A. Trindade, V. Miranda, and R. J. Bessa, “Spatial-temporal Solar Power Forecasting for Smart Grids,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 11, no. 1, pp. 232–241, 2015.
- [47] AUVIRAS, “EXIDE Marathon XL12V85 battery,” 2021. <https://auviras.lt/en/batteries/batteries-deep-cycle-all/exide-marathon-xl12v85-battery> (accessed Jun. 11, 2021).
- [48] C. Zhang, P. Pinson, and W. A. Bukhsh, “Data for Stochastic Multiperiod opf problems,” [Online]. Available: <https://sites.google.com/site/datasmopf/>.
- [49] P. Pinson, “Wind Energy: Forecasting Challenges for its Operational Management,” *Stat. Sci.*, vol. 28, no. 4, pp. 564–585, 2013.
- [50] MATELEC Group, “Engineering & Contracting - Mobile substation 33/11kV, 20-26MVA.” <http://www.matelecgroup.com/ProjectDetails.aspx?pageid=130> (accessed Jul. 02, 2021).
- [51] Ordem dos Engenheiros, “IKEA Portugal, Energia renovável - Projeto de painéis solares de autoconsumo.” pp. 1–26, [Online]. Available: https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/editor2/regiaosul/ikea_pt_projectsummaryikeastores.pdf.
- [52] OMIE, “OMIE - Day-ahead - Market results,” 2019. <https://www.omie.es/en/market-results/daily/daily-market/daily-hourly-price> (accessed Nov. 20, 2020).
- [53] Cummings Power Generation, “Solving all your Power needs the Cummings way.” pp. 1–20, 2015.
- [54] Pordata, “Preços médios de venda ao público dos combustíveis líquidos e gasosos – Continente,” 2021. <https://www.pordata.pt/Portugal/Preços+médios+de+venda+ao+público+dos+combustíveis+líquidos+e+gasosos+--+Continente-1265-10032> (accessed Jul. 11, 2021).

ANEXO A

Documentação Técnica



» Generator set data sheet

Model: C55 D5 (S3.8)
Frequency: 50
Fuel Type: Diesel

Spec sheet:	SS27-CPGK
Noise data sheet (Open/enclosed):	ND50-CS550
Airflow data sheet:	AF50-550
Derate data sheet (Open/enclosed):	TBD
Transient data sheet:	TD50-550

Fuel consumption	Standby				Prime			
	kVA (kW)				kVA (kW)			
Ratings	55 (44)				50 (40)			
Load	1/4	1/2	3/4	Full	1/4	1/2	3/4	Full
gph	1.0	1.6	2.3	3.1	0.9	1.4	2.1	2.8
L/hr	4.40	7.20	10.60	14.30	4.00	6.50	9.50	12.80

Engine	Standby Rating	Prime Rating
Engine manufacturer	Cummins	
Engine model	S3.8 G6	
Configuration	Inline 4-Cylinder Diesel	
Aspiration	Turbocharged	
Gross engine power output, kWm	53.6	48.7
BMEP at set rated load, kPa	1139	1030
Bore, mm	97	
Stroke, mm	128	
Rated speed, rpm	1500	
Piston speed, m/s	6.4	
Compression ratio	17.5 : 1	
Lube oil capacity, L	9	
Overspeed limit, rpm	1650	
Regenerative power, kW	4.87	
Governor type	Mechanical as std	
Starting voltage	12V Volts DC	

Fuel flow	
Maximum fuel flow, L/hr	19.76
Maximum fuel inlet restriction, mm Hg	3.99
Maximum fuel inlet temperature (°C)	40

Air	Standby Rating	Prime Rating
Combustion air, m ³ /min	3.60	3.50
Maximum air cleaner restriction, kPa	6.2	

Exhaust		
Exhaust gas flow at set rated load, m ³ /min	4.1	4.0
Exhaust gas temperature, °C	546	504
Maximum exhaust back pressure, kPa	6.7	

Standard set-mounted radiator cooling		
Ambient design, °C	55	
Fan load, KW _m	2 +/- 1	
Coolant capacity (with radiator), L	12.5	
Cooling system air flow, m3/sec @ 12.7mmH2O	1.92	
Total heat rejection, BTU/min	5143	4525
Maximum cooling air flow static restriction mmH2O	12.7	

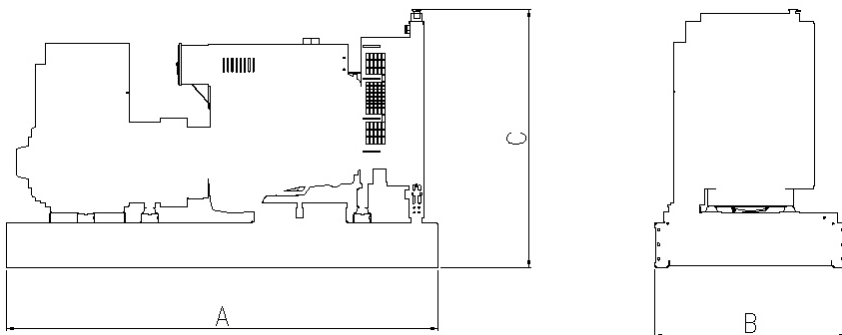
Weights*	Open	Enclosed
Unit dry weight kgs	955	1410
Unit wet weight kgs	11120	1540

* Weights represent a set with standard features. See outline drawing for weights of other configurations

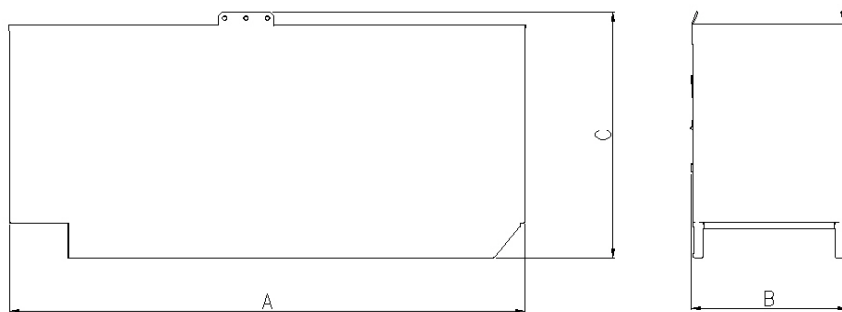
Dimensions	Length	Width	Height
Standard open set dimensions	2115	1044	1516
Enclosed set standard dimensions	2600	1115	1795

Genset outline

Open set



Enclosed set



Outlines are for illustrative purposes only. Please refer to the genset outline drawing for an exact representation of this model.

Alternator data

Connection ¹	Temp rise °C	Duty ²	Alternator	Voltage
Wye -3 phase	163/125	S/P	UCI22 4D	380-415
Wye -3 phase	150/105	S/P	UCI22 4E	380-415

Ratings definitions

Emergency Standby Power (ESP)	Limited-Time running Power (LTP):	Prime Power (PRP)	Base Load (Continuous) Power (COP)
Applicable for supplying power to varying electrical load for the duration of power interruption of a reliable utility source. Emergency Standby Power (ESP) is in accordance with ISO 8528. Fuel Stop power in accordance with ISO 3046, AS 2789, DIN 6271 and BS 5514.	Applicable for supplying power to a constant electrical load for limited hours. Limited Time Running Power (LTP) is in accordance with ISO 8528.	Applicable for supplying power to varying electrical load for unlimited hours. Prime Power (PRP) is in accordance with ISO 8528. Ten percent overload capability is available in accordance with ISO 3046, AS 2789, DIN 6271 and BS 5514.	Applicable for supplying power continuously to a constant electrical load for unlimited hours. Continuous Power (COP) in accordance with ISO 8528, ISO 3046, AS 2789, DIN 6271 and BS 5514.

Formulas for calculating full load currents:

Three phase output

$$\frac{\text{kW} \times 1000}{\text{Voltage} \times 1.73 \times 0.8}$$

Single phase output

$$\frac{\text{kW} \times \text{Single Phase Factor} \times 1000}{\text{Voltage}}$$

See your distributor for more information.

Cummins Power Generation
 Manston Park, Columbus Avenue
 Manston, Ramsgate
 Kent CT12 5BF, UK
 Telephone: +44 (0) 1843 255000
 Fax: +44 (0) 1843 255902
 E-Mail: cpg.uk@cummins.com
 Web: www.cumminspower.com

PROPOSTA N.º 79/10380.A

Data: 29/01/15

Exmos. Senhores:

Vimos submeter à apreciação de V. Exas. a nossa proposta para o fornecimento do material abaixo especificado a qual, para além das que expressamente adiante se consignarem, obedecerá às nossas Condições Gerais de fornecimento constantes no verso.

A) FORNECIMENTO DE UM GRUPO ELECTROGÉNEO MODELO "C55D5" DE 50 KVA em serviço **"Prime"** e **55 KVA** em serviço de **"Stand-by"**, constituído por motor marca **"CUMMINS"**, modelo **"S3.8G6"** e alternador da marca **"STAMFORD"** trifásico, de arranque e paragem automática, **depósito de combustível de 150 litros, Canópia de Insonorização de 73 Db a um metro de distância**, bem como demais características conforme folhetos anexos:

EUROS 10.540,00 €

(São: Dez Mil quinhentos e quarenta Euros)

**mais I.V.A., que vigorar à data da factura,
a adicionar ao valor indicado.**

.../...

OkSolar.com

Supplier no.:

A GeneralCommunications.com, Corp. Company
(Federal ID: 65-1018613)

5011 SW 152 AVE
 Miramar, FL 33027 (USA)

Invoice

Date Date (mm/dd/yyyy)	Invoice #
2/18/2021	21655

Bill To Customer #:
Attn.: Bruno Gomes
Matosinhos - São Mamede de Infesta, 4466-952 Portugal
Phone: 934283590 bruno.ricardo.gomes@efacec.com

Ship To
Attn.: Bruno Gomes
Matosinhos - São Mamede de Infesta, 4466-952 Portugal
Phone: 934283590 bruno.ricardo.gomes@efacec.com

Branch: 17

When you're DEPLOYED, OkSolar Goes With You!

P.O. Number	Tracking #

Lead Time	Ship Method	Terms
8 weeks	Ground	Prepaid

Quantity	Item No.	Description	Unit Price	Item Subtotal
2	000777000	Solar Trailer	\$ 70000	\$ 140000

Customer Special Instructions:

Subtotal	\$140000
Shipping	\$0
Handling	\$345
Tax	\$0
Total \$	140345

No return or exchanges. Manufacturer's Guarantee Only.

Customer is responsible for payment of applicable state and local taxes, or for providing a valid sales tax exemption certificate. When placing an order, customer shall email or mail tax exemption certificate.

Phone #	Email	Web Site
(347)624-5693	Sales@OkSolar.com	www.OkSolar.com

**OFICEL-Electrotecnia, Lda.**

R. Rodrigo Sarmiento Beires, Lt.12-Arm.8

2840-068 ALDEIA DE PAIO PIRES

Telef.: +351 219862080

Email: oficel@oficel.pt

Portal: www.oficel.pt

Proposta**N.º 210**

Cliente N.º : 2903

N.º contribuinte : 513180966

Observações:

Pagamento: 60 Dias

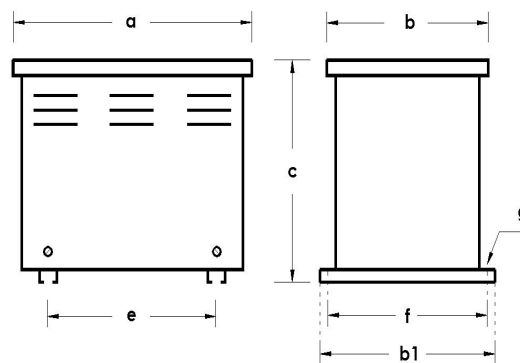
Data: 2021-05-11

Referência	Designação	Quant.	Venda	Desconto	I.V.A.	Total	Entrega
BZNT46BDSALA	TRANSF ISOL TRIF 240/400V+N 40KVA DYN11	1,000	1 995,000	30,00	23,00	1 396,500	25.05.2021
	IP23 CL II						
	entrega 2 semanas						
	envio vossas instalações portes nossa conta						

Base de Incidência de I.V.A. 1 396,500**Total de I.V.A.** 321,200**TOTAL do DOCUMENTO (EUROS)** **1 717,700**

Especificações Técnicas

Tensão Primário	240V tensão entre fases	Tensão de Isolamento	3KV (1 min. 50Hz)	
Tomadas ajuste no primário	Opcional	Índice de Harmónicas	Classe K1	
Corrente por fase no primário	96,2A	Temperatura ambiente	ta = máximo 40°C	
Corrente de Magnetização	Inferior a 8In	Nível máximo de Humidade	90%	
Frequência	50/60Hz	Arrefecimento	AN (arrefecimento natural)	
Tensão Secundário	400V tensão entre fases; 231V entre fases e neutro	Acabamento	Verniz classe H 180.C, tropicalizado	
Tomadas ajuste no secundário	Opcional	Normas	EN 61558/ IEC 60076-11	
Tensão máxima em vazio	408V (inferior a $\pm 2,5\%$ da nominal)	Classe Isolamento	II, norma EN61558-2-6, com isoladores	
Corrente por fase no secundário	57,7A	Grau de protecção	IP23, segundo CEI 60529	
Blindagem Electroestática	Equipado	Acabamento da caixa	Tinta Epoxy Ral 7035	
Isolamentos	Classe H -180°C	Modo de elevação	Olhais no interior	
Enrolamentos	Classe HC -200°C	Perdas em vazio	340W	
Classe de Isolamento térmico	Classe H -180°C	Perdas totais à temperatura de funcionamento	1,280W	
Ligação	Triângulo/Estrela com neutro Grupo ligação Dyn11	Rendimento à temperatura de funcionamento	96,80%	
Tensão de curto-circuito	Entre 3,2% e 3,4%	Sondas PTC/ Pastilhas térmicas	Opcional	
		Pastilhas Amortecimento, Anti-Vibratóras	Opcional	



Cotas (mm)							Peso
a	b	b1	c	e	f	Ø g	
750	540	540	720				230Kg

ANEXO B

Esquemas Comando e Controlo



DESIGNAÇÃO DO PROJETO
Subestação Móvel com Módulos FER

NÚMERO DO PROJETO
TEDSEE

PROJETADO
B.GOMES

FECHO PROJETO
15-07-2021

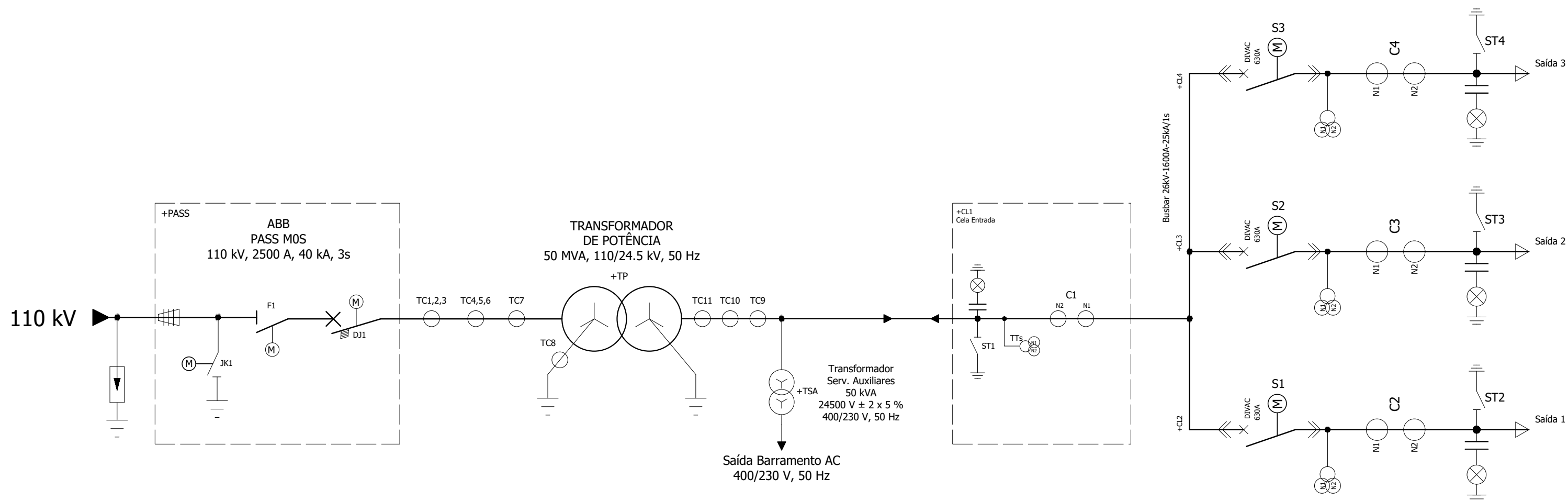
DETALHES TÉCNICOS

TENSÕES AUXILIARES

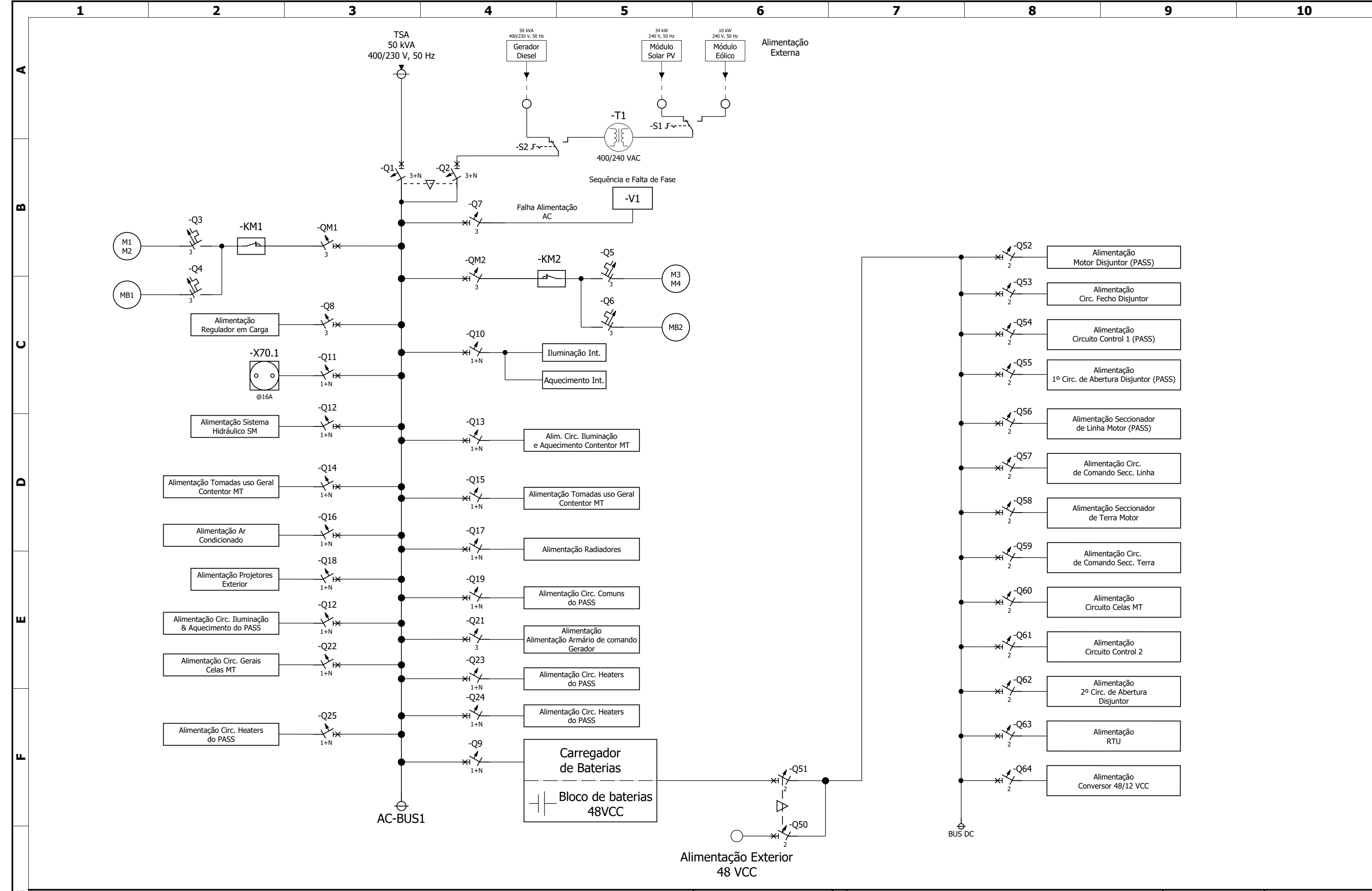
ALIMENTAÇÃO CA
400/230 VCA

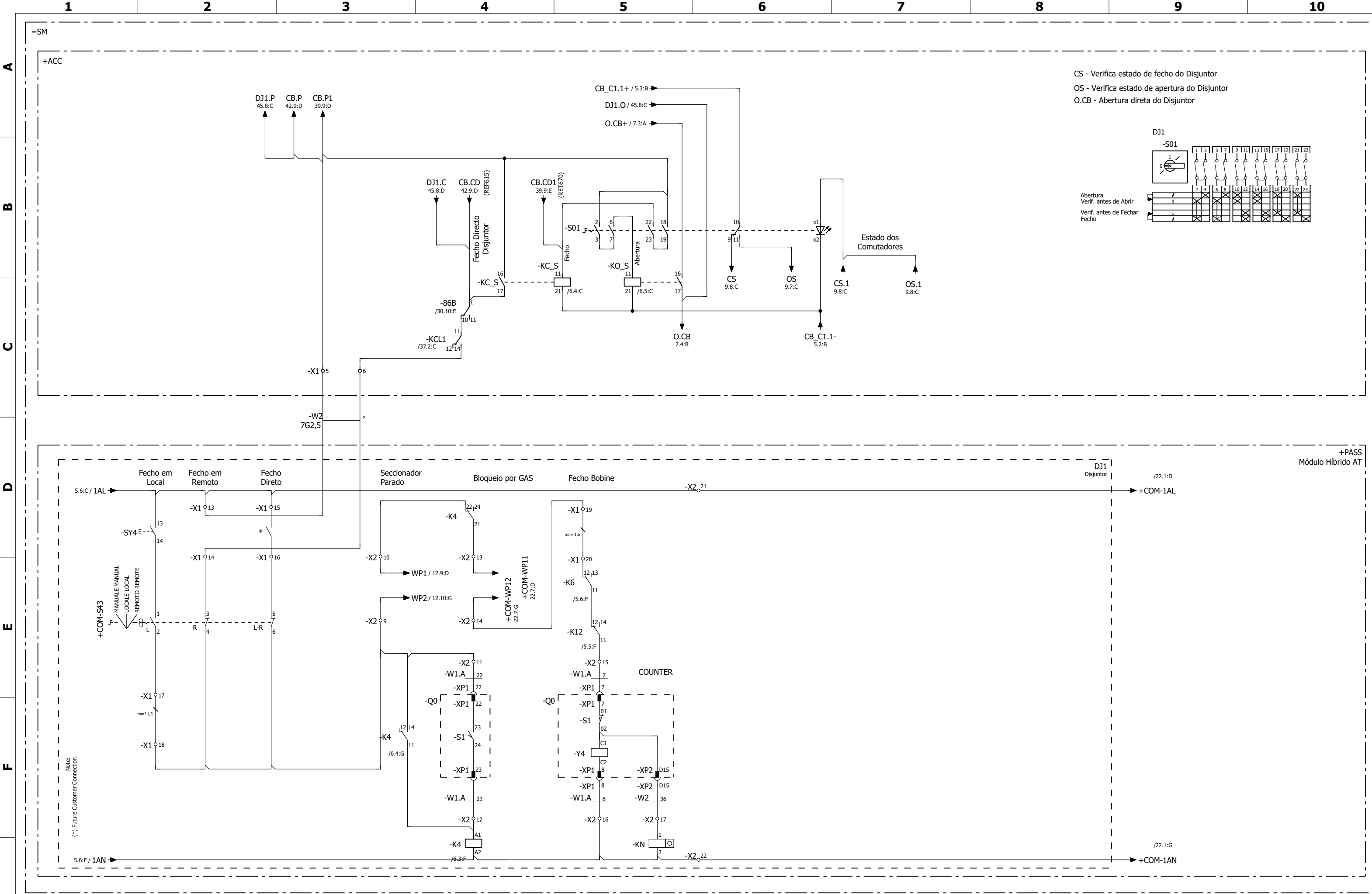
ALIMENTAÇÃO CC
48 VCC

					DATA	15-07-2021
					PROJETADO	B.GOMES
					VERIFICADO	T.SOARES
					APROVADO	A.CARVALHO
REV.	FECHO	DESCRIÇÃO REVISÃO			PROJ.	VERIF.
		TÍTULO			ESCALA	PÁGINA
		Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo				1/48
		Frontispício			DESENHO Nº	
					1060348	

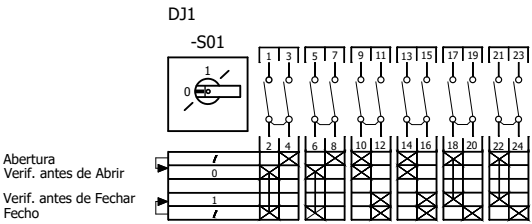


					DATA	15-07-2021
					PROJETADO	B.GOMES
					VERIFICADO	T.SOARES
					APROVADO	A.CARVALHO
REV.	FECHO	DESCRIÇÃO REVISÃO	PROJ.	VERIF.		





CS - Verifica estado de fecho do Disjuntor
OS - Verifica estado de abertura do Disjuntor
O.CB - Abertura direta do Disjuntor

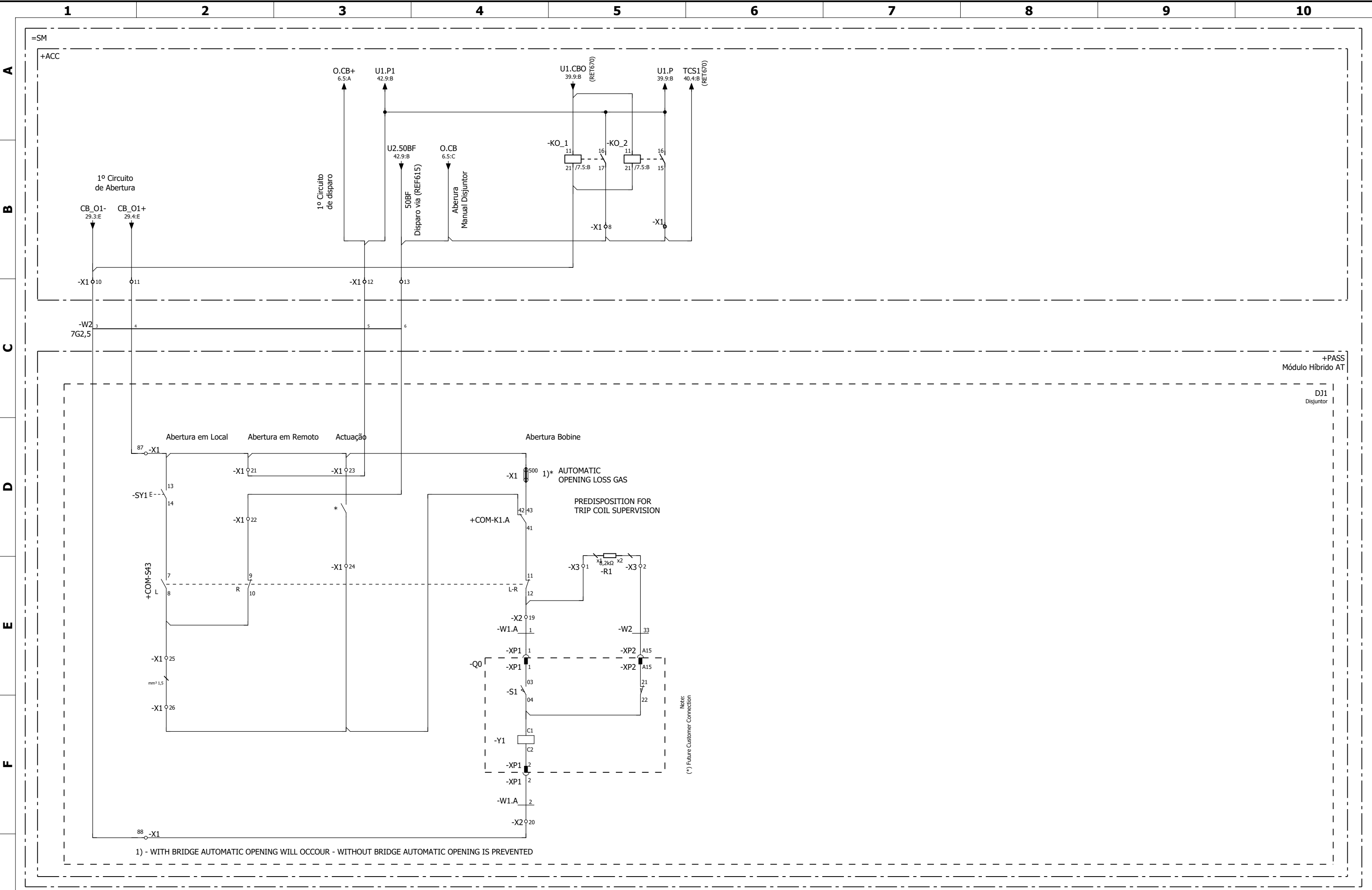


Note:
(*) Future Customer Connection

REV.	FECHO	DESCRIÇÃO REVISÃO	PROJ.	VERIF.	DATA	15-07-2021
					PROJETADO	B.GOMES
					VERIFICADO	T.SOARES
					APROVADO	A.CARVALHO

TÍTULO Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo	ESCALA	PÁGINA
		6/48
Circuito de Fecho - Comando PASS		DESENHO Nº 1060348

ISO A3



G			DATA		15-07-2021	
REV.	FECHO	DESCRIÇÃO REVISÃO	PROJ.	VERIF.	PROJETADO	B.GOMES
					VERIFICADO	T.SOARES
					APROVADO	A.CARVALHO

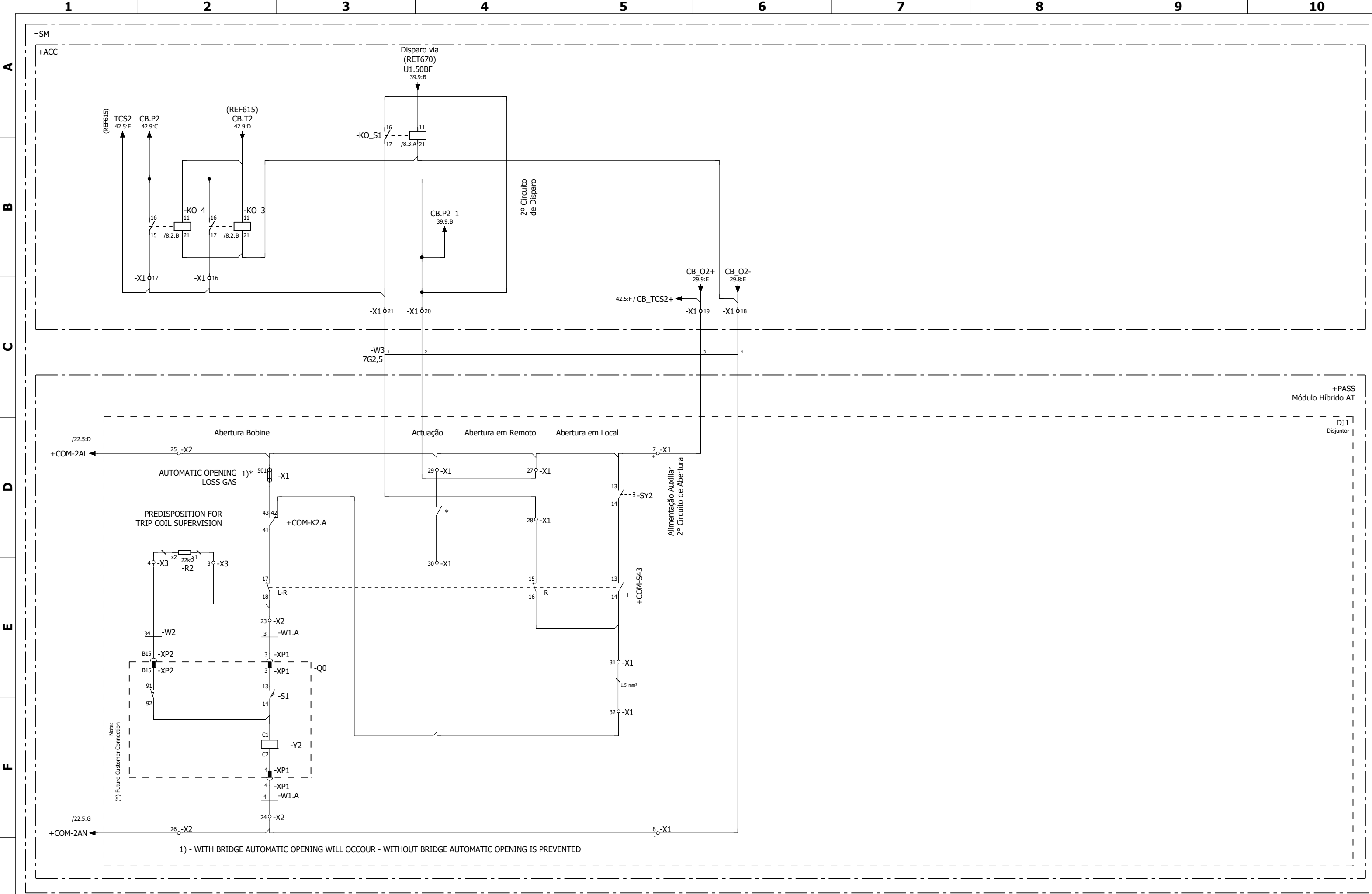
isep

Instituto Superior de Engenharia do Porto

TÍTULO	Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo
Circuito Abertura 1 - Comando PASS	

ESCALA	PÁGINA
	7/48

DESENHO Nº	1060348
------------	---------



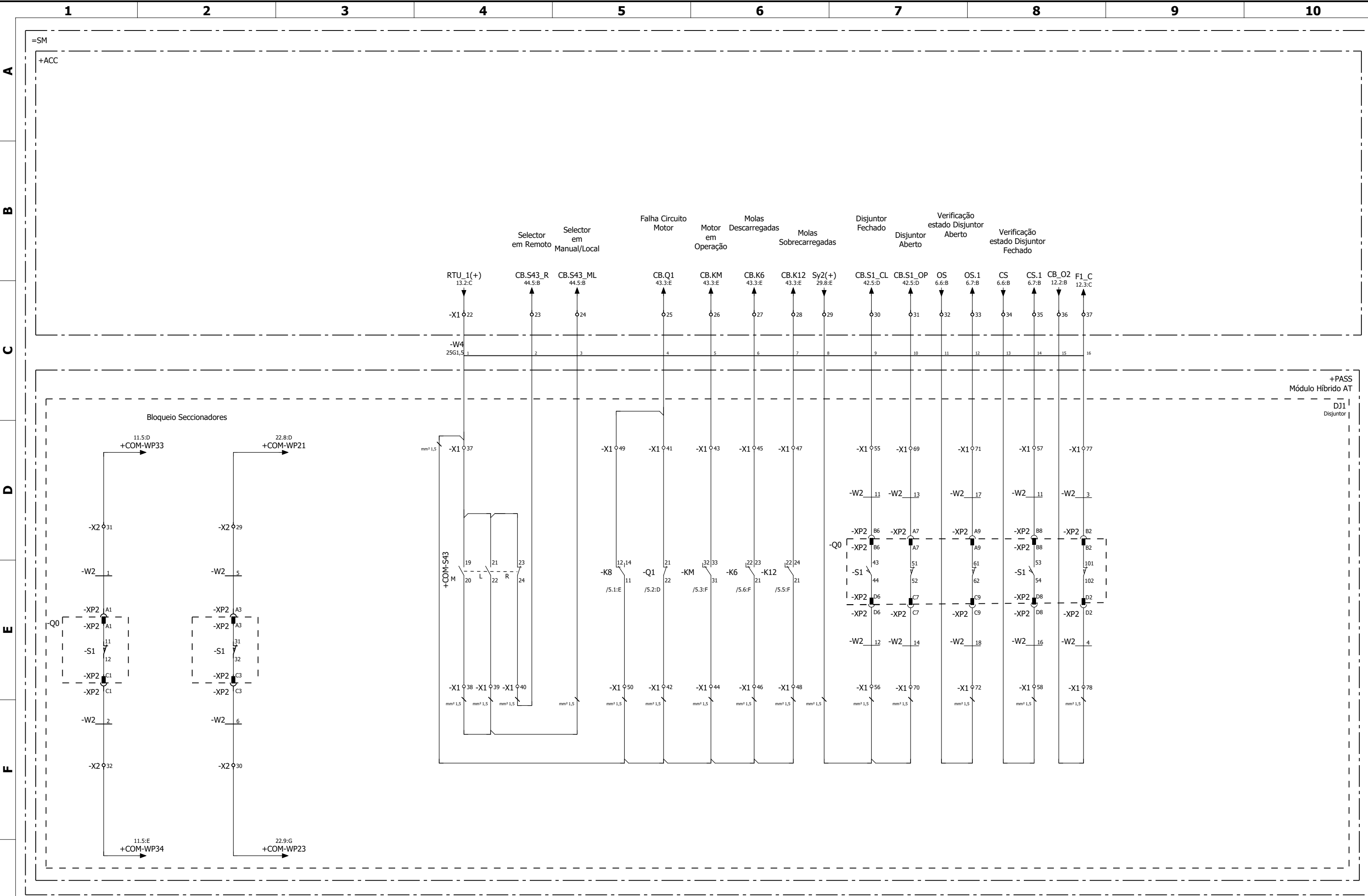
G			DATA		15-07-2021
F			PROJETADO		B.GOMES
E			VERIFICADO		T.SOARES
D			APROVADO		A.CARVALHO
C			PROJ.	VERIF.	
B			DESCRÇÃO REVISÃO		
A			REV.	FECHO	

isep

Instituto Superior de Engenharia do Porto

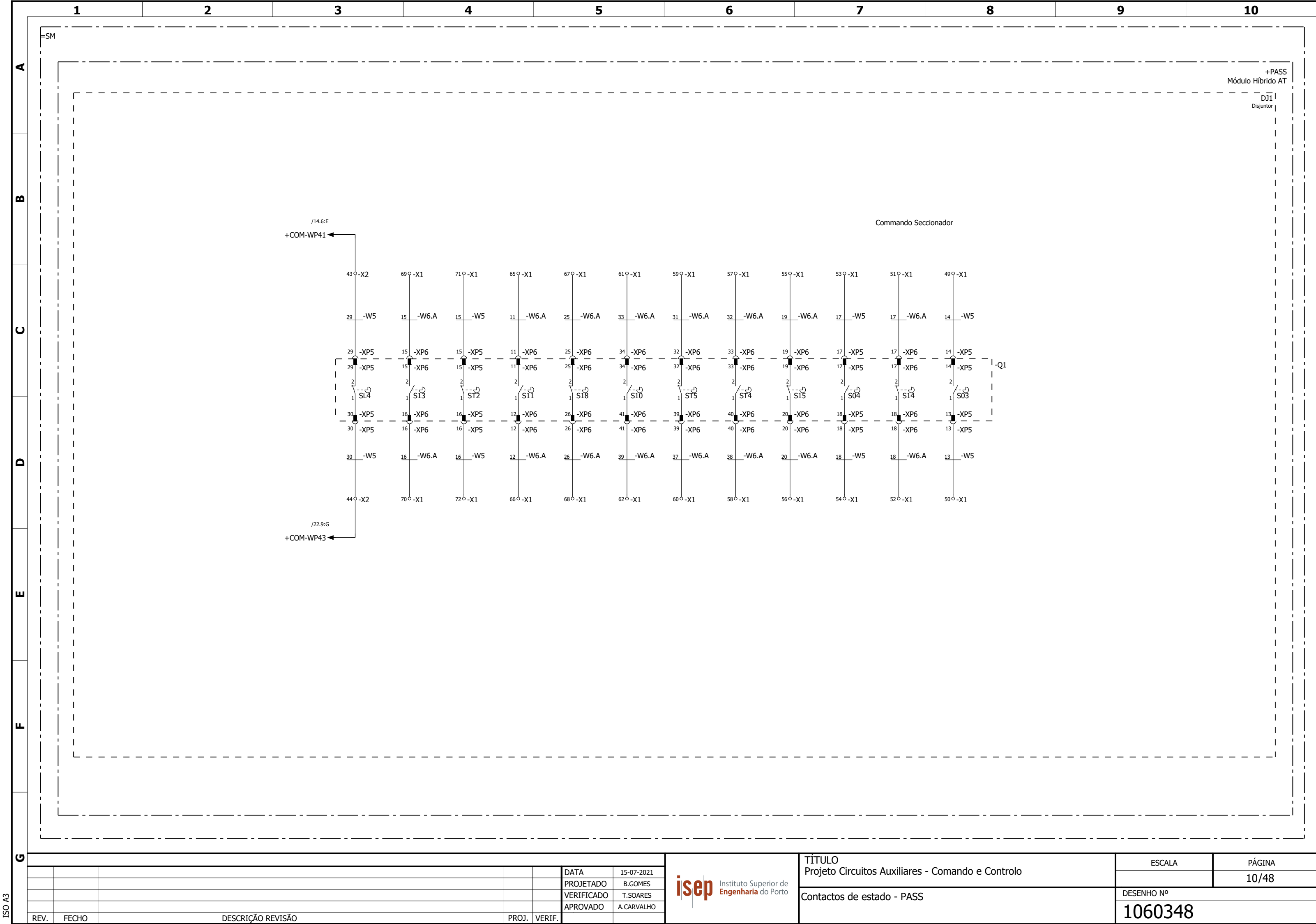
TÍTULO	
Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo	
Circ. Alim. e Abertura Circuit 2 - PASS	

ESCALA	PÁGINA
	8/48
DESENHO Nº	
1060348	



				TÍTULO		ESCALA	PÁGINA
				Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo			9/48
				Circuito de bloqueios internos e Sinalização geral - PASS		DESENHO Nº	1060348
				DATA			
				15-07-2021			
				PROJETADO			
				B.GOMES			
				VERIFICADO			
				T.SOARES			
				APROVADO			
				A.CARVALHO			
REV.	FECHO	DESCRIÇÃO REVISÃO		PROJ.	VERIF.		

ISO A3



ISO A3

REV.		FECHO		DESCRIÇÃO REVISÃO		PROJ.		VERIF.	

DATA	15-07-2021
PROJETADO	B.GOMES
VERIFICADO	T.SOARES
APROVADO	A.CARVALHO

TÍTULO	Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo
Contactos de estado - PASS	

ESCALA	PÁGINA
	10/48

DESENHO Nº	1060348
------------	---------

=SM

+ACC

Alimentação Motor
Seccionador de Linha

Circuito Comando
Seccionador de Linha

+PASS
Módulo Híbrido AT

F1
Seccionador
de Linha

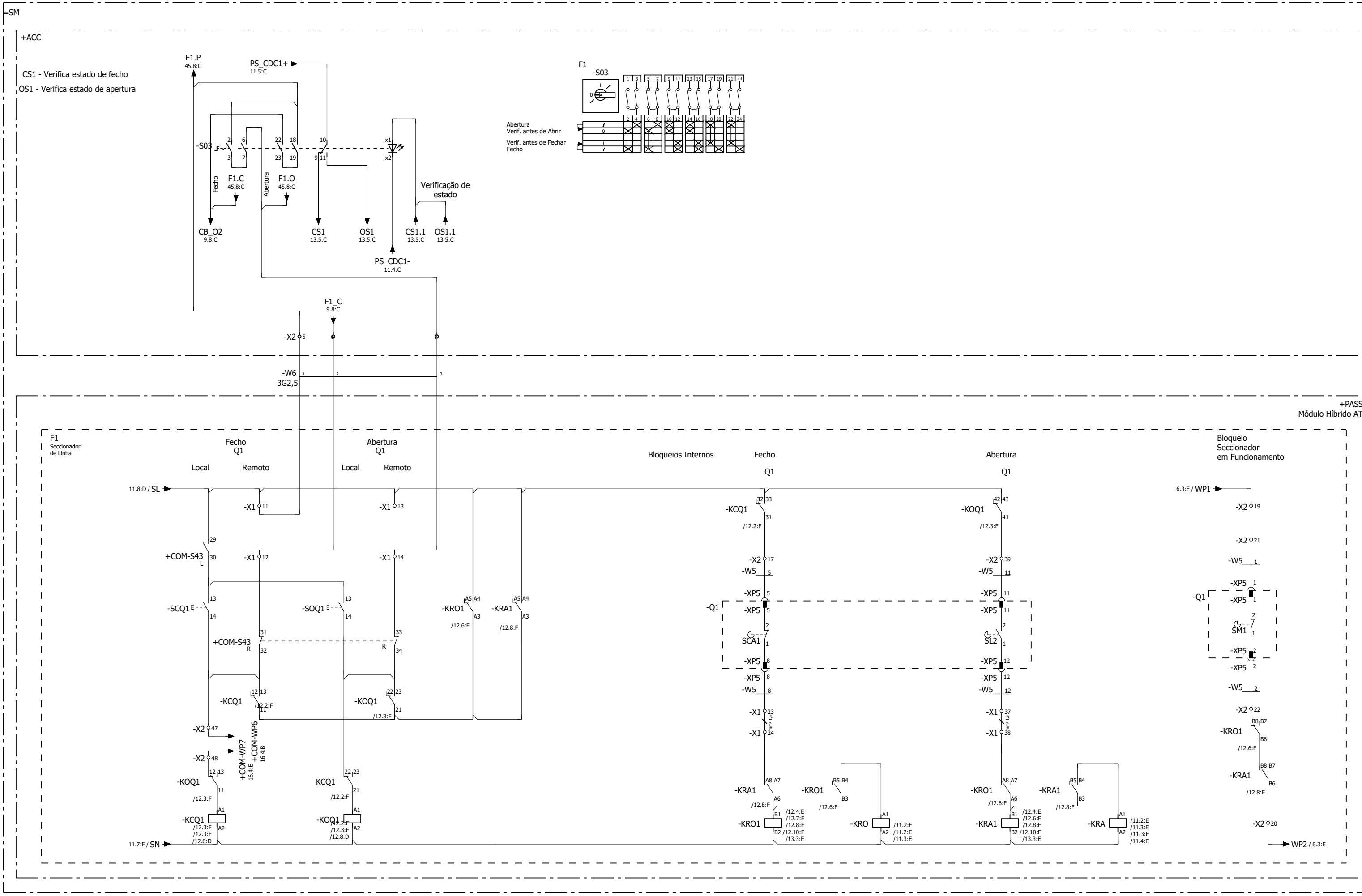
Bloqueios Internos

1) LIVE VOLTAGE INTERLOCK

						DATA	15-07-2021
						PROJETADO	B.GOMES
						VERIFICADO	T.SOARES
						APROVADO	A.CARVALHO
REV.	FECHO	DESCRIÇÃO REVISÃO			PROJ.	VERIF.	

A
B
C
D
E
F
G

12345678910



ISO A3

REV.	FECHO	DESCRIÇÃO	REVISÃO	PROJ.	VERIF.	DATA	15-07-2021
						PROJETADO	B.GOMES
						VERIFICADO	T.SOARES
						APROVADO	A.CARVALHO

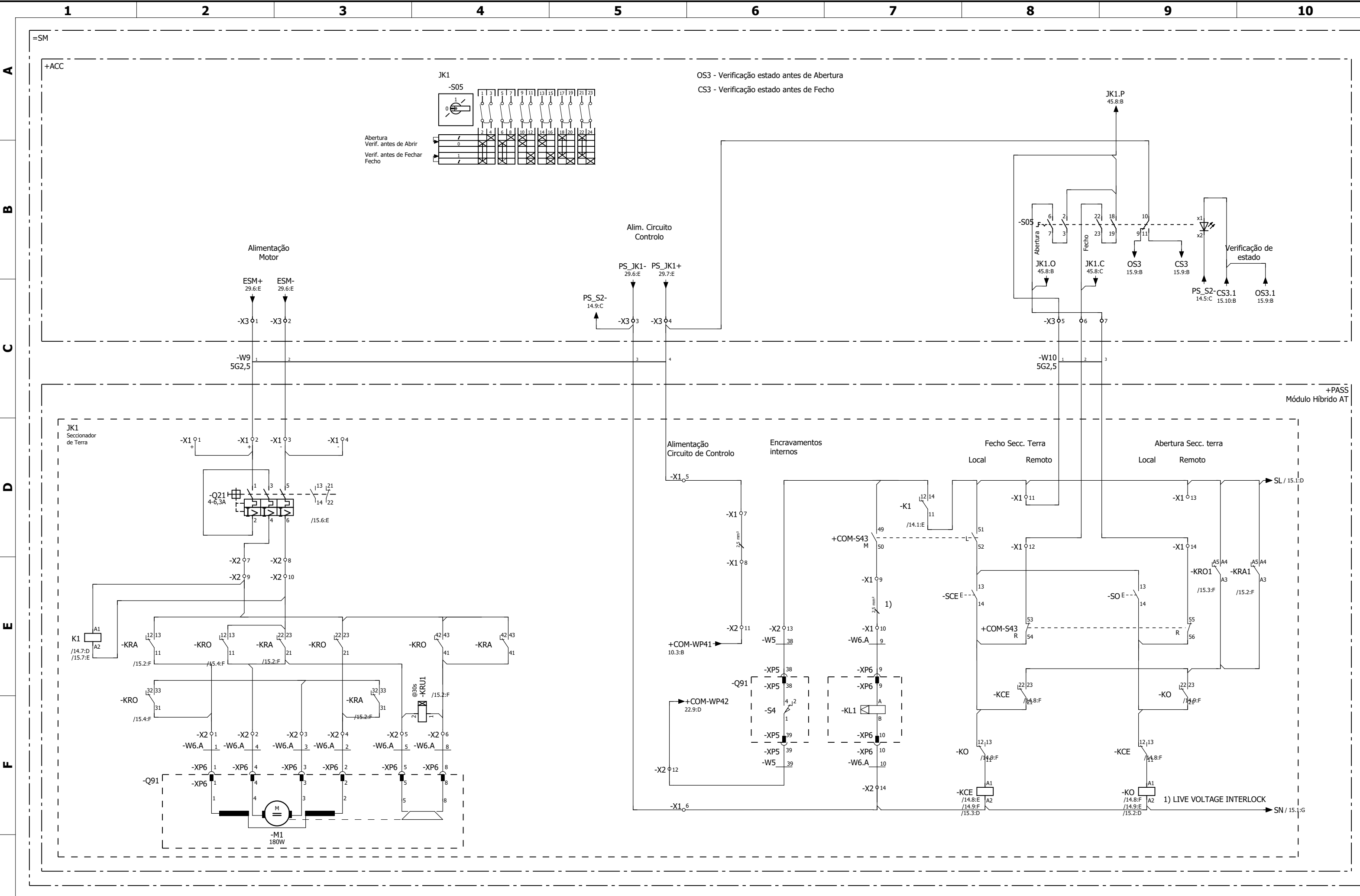


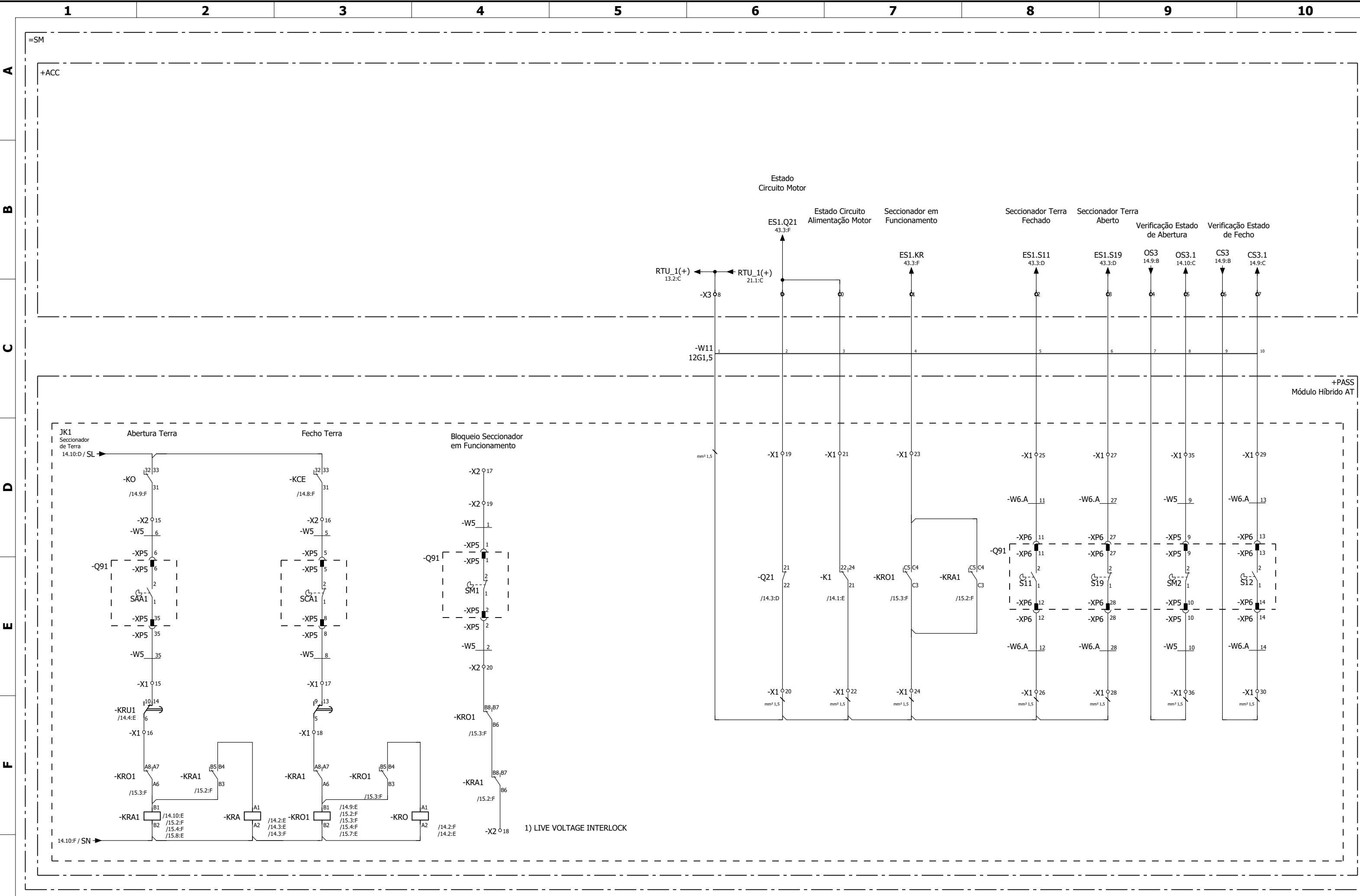
Instituto Superior de

Engenharia do Porto

TÍTULO	Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo
Circuito de Abertura e Fecho - PASS	

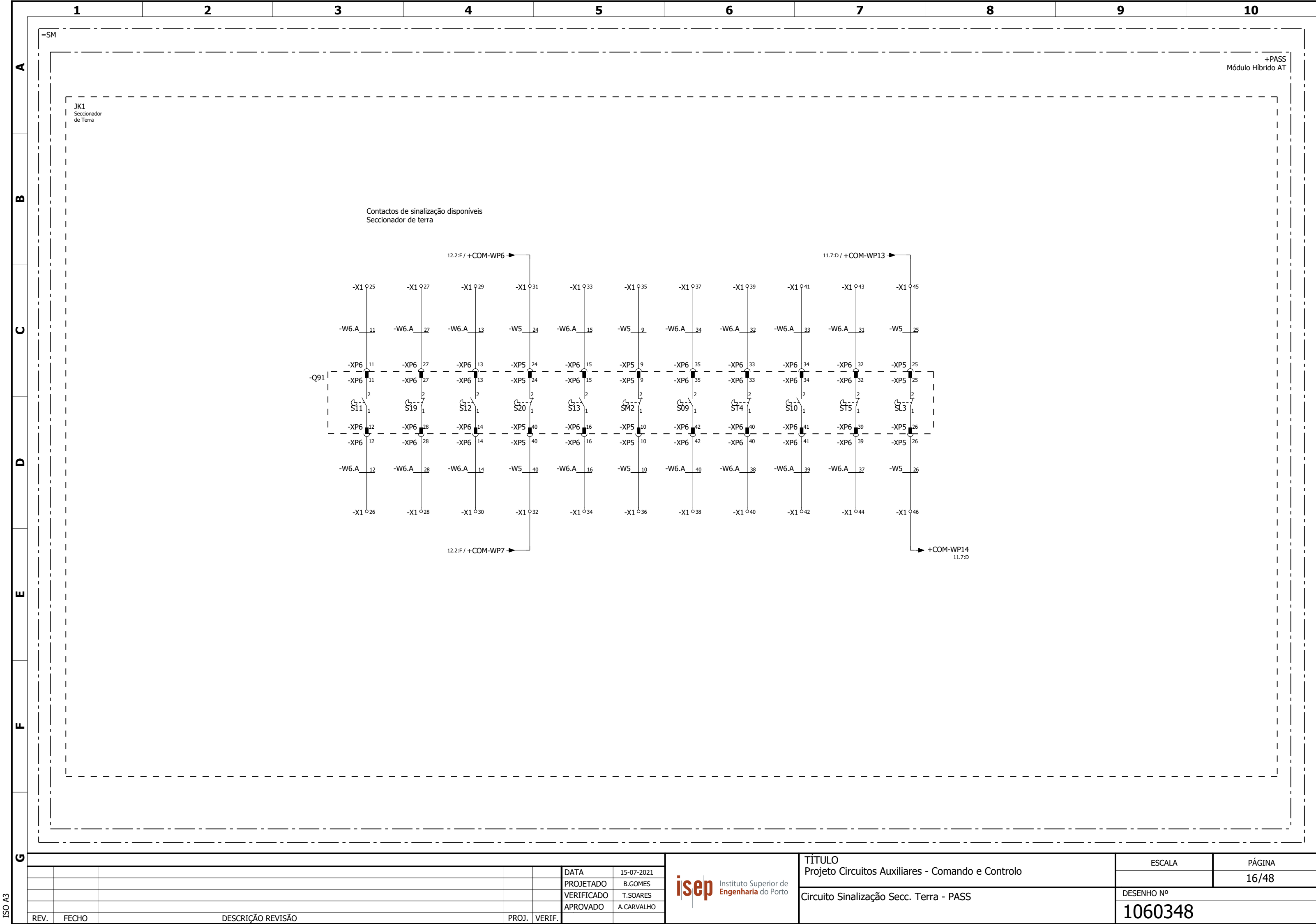
ESCALA	PÁGINA
DESENHO Nº	12/48
1060348	





9							 Instituto Superior de Engenharia do Porto	TÍTULO		ESCALA	PÁGINA	
						DATA		15-07-2021	Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo			15/48
						PROJETADO		B.GOMES	Controlo e Sinalização Secc. Terra - PASS		DESENHO Nº	
						VERIFICADO		T.SOARES			1060348	
						APROVADO		A.CARVALHO				
	REV.	FECHO	DESCRIÇÃO REVISÃO			PROJ.		VERIF.				

ISO A3



ISO A3

REV.		FECHO	DESCRIÇÃO REVISÃO		PROJ.	VERIF.

DATA	15-07-2021
PROJETADO	B.GOMES
VERIFICADO	T.SOARES
APROVADO	A.CARVALHO

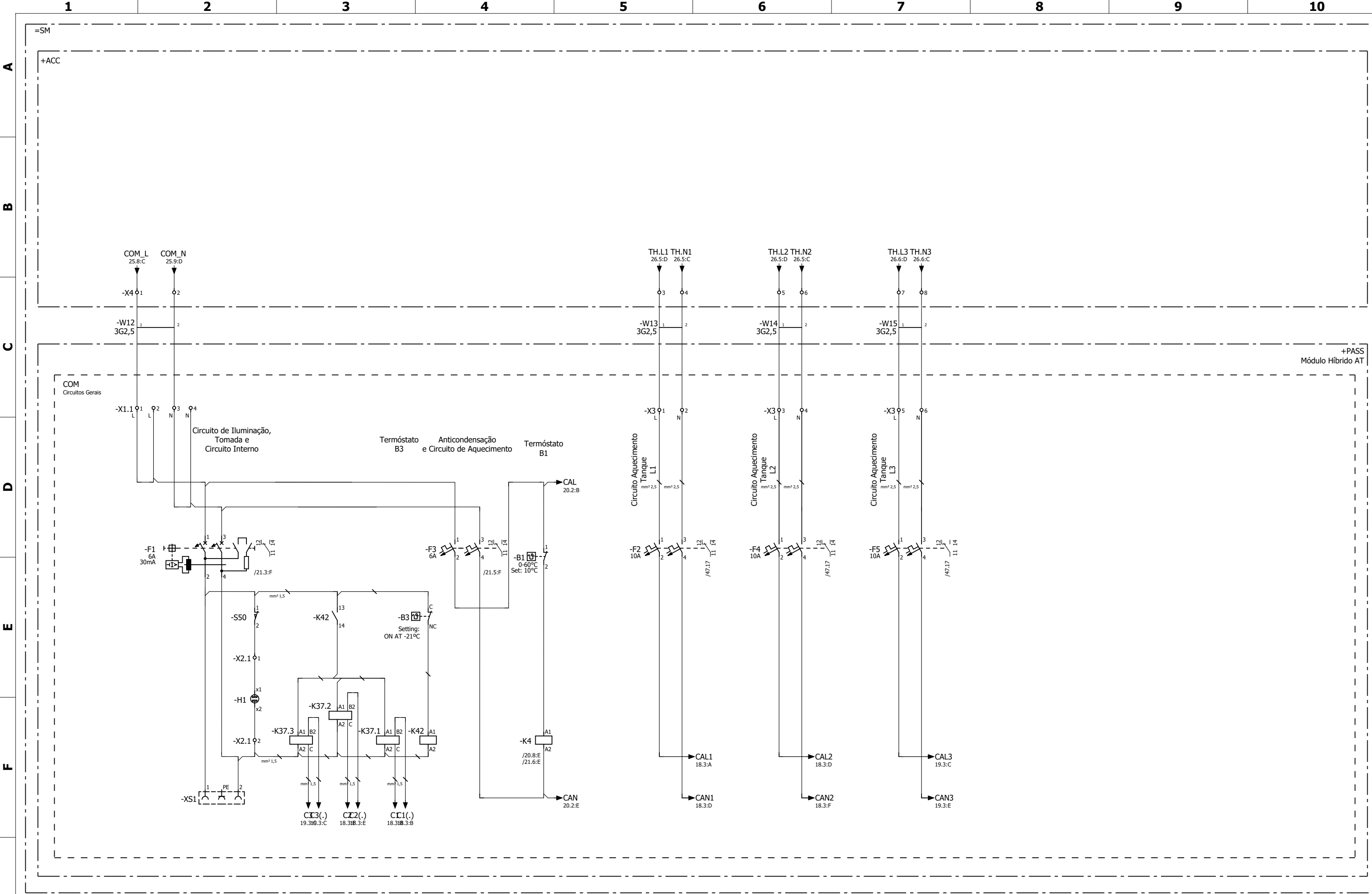
isep

Instituto Superior de Engenharia do Porto

TÍTULO	Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo
Circuito Sinalização Secc. Terra - PASS	

ESCALA	PÁGINA
	16/48

DESENHO Nº
1060348



REV.			FECHO		DESCRIÇÃO REVISÃO		PROJ.		VERIF.	

isep

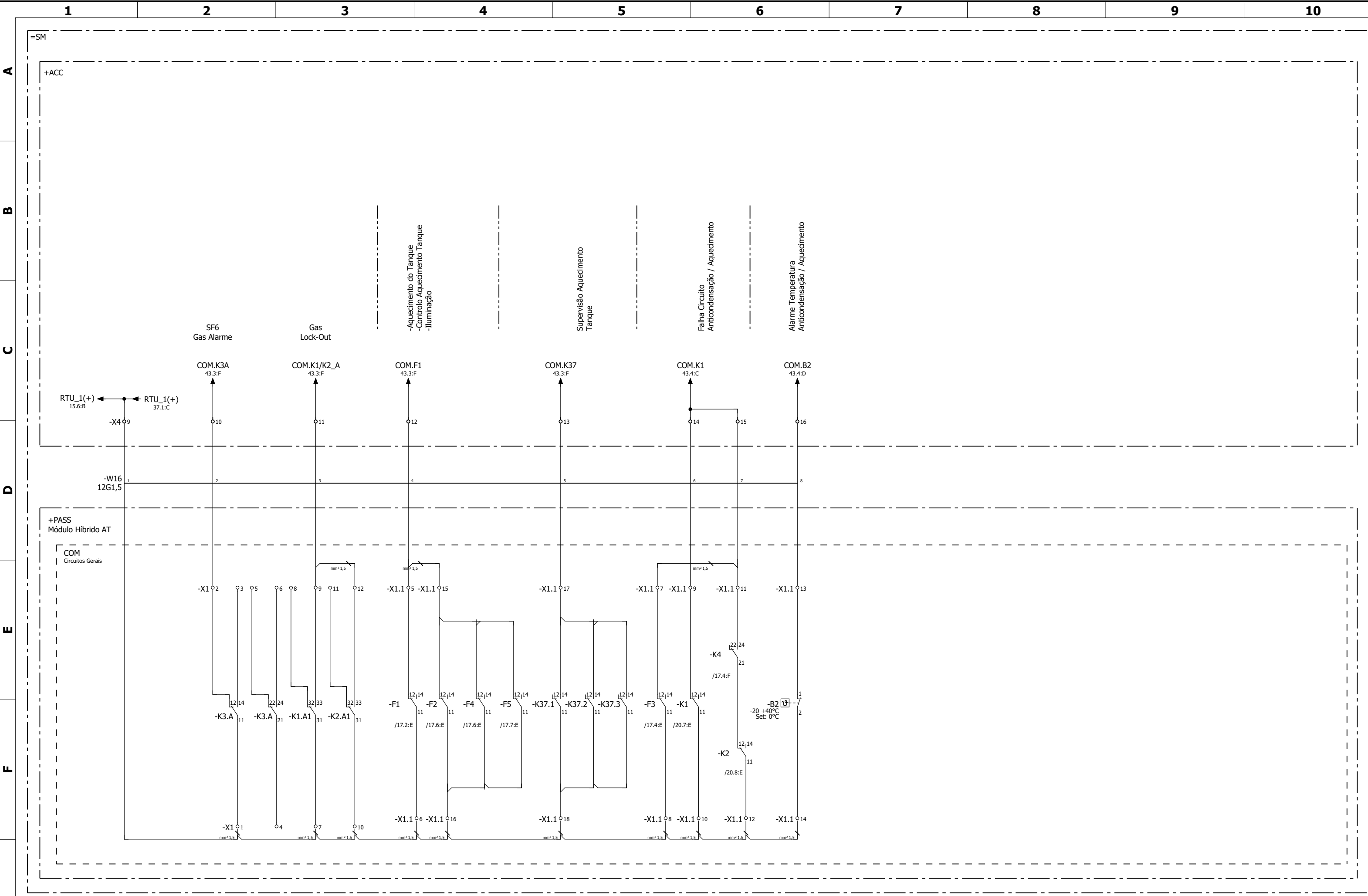
Instituto Superior de Engenharia do Porto

DATA	15-07-2021
PROJETADO	B.GOMES
VERIFICADO	T.SOARES
APROVADO	A.CARVALHO

TÍTULO	Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo
	Circ. Alimentações Gerais

ESCALA	PÁGINA
	17/48
DESENHO Nº	
1060348	





				TÍTULO		ESCALA	PÁGINA
				Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo			21/48
				Circ. Sinalização Geral - PASS		DESENHO Nº	
						1060348	
REV.	FECHO	DESCRIÇÃO REVISÃO		PROJ.	VERIF.		

ISO A3

isep

Instituto Superior de Engenharia do Porto

DATA

15-07-2021

PROJETADO

B.GOMES

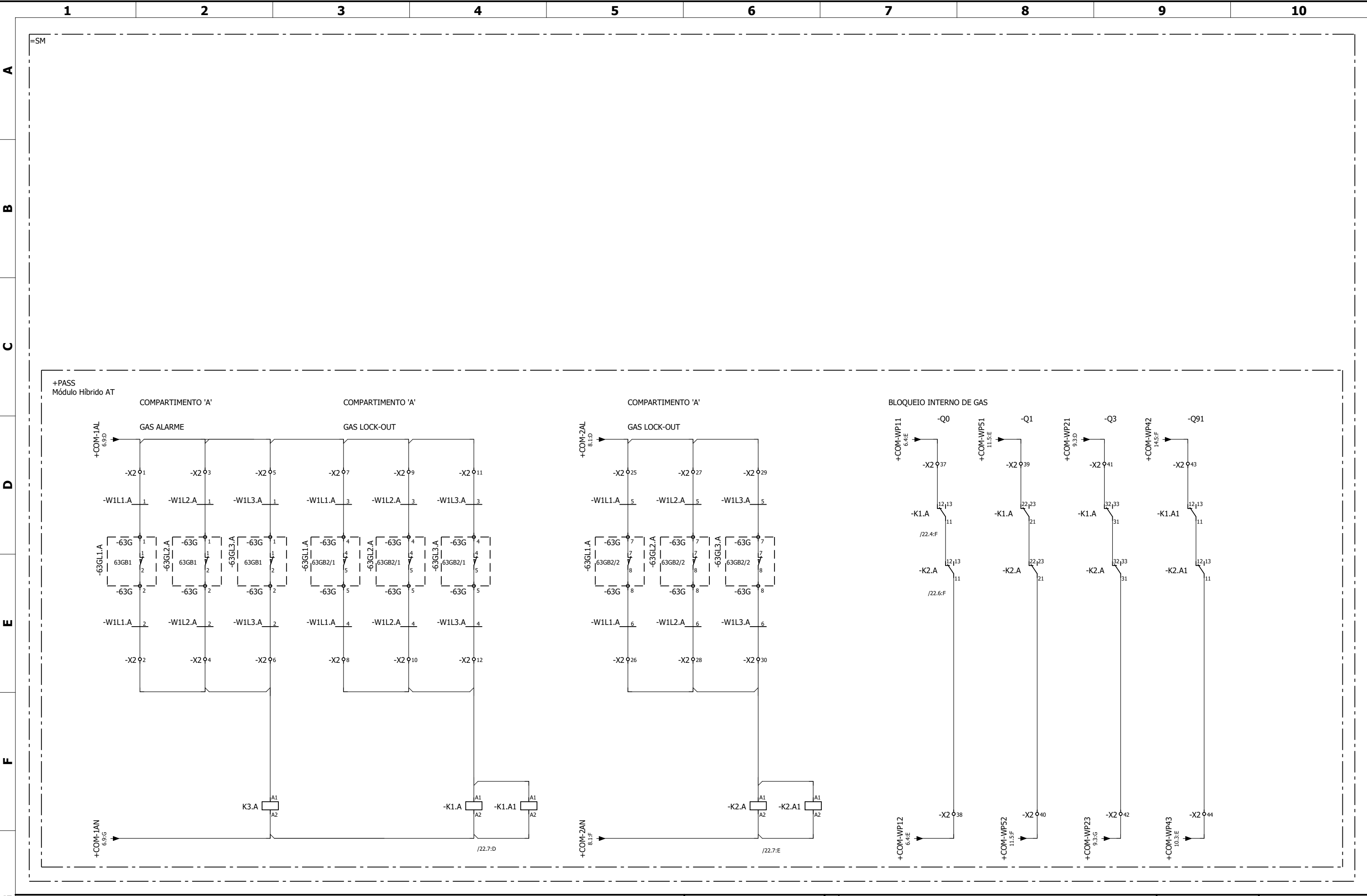
VERIFICADO

T.SOARES

APROVADO

A.CARVALHO

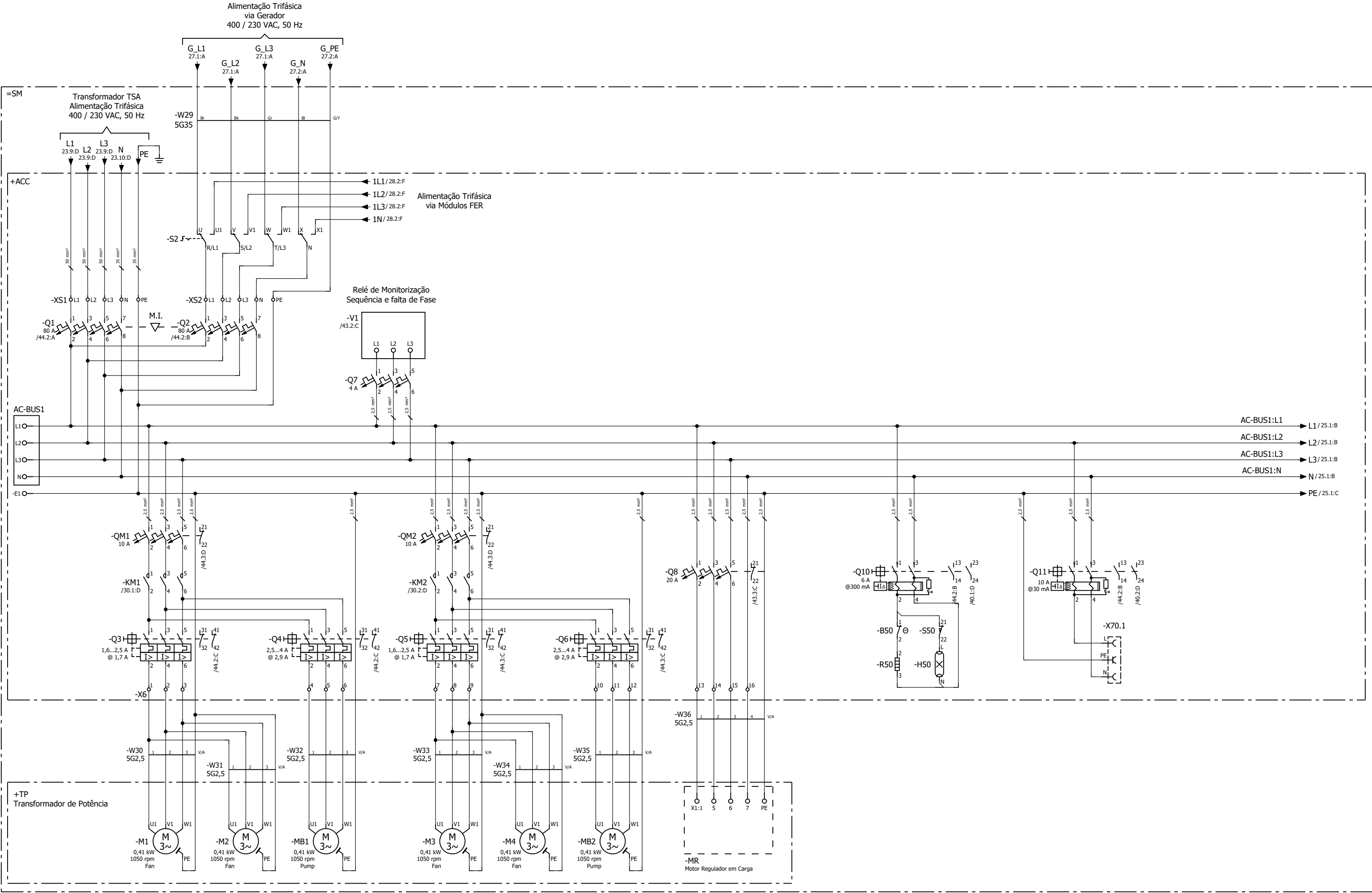
ISO A3



<

A
B
C
D
E
F
G

12345678910



ISO A3

REV.	FECHO	DESCRIÇÃO	REVISÃO	PROJ.	VERIF.

isep

Instituto Superior de Engenharia do Porto

DATA

15-07-2021

PROJETADO

B.GOMES

VERIFICADO

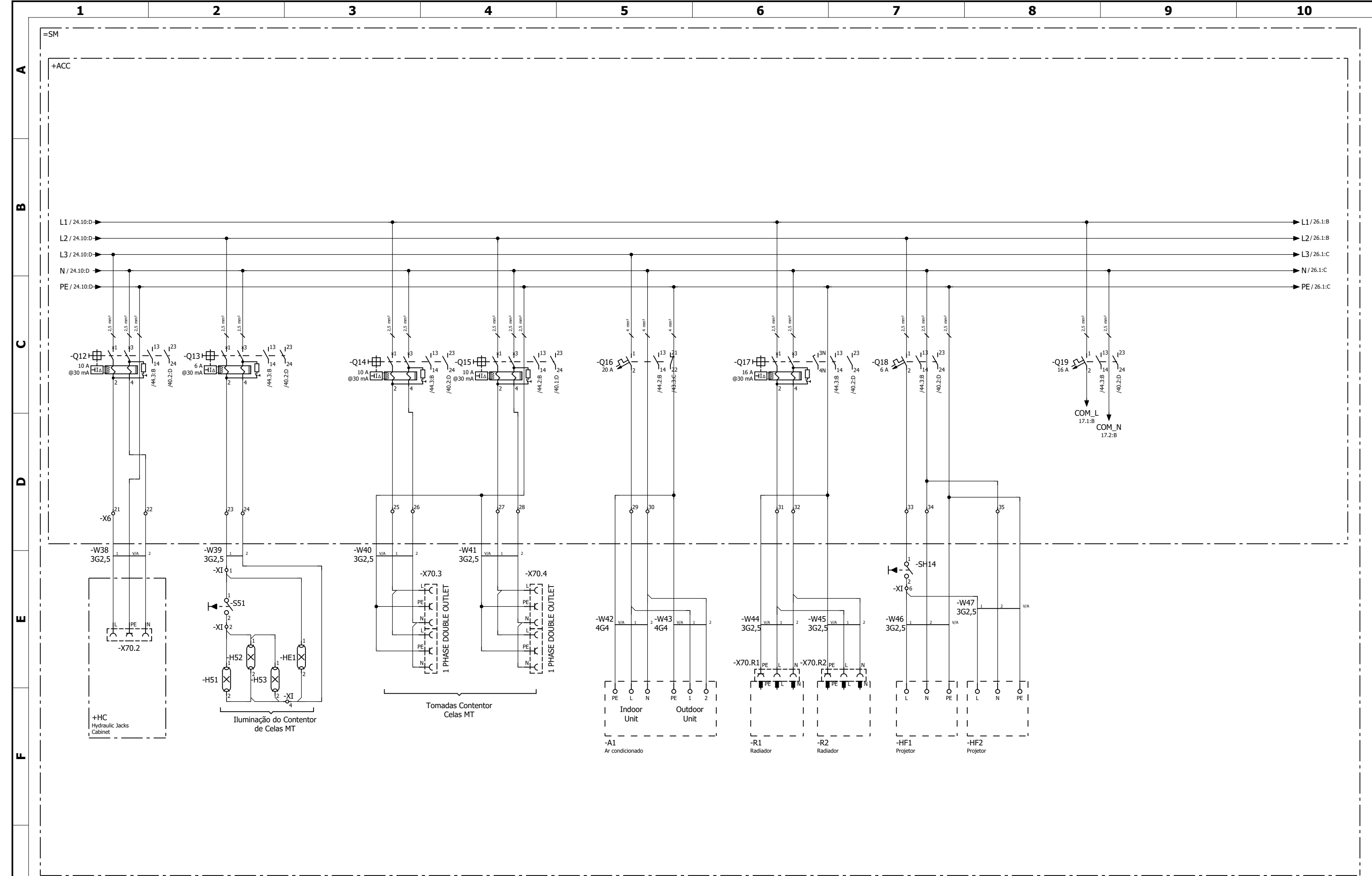
T.SOARES

APROVADO

A.CARVALHO

TÍTULO	Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo
Circuito de alimentação AC I	

ESCALA	PÁGINA
	24/48
DESENHO Nº	
1060348	



ISO A3

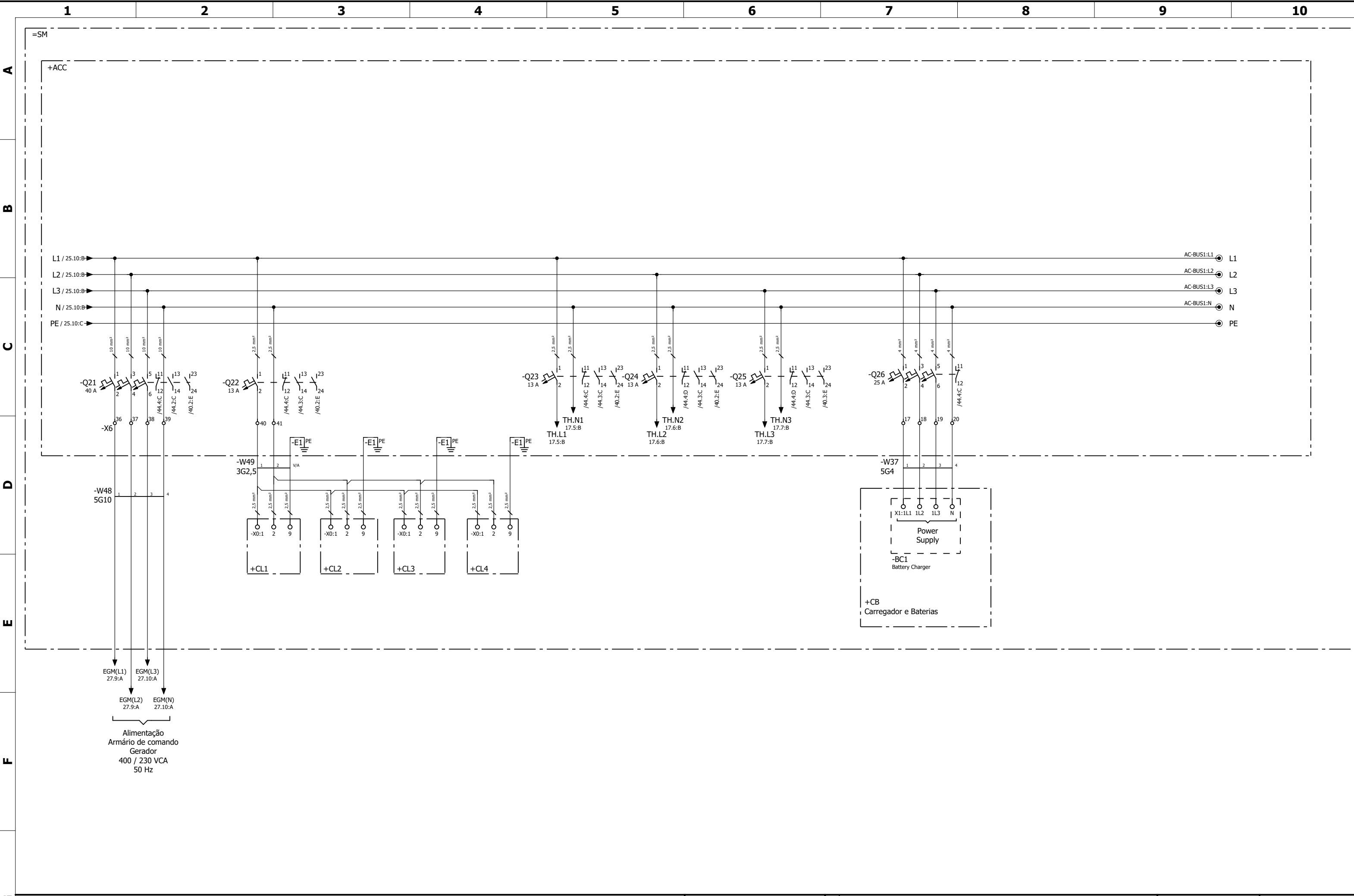
REV.		FECHO	DESCRIÇÃO	REVISÃO	PROJ.	VERIF.	DATA	15-07-2021
							PROJETADO	B.GOMES
							VERIFICADO	T.SOARES
							APROVADO	A.CARVALHO



Instituto Superior de Engenharia do Porto

TÍTULO	Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo
Circuito de alimentação AC II	

ESCALA	PÁGINA
	25/48
DESENHO Nº	
1060348	



REV.	FECHO	DESCRIÇÃO REVISÃO	PROJ.	VERIF.

DATA	15-07-2021
PROJETADO	B.GOMES
VERIFICADO	T.SOARES
APROVADO	A.CARVALHO

TÍTULO	Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo
Circuito de alimentação AC III	

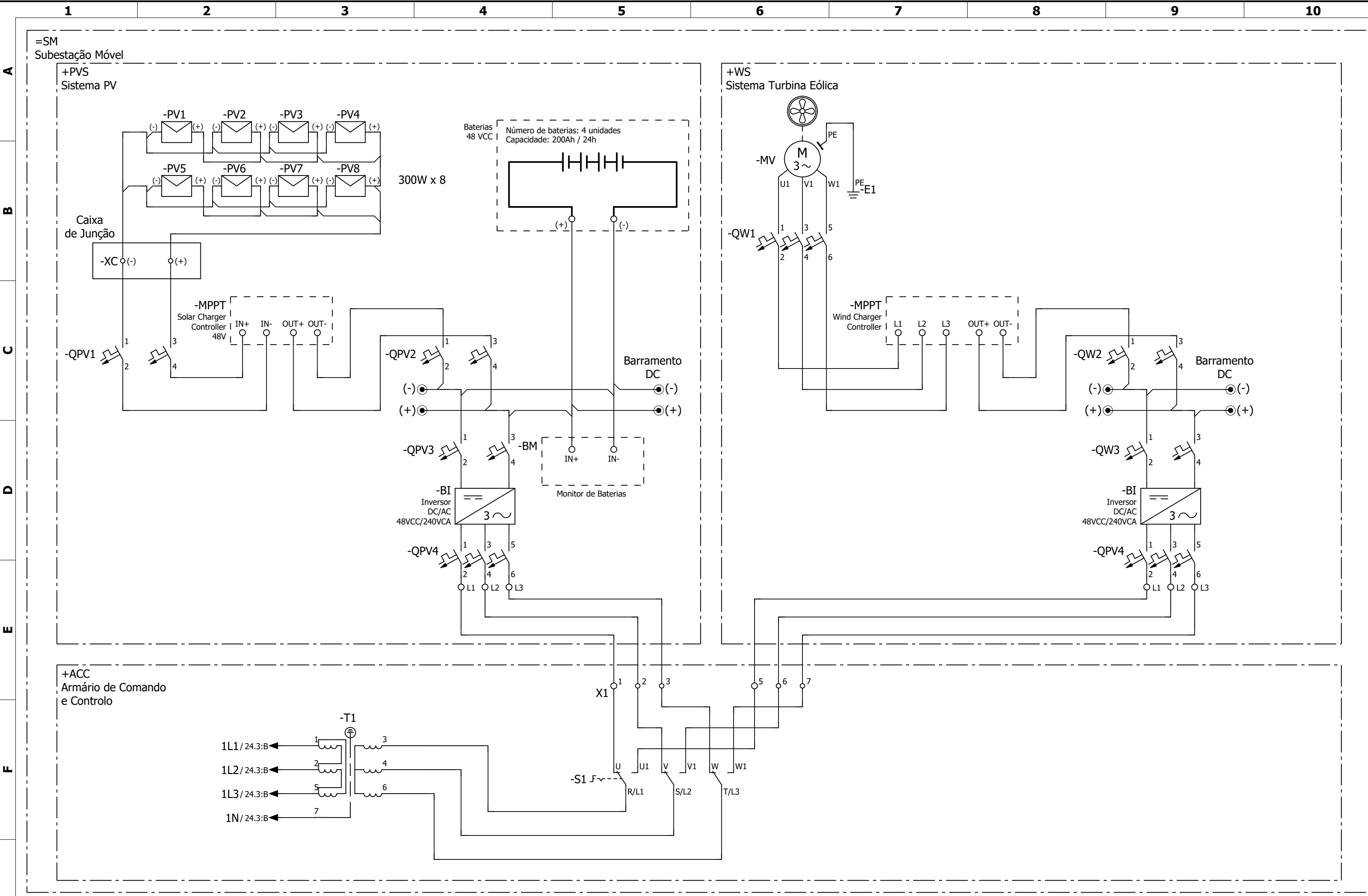
ESCALA	PÁGINA
	26/48
DESENHO Nº	
1060348	



isep Instituto Superior de
Engenharia do Porto

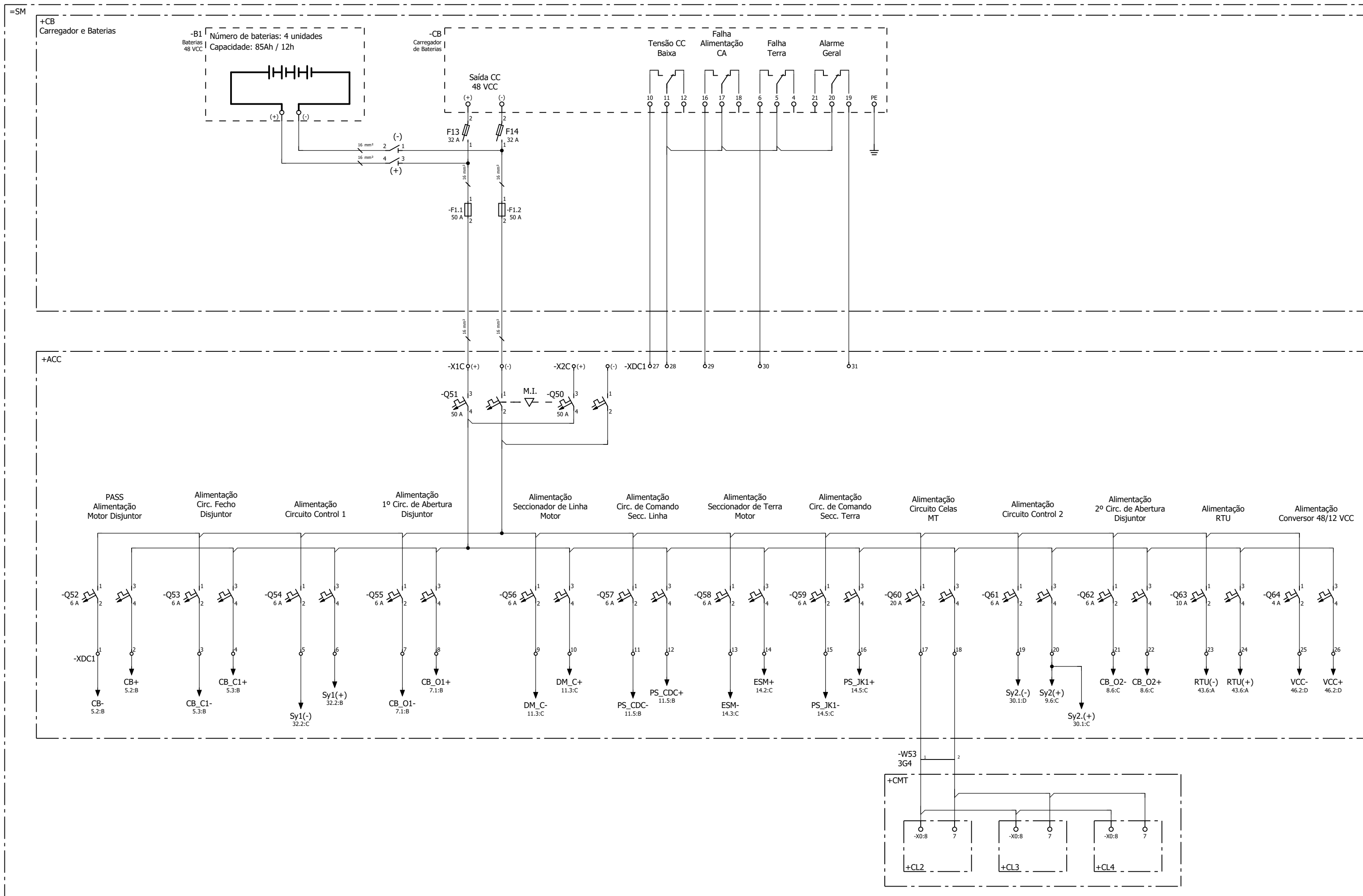
Circuito de alimentação AC - Módulo Gerador Diesel

ESCALA	PÁGINA
	27/48
DESENHO Nº	
1060348	



A
B
C
D
E
F
G

12345678910



ISO A3

REV.	FECHO	DESCRIÇÃO	REVISÃO	PROJ.	VERIF.	DATA	15-07-2021
						PROJETADO	B.GOMES
						VERIFICADO	T.SOARES
						APROVADO	A.CARVALHO

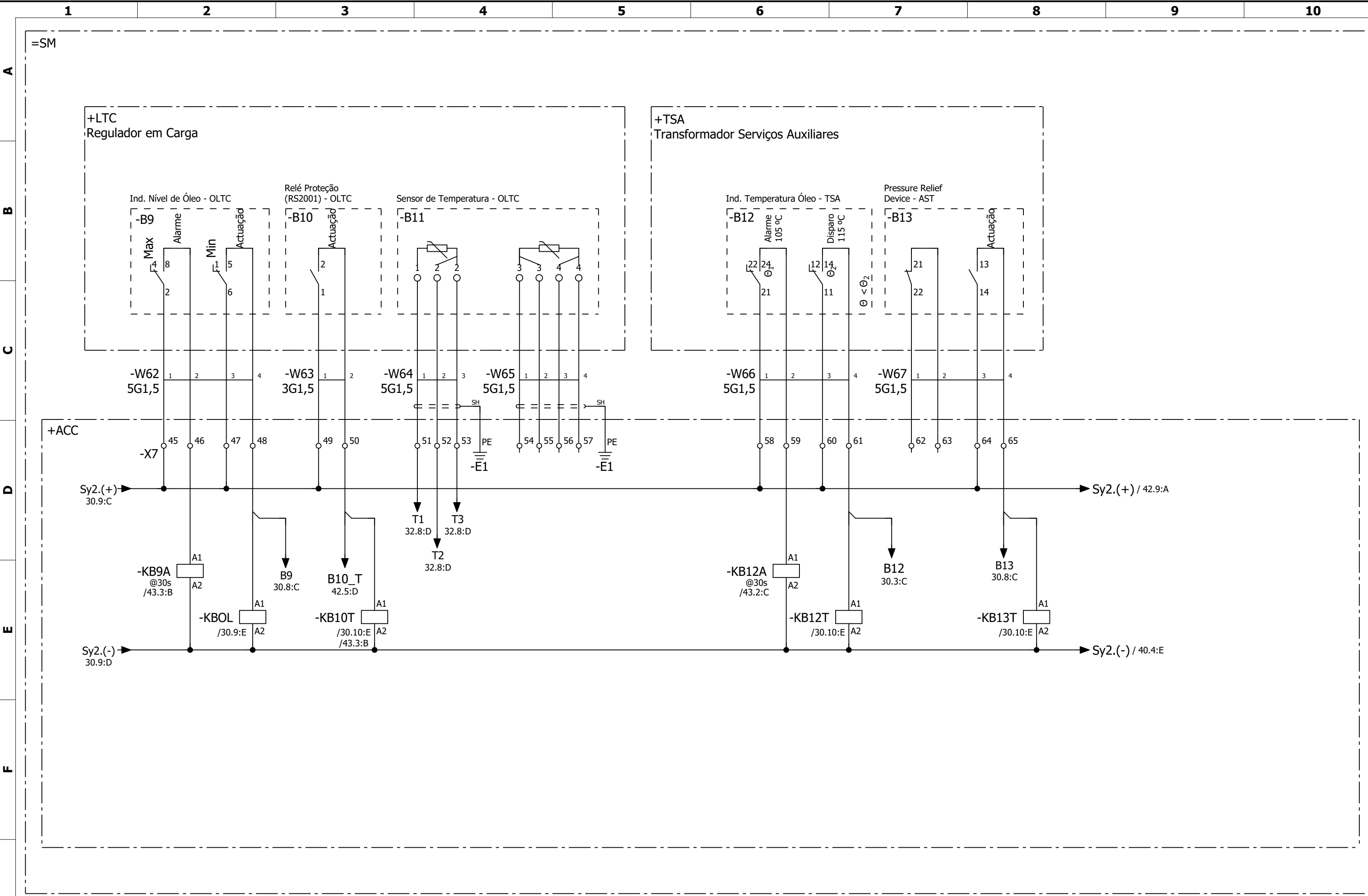


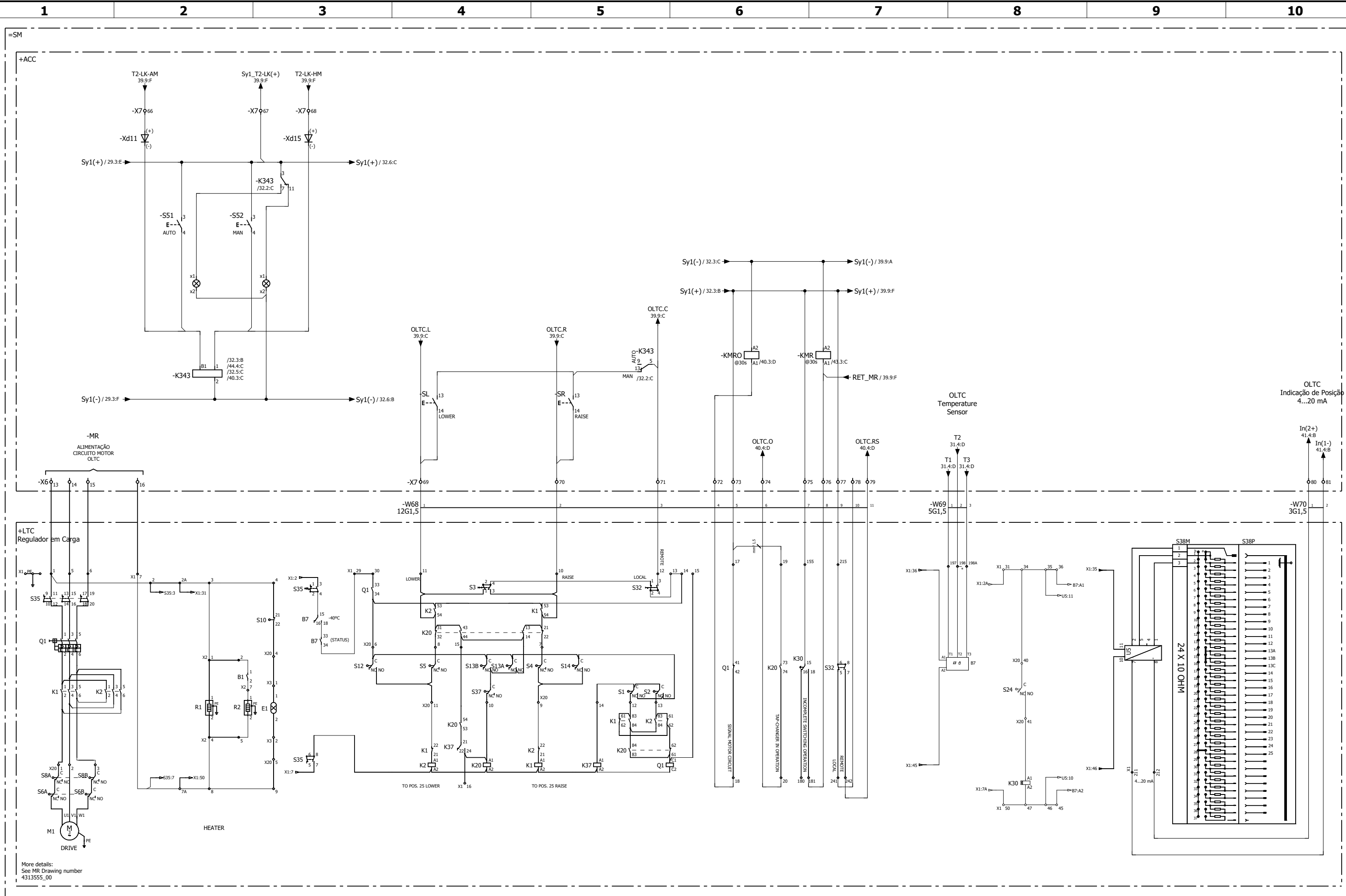
Instituto Superior de Engenharia do Porto

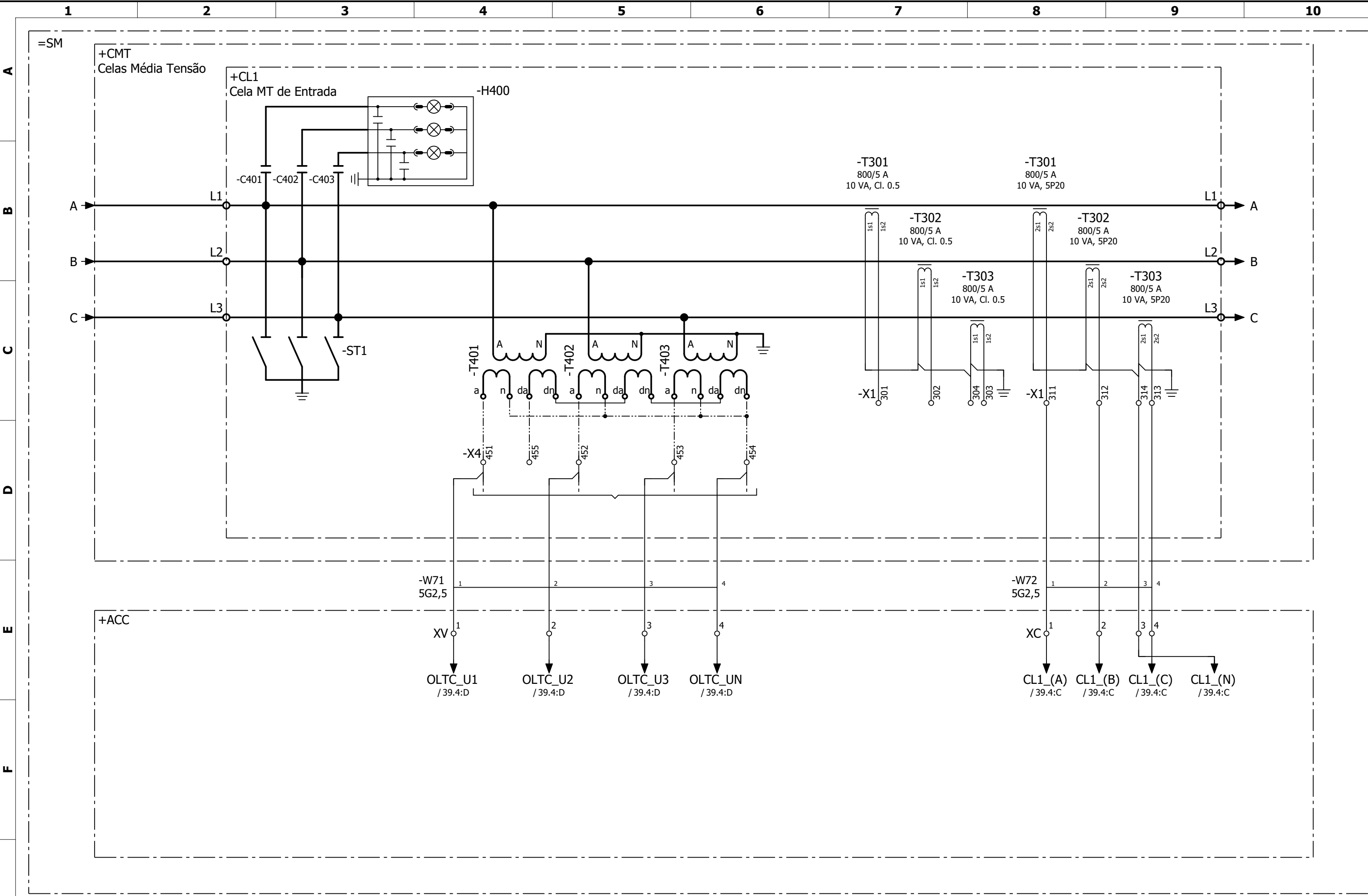
TÍTULO	Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo
Circuito de alimentação CC	

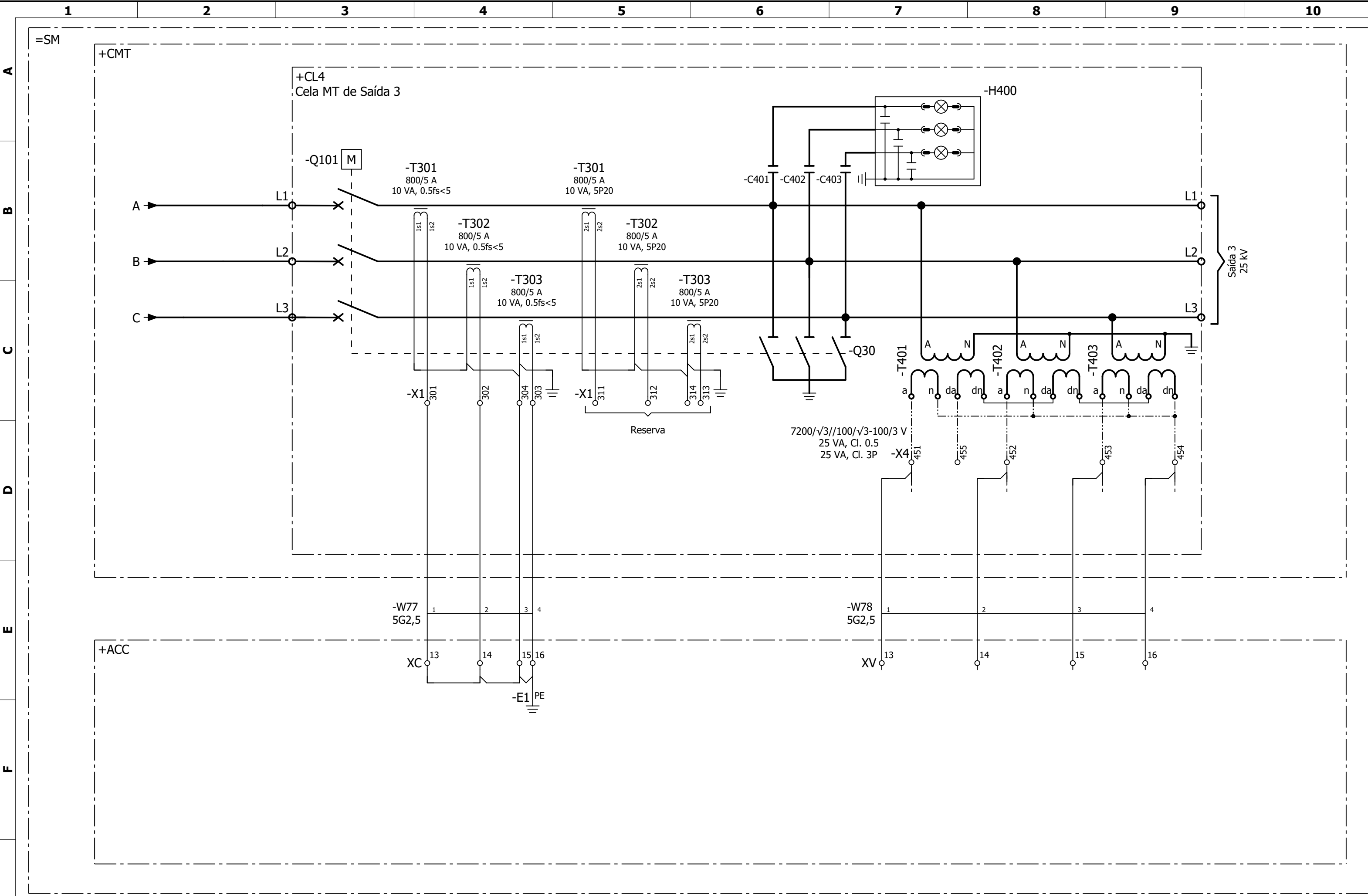
ESCALA	PÁGINA
	29/48
DESENHO Nº	
1060348	







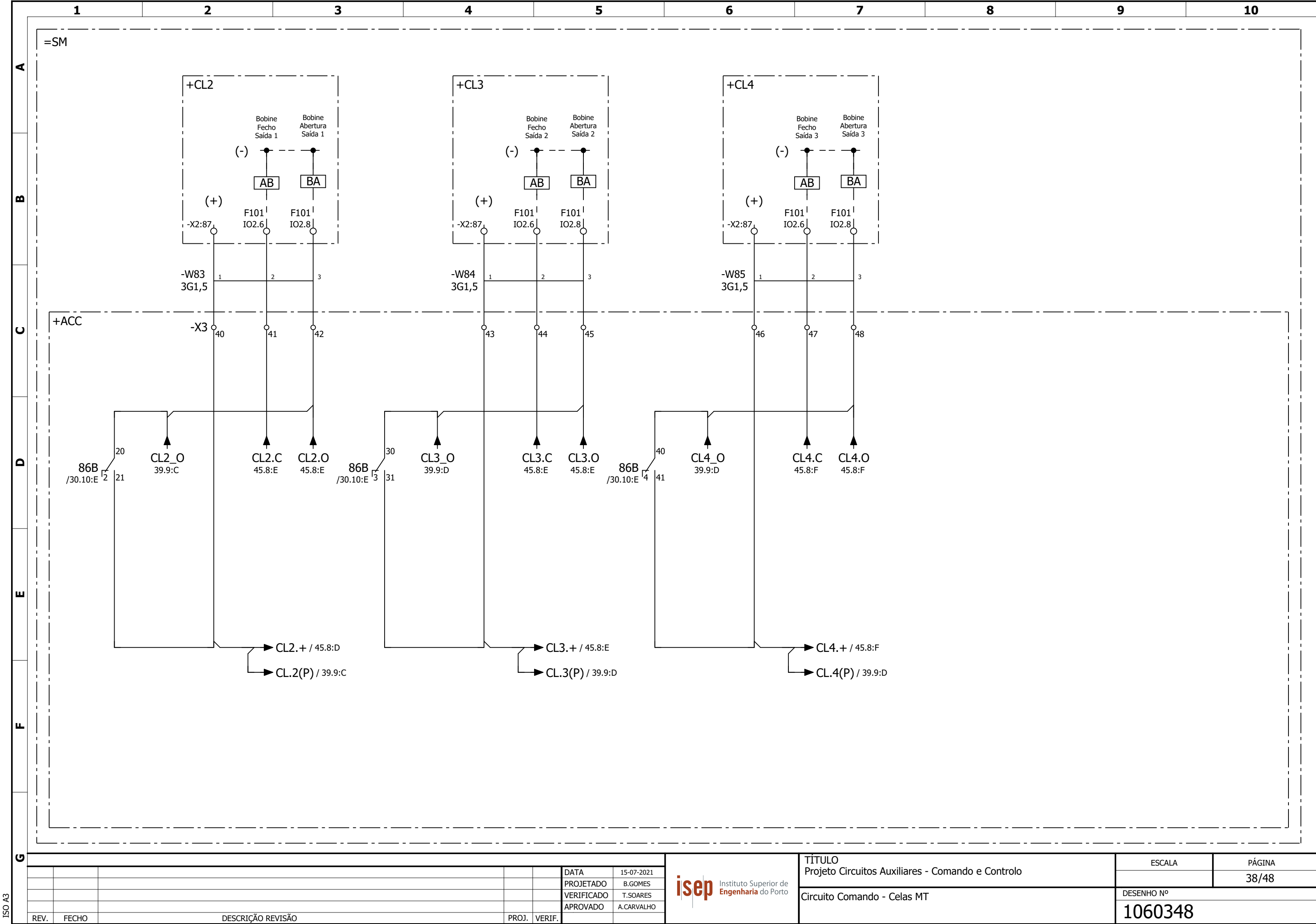






isep Instituto Superior de
Engenharia do Porto

ESCALA	PÁGINA
	37/48
DESENHO Nº	
1060348	



ISO A3

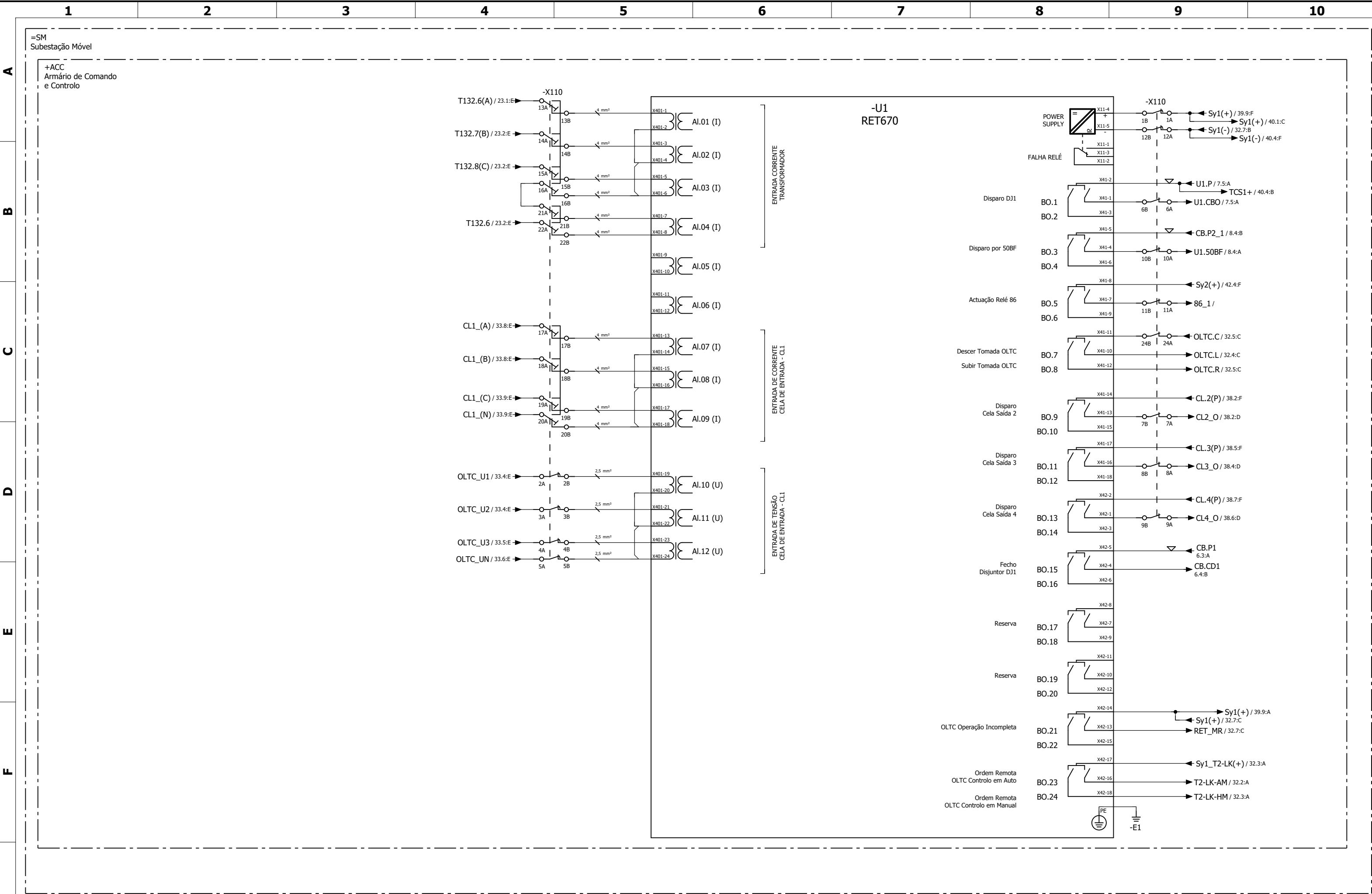
REV.	FECHO	DESCRIÇÃO REVISÃO	PROJ.	VERIF.	DATA	15-07-2021
					PROJETADO	B.GOMES
					VERIFICADO	T.SOARES
					APROVADO	A.CARVALHO

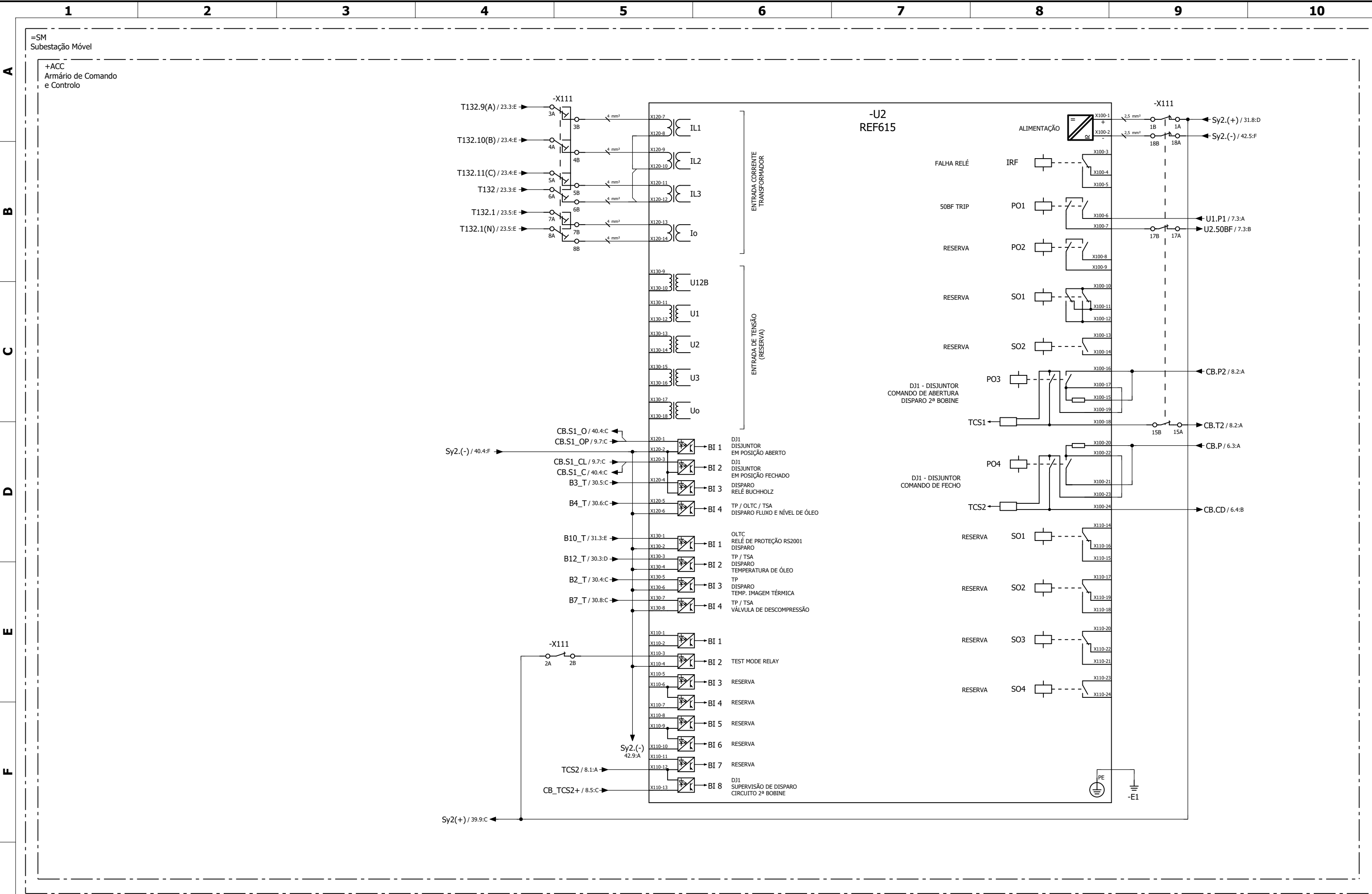


TÍTULO	Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo
Circuito Comando - Celas MT	

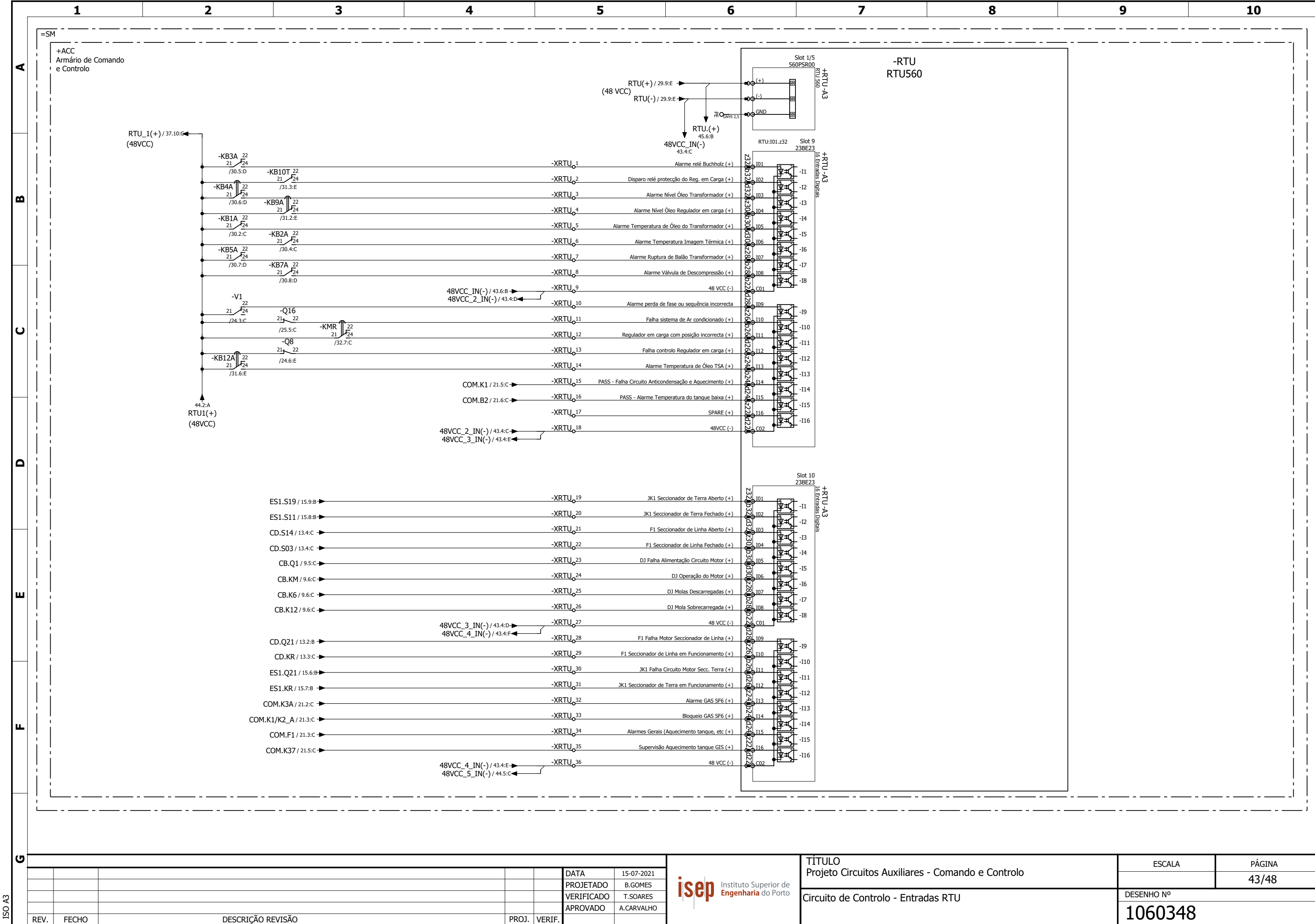
ESCALA	PÁGINA
	38/48

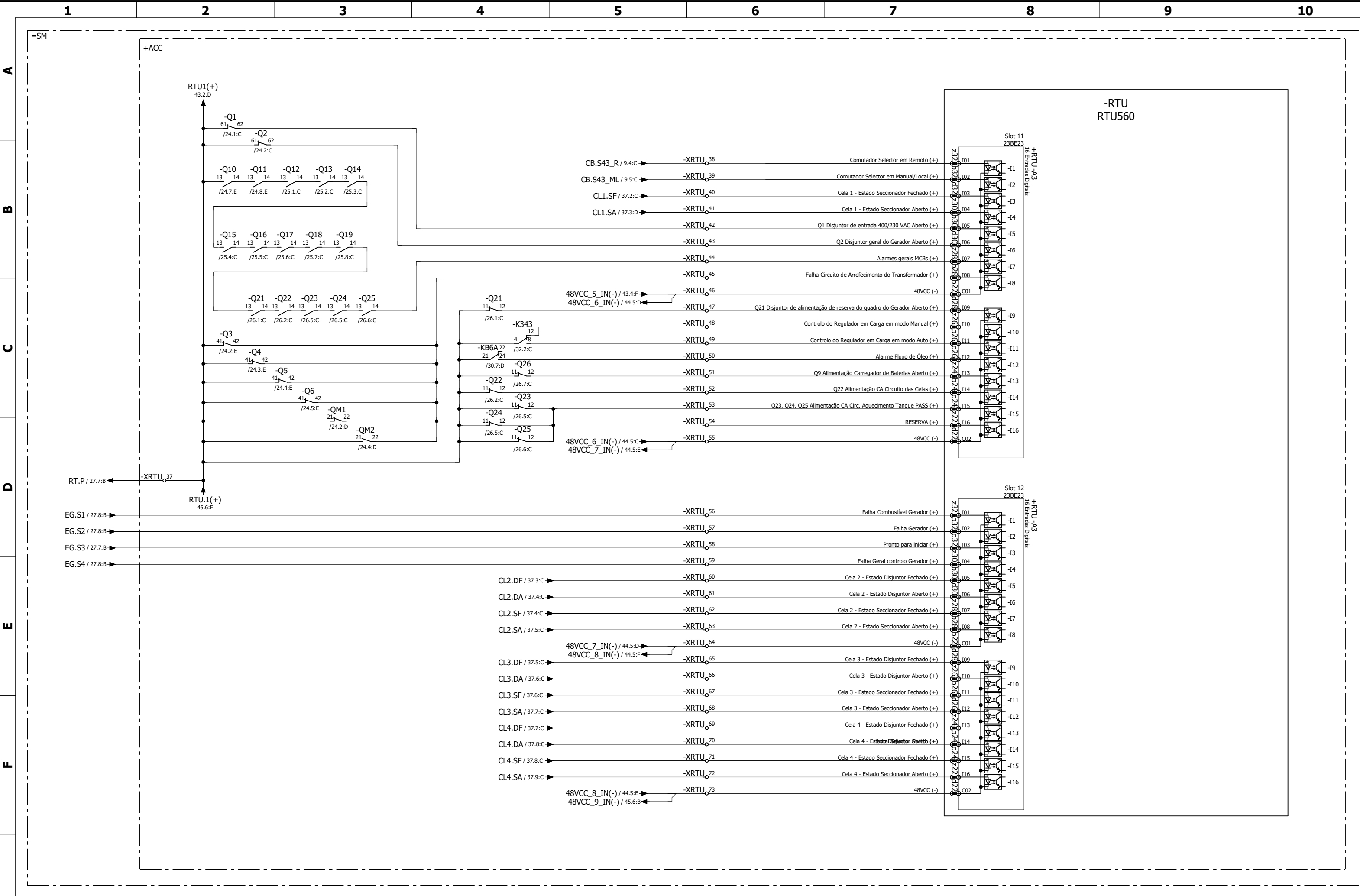
DESENHO Nº
1060348

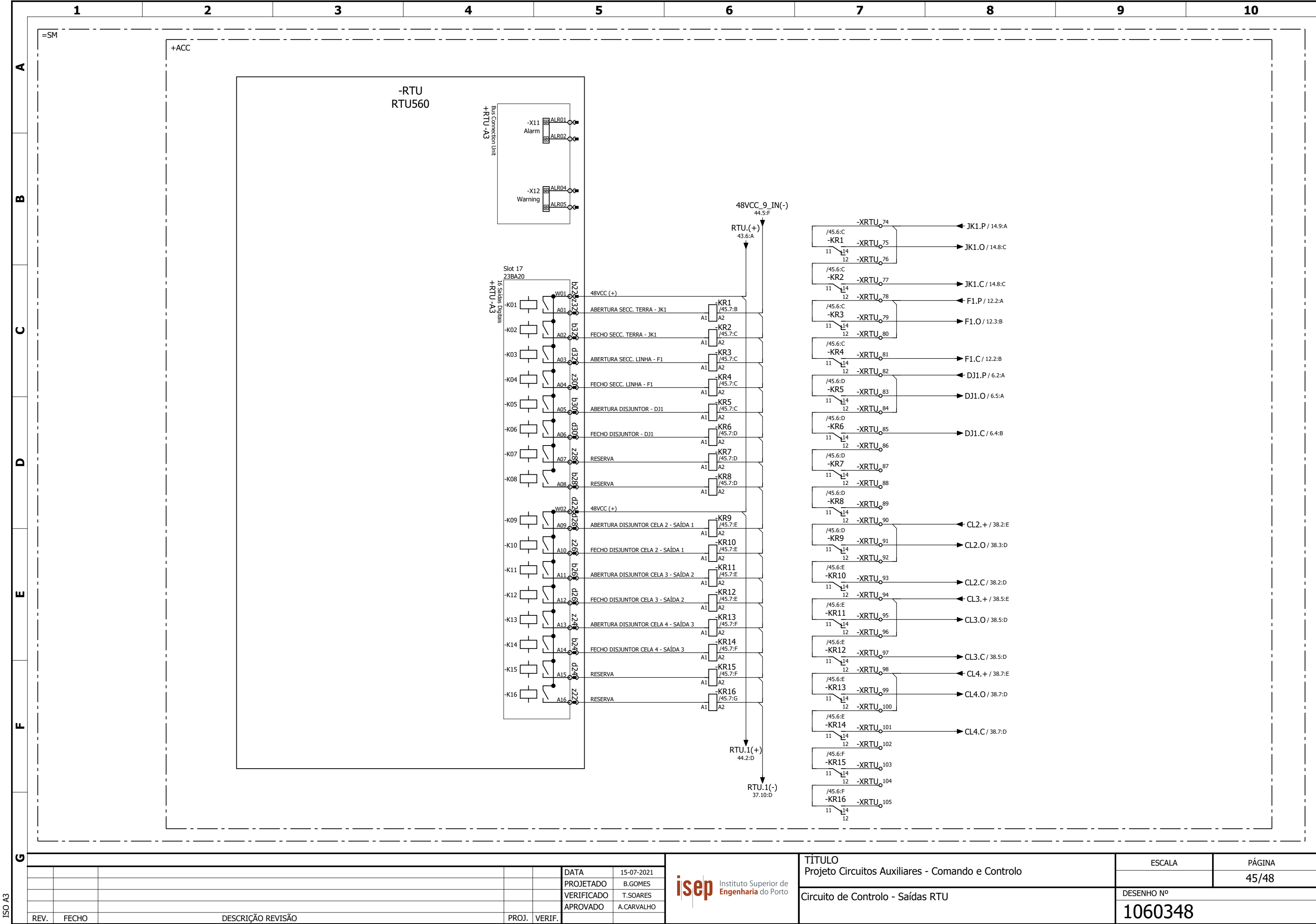




				DATA	15-07-2021	 Instituto Superior de Engenharia do Porto	TÍTULO	ESCALA	PÁGINA
				PROJETADO	B.GOMES		Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo		42/48
				VERIFICADO	T.SOARES		Circuito de Controlo - Relé Protecção REF615	DESENHO Nº	
REV.	FECHO	DESCRIÇÃO REVISÃO			PROJ.	VERIF.		1060348	
				APROVADO	A.CARVALHO				

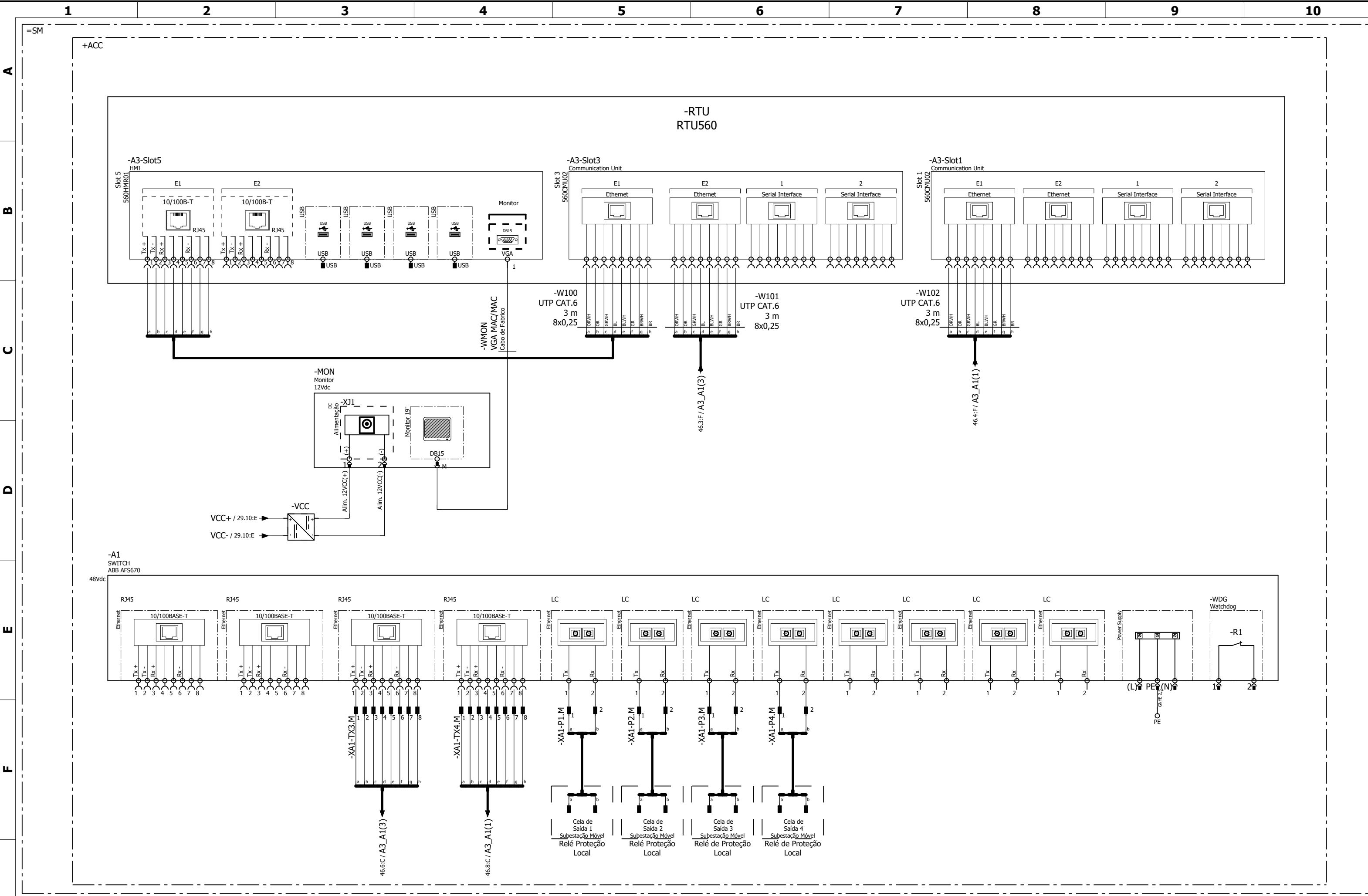






REV.	FECHO	DESCRIÇÃO REVISÃO	PROJ.	VERIF.	DATA	15-07-2021
					PROJETADO	B.GOMES
					VERIFICADO	T.SOARES
					APROVADO	A.CARVALHO

TÍTULO		ESCALA	PÁGINA
Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo			45/48
Circuito de Controlo - Saídas RTU		DESENHO Nº	1060348



REV.		FECHO	DESCRIÇÃO	REVISÃO	PROJ.	VERIF.	DATA	15-07-2021
							PROJETADO	B.GOMES
							VERIFICADO	T.SOARES
							APROVADO	A.CARVALHO

A

B

C

D

E

F

G

LISTA DE EQUIPAMENTOS

TIPO	DT	QTD.	DESIGNAÇÃO	CARACTERÍSTICAS DA PEÇA	FABRICANTE	NÚMERO DE TIPO	LOCALIZAÇÃO	PREÇO (€)
Engenharia eletrotécnica	-A1	1 U	Ethernet Switch		ABB	AFS670-EREETTLLLLEEEEENYEX08.0	ACC	6000,00
Engenharia eletrotécnica	AC-BUS1	1 U	Barramento Distribuição Tetrapolar	4P, 160 A	Erico	TD 160 AL- 563990	ACC	100,70
Engenharia eletrotécnica	-B50;-B54	2 U	Termóstato KTO 011, NC, 0-60°C	Contacto abridor (NC): 0 a +60° C	STE	KTO 011 - 01140.0-00	ACC;AGE	19,71
Engenharia eletrotécnica	-86B	1 U	Relé auxiliar	48 VCC	ARTECHE	RJ8 48 VCC OP 00001	ACC	150,00
Engenharia eletrotécnica	-CV1;-CV2	2 U	Conversor de Sinal		AKM	48515-1	ACC	327,75
Engenharia eletrotécnica	-GE	1 U	Gerador a Diesel		Cummings	S3.8G6	ACC	327,75
Engenharia eletrotécnica	-H50;-H59	2 U	Lâmpada	230 VAC	STEGO	02527.0-00	SM	10540,00
Engenharia eletrotécnica	-K343	1 U	Relé auxiliar biestavel	48 VCC	ARTECHE	BF-4 48 VCC	ACC	95,50
Engenharia eletrotécnica	-K343	1 U	Base para relé auxiliar		ARTECHE	FM-DE	ACC	14,76
Engenharia eletrotécnica	-K343	1 U	Dispositivo de fixação		ARTECHE	E31	ACC	3,20
Engenharia eletrotécnica	-KB1A;-KB1T;-KB2A;-KB2T;-KB3A;-KB4A;-KB5A;-KB6A;-KB6T;-KB7A;-KB9A;-KB10T;-KB12A;-KB12T -KB13T;-KBOL;-KCL1;-KMR;-KMRO;-KR1....-KR16	35 U	Relé Auxiliar		ABB	CR-U048DC3L	ACC	13,31
Engenharia eletrotécnica	-KB1A;-KB1T;-KB2A;-KB2T;-KB3A;-KB4A;-KB5A;-KB6A;-KB6T;-KB7A;-KB9A;-KB10T;-KB12A;-KB12T -KB13T;-KBOL;-KCL1;-KMR;-KMRO;-KR1....-KR16	35 U	Base para Relé Auxiliar	3 c/o (SPDT)	ABB	CR-U3S	ACC	5,59
Engenharia eletrotécnica	-KB1A;-KB1T;-KB2A;-KB2T;-KB3A;-KB4A;-KB5A;-KB6A;-KB6T;-KB7A;-KB9A;-KB10T;-KB12A;-KB12T -KB13T;-KBOL;-KCL1;-KMR;-KMRO;-KR1....-KR16	35 U	Clip de retenção		ABB	CR-UH	ACC	1,88
Engenharia eletrotécnica	-KB1A;-KB2A;-KB4A;-KB6T;-KB9A;-KB12A;-KMR;-KMRO	8 U	Modulo Temporizado		ABB	CR-UT	ACC	0,24
Engenharia eletrotécnica	-KC_S;-KO_1;-KO_3;-KO_S;-KO_S1	5 U	Relé Auxiliar		ABB	RXME 1 - RK221025-AN	ACC	28,00
Engenharia eletrotécnica	-KC_S	5 U	Base Rack para relés		ABB	1MRK000137-PA	ACC	227,85
Engenharia eletrotécnica	-KM1;-KM2	2 U	AF09-30-01-13 100-250V50/60HZ-DC Contactor		ABB	AF09-30-01-13	ACC	28,68
Engenharia eletrotécnica	-KO_2;-KO_4	2 U	Relé auxiliar rápido		ABB	RXMS 1 - RK216237-AN	ACC	242,77
Engenharia eletrotécnica	M.I.	1 U	Encravamento mecânico		ABB	1SDA066637R1	ACC	272,80
Engenharia eletrotécnica	-MON	1 U	Monitor HMI Rack 19"	12Vcc	ORION	MFR #19RCR	ACC	559,00
Engenharia eletrotécnica	PVS	1 U	Módulo solar PV	34 kW	OkSolar		SM	70000,00
Engenharia eletrotécnica	-Q1;-Q2	2 U	Disjuntor	4P, 80 A	ABB	1SDA067405R1	ACC	349,95
Engenharia eletrotécnica	-Q1;-Q2	2 U	Contacto auxiliar	250V AC-DC	ABB	1SDA066426R1	ACC	245,36
Engenharia eletrotécnica	-Q1;-Q2	2 U	PLATE FOR MECHANICAL INTERLOCK FOR FIXED CIRCUIT-BREAKER XT1		ABB	1SDA066639R1	ACC	54,57
Engenharia eletrotécnica	-Q3;-Q5	2 U	Disjuntor Motor	DISJ M 3P; 1,6...2,5 A	ABB	MS116-2.5	ACC	55,24
Engenharia eletrotécnica	-Q3....Q6	4 U	Contacto auxiliar	2 NC	ABB	HK1-02	ACC	11,16
Engenharia eletrotécnica	-Q4;-Q6	2 U	MS116-4.0 Manual Motor Starter	2.5 ... 4.0 A	ABB	MS116-4.0	ACC	42,78
Engenharia eletrotécnica	-Q7	1 U	Disjuntor		ABB	S203-C4	ACC	67,78
Engenharia eletrotécnica	-Q7;-Q8;-Q16;-Q21....Q26;-QM1;-QM2	16 U	Contacto auxiliar	1 NO, 1 NC	ABB	S2C-H6-11R	ACC	37,18
Engenharia eletrotécnica	-Q8	1 U	Disjuntor		ABB	S203-C20	ACC	55,24
Engenharia eletrotécnica	-Q10;-Q75	2 U	Dispositivo de proteção diferencial	DIFF 2P, 25 A, 300 mA	ABB	DDA202AC-25/0,3	ACC;AGE	160,24
Engenharia eletrotécnica	-Q10;-Q13;-Q75	3 U	Disjuntor		ABB	S201-C6NA	ACC;AGE	33,91
Engenharia eletrotécnica	-Q10....Q15;-Q17....Q19	9 U	Contacto Axiliar		ABB	S2-H6-20R_2CDS200946R0002	ACC	32,98
Engenharia eletrotécnica	-Q11....Q15;-Q17	6 U	Dispositivo de proteção diferencial	DIFF 2P, 25 A, 30 mA	ABB	DDA202AC-25/0,03	ACC	160,24
Engenharia eletrotécnica	-Q11;-Q12;-Q14;-Q15	4 U	Disjuntor		ABB	S201-C10NA	ACC	31,77
Engenharia eletrotécnica	-Q16	1 U	Circuit Breaker	1P, 20A	ABB	S201-C20	ACC	15,69
Engenharia eletrotécnica	-Q17	1 U	Disjuntor		ABB	S201-C16NA	ACC	31,42
Engenharia eletrotécnica	-Q18	1 U	Disjuntor		ABB	S201-C6	ACC	16,36
Engenharia eletrotécnica	-Q19	1 U	Disjuntor	1P, 16A	ABB	S201-C16	ACC	13,75
Engenharia eletrotécnica	-Q21	1 U	Disjuntor		ABB	S203-C40	ACC	65,10
Engenharia eletrotécnica	-Q22....Q25	4 U	Disjuntor		ABB	S201-C13	ACC	13,75
Engenharia eletrotécnica	-Q26	1 U	Disjuntor	3P, 25A	ABB	S203-C25	ACC	56,24
Engenharia eletrotécnica	-Q50;-Q51	2 U	Disjuntor		ABB	S202M-C50	ACC	106,90
Engenharia eletrotécnica	-Q52....Q59;-Q61;-Q62	10 U	Disjuntor	S202M, 2P, 6A	ABB	S202M-C6	ACC	57,72
Engenharia eletrotécnica	-Q60	1 U	Disjuntor	S202M, 2P, 20A	ABB	S202M-C20	ACC	57,48
Engenharia eletrotécnica	-Q63	1 U	Disjuntor	S202M, 2P, 10A	ABB	S202M-C10	ACC	57,29
Engenharia eletrotécnica	-Q64	1 U	Disjuntor	S202M, 2P, 4A	ABB	S202M-C4	ACC	61,65
Engenharia eletrotécnica	-QM1;-QM2	2 U	Disjuntor		ABB	S203-C10	ACC	54,38
Engenharia eletrotécnica	-R50;-R54	2 U	Resistência de Aquecimento	120-240 VCA, 100W, 4.5A	STE	CS 060 - 06010.0-00	ACC;AGE	48,93
Engenharia eletrotécnica	-RTU	1 U	Processador de comunicações RTU		ABB	RTU560	ACC	16000,00
Engenharia eletrotécnica	-S01;-S03;-S05	3 U	Comutador		Kraus & Naimer	CM4 S-8225-600-F12	ACC	135,90
Engenharia eletrotécnica	-S50;-S59	2 U	Fim de curso		Pizzato	MS40	ACC;AGE	11,00
Engenharia eletrotécnica	-S51;-S52	2 U	Botão pressão		ABB	MP2-11W	ACC	16,42
Engenharia eletrotécnica	-S51;-S52	4 U	Bloco de contactos		ABB	MCB-10	ACC	2,68
Engenharia eletrotécnica	-S51;-S52	2 U	LED		ABB	MLBL	ACC	7,53
Engenharia eletrotécnica	-S51;-S52	2 U	Suporte Sinalizador		ABB	MCBH-00	ACC	1,28
Engenharia eletrotécnica	-SKM	1 U	Comutador		ABB	ONWC4PB	ACC	35,00
Engenharia eletrotécnica	-SL;-SR	2 U	Botão de Pressão	Botão preto, Contacto 1NA	ABB	1SFA619100R1016	ACC	9,51
Engenharia eletrotécnica	-T1	1 U	Transformador trifásico de isolamento	In: 240VAC / Out: 400/230 VAC	OFICEL	BZNT46BDSALA	ACC	1 396,50
Engenharia eletrotécnica	-U1	1 U	Relé de Protecção		ABB	RET670*1.2 - A30X00-H11-B1A9-E-C-KB-B-A3-X0-D1ARRRXXX XXX-XD	ACC	10500,00
Engenharia eletrotécnica	-U2	1 U	Relé de Protecção		ABB	REF615.HBFJAFAGNAA4BAA1XG	ACC	6000,00
Engenharia eletrotécnica	-V1	1 U	Relé de monitorização Sequência e Falta de fase		CG	DPAD1DM48	ACC	169,08
Engenharia eletrotécnica	-VCC	1 U	Conversor/Fonte de Alimentação		Mean Well	SD-100D-12	ACC	30,00
Engenharia eletrotécnica	WS	1 U	Módulo Eólico		Uprise		SM	70000,00 (estimado)
Engenharia eletrotécnica	-X1L....X4;-X7;-XRTU;-XS6;=SM+AGE-XS6	321 U	Borne		PXC	LUK 5-MTK-P/P	ACC;AGE	3,83
Engenharia eletrotécnica	-X1;-X2;-X4	4 U	Travão		PXC	E/NS 35 N (0800886)	ACC	1,38
Engenharia eletrotécnica	-X1C;-X2C;-XS3;-XS4	13 U	Borne de passagem	0.75 - 50 mm2, gris	PXC	LUK 35 - 3008012	ACC;AGE	8,00
Engenharia eletrotécnica	-XS;XC;XV	65 U	Test disconnect terminal block	0.5 - 10 mm2, gris	PXC	URTK/S - 0311087	ACC	10,57
Engenharia eletrotécnica	-X6;-XDC1;=SM+ACC-X6	86 U	Feed-through terminal block	0.2 - 10 mm2, gris	PXC	UK 6 N - 3004524	ACC	3,00
Engenharia eletrotécnica	-X70.1	1 U	Tomada Mono-fásica 16 A 2P		ABB	2CSM110000R0701	ACC	10,04
Engenharia eletrotécnica	-X110	1 U	Ficha de Teste		ABB	RK926315-BE	ACC	772,85
Engenharia eletrotécnica	-X111	1 U	Ficha de Teste		ABB	RK926115-DN	ACC	772,85
Engenharia eletrotécnica	-XS1;-XS2	10 U	Borne	1000 V, 150 A, Screw connection, 2 connections, 16 mm² - 70 mm², AWG: 6 - 2/0, color: gray	PXC	UKH 50 (3009118)	ACC	11,99
Engenharia eletrotécnica	-Xd11;-Xd15	2 U	Borne de seccionamento		PXC	UT 2.5-TG-P/P	ACC	2,50
Engenharia eletrotécnica	-Xd11;-Xd15	2 U	Component connector		PXC	P-CO	ACC	11,00
Engenharia eletrotécnica	-Xd11;-Xd15	2 U	Diodo	2 A	EFACEC	RL207	ACC	5,00
Engenharia eletrotécnica	-CB	1 U	Carregador Baterias		Efacec	EFAPOWER	CB	7600,00

ISO A3

REV.	FECHO	DESCRIÇÃO REVISÃO	PROJ.	VERIF.	DATA	15-07-2021
					PROJETADO	B.GOMES
					VERIFICADO	T.SOARES
					APROVADO	A.CARVALHO



TÍTULO	ESCALA	PÁGINA
Projeto Circuitos Auxiliares - Comando e Controlo		47/48
Lista dos totais das peças	DESENHO Nº	
	1060348	

ANEXO C

Tabelas - Estudos de Caso

Tabela C. 1. Cálculo de investimento a 25 anos - Cenário 1.

Período (ano)	Fluxo de caixa	Valor presente	Valor presente acumulado
0	-2 000 000,00 €	-2 000 000,00 €	-2 000 000,00 €
1	2 116 330,89 €	1 840 287,73 €	-159 712,27 €
2	2 116 330,89 €	1 600 250,20 €	1 440 537,93 €
3	2 116 330,89 €	1 391 521,91 €	2 832 059,85 €
4	2 116 330,89 €	1 210 019,06 €	4 042 078,90 €
5	2 116 330,89 €	1 052 190,48 €	5 094 269,39 €
6	2 116 330,89 €	914 948,25 €	6 009 217,63 €
7	2 116 330,89 €	795 607,17 €	6 804 824,80 €
8	2 116 330,89 €	691 832,32 €	7 496 657,13 €
9	2 116 330,89 €	601 593,32 €	8 098 250,45 €
10	2 116 330,89 €	523 124,63 €	8 621 375,08 €
11	2 116 330,89 €	454 890,98 €	9 076 266,06 €
12	2 115 530,89 €	395 407,85 €	9 471 673,91 €
13	2 116 330,89 €	343 962,94 €	9 815 636,85 €
14	2 116 330,89 €	299 098,20 €	10 114 735,05 €
15	2 116 330,89 €	260 085,40 €	10 374 820,45 €
16	2 116 330,89 €	226 161,21 €	10 600 981,66 €
17	2 116 330,89 €	196 661,92 €	10 797 643,59 €
18	2 116 330,89 €	171 010,37 €	10 968 653,96 €
19	2 116 330,89 €	148 704,67 €	11 117 358,62 €
20	2 116 330,89 €	129 308,41 €	11 246 667,03 €
21	2 116 330,89 €	112 442,09 €	11 359 109,13 €
22	2 116 330,89 €	97 775,73 €	11 456 884,86 €
23	2 116 330,89 €	85 022,38 €	11 541 907,24 €
24	2 115 530,89 €	73 904,55 €	11 615 811,79 €
25	2 116 330,89 €	64 289,13 €	11 680 100,92 €

Tabela C. 2. Cálculo de investimento a 25 anos - Cenário 2.

Período (ano)	Fluxo de caixa	Valor presente	Valor presente acumulado
0	-2 070 000,00 €	-2 070 000,00 €	-2 070 000,00 €
1	2 133 948,51 €	1 855 607,40 €	-214 392,60 €
2	2 133 948,51 €	1 613 571,66 €	1 399 179,06 €
3	2 133 948,51 €	1 403 105,79 €	2 802 284,85 €
4	2 133 948,51 €	1 220 091,99 €	4 022 376,83 €
5	2 133 948,51 €	1 060 949,56 €	5 083 326,39 €
6	2 133 948,51 €	922 564,83 €	6 005 891,22 €
7	2 133 948,51 €	802 230,29 €	6 808 121,51 €
8	2 133 948,51 €	697 591,55 €	7 505 713,06 €
9	2 133 948,51 €	606 601,35 €	8 112 314,41 €
10	2 133 948,51 €	527 479,44 €	8 639 793,85 €
11	2 133 948,51 €	458 677,77 €	9 098 471,62 €
12	2 132 348,51 €	398 551,18 €	9 497 022,81 €
13	2 133 948,51 €	346 826,29 €	9 843 849,10 €
14	2 133 948,51 €	301 588,08 €	10 145 437,18 €
15	2 133 948,51 €	262 250,50 €	10 407 687,68 €
16	2 133 948,51 €	228 043,92 €	10 635 731,60 €
17	2 133 948,51 €	198 299,06 €	10 834 030,65 €
18	2 133 948,51 €	172 433,96 €	11 006 464,62 €
19	2 133 948,51 €	149 942,58 €	11 156 407,20 €
20	2 133 948,51 €	130 384,85 €	11 286 792,04 €
21	2 133 948,51 €	113 378,13 €	11 400 170,17 €
22	2 133 948,51 €	98 589,68 €	11 498 759,85 €
23	2 133 948,51 €	85 730,15 €	11 584 490,01 €
24	2 132 348,51 €	74 492,07 €	11 658 982,07 €
25	2 133 948,51 €	64 824,31 €	11 723 806,39 €

Tabela C. 3. Cálculo de investimento a 25 anos - Cenário 3.

Período (ano)	Fluxo de caixa	Valor presente	Valor presente acumulado
0	-2 070 000,00 €	-2 070 000,00 €	-2 070 000,00 €
1	2 126 382,37 €	1 849 028,15 €	-220 971,85 €
2	2 126 382,37 €	1 607 850,56 €	1 386 878,71 €
3	2 126 382,37 €	1 398 130,92 €	2 785 009,64 €
4	2 126 382,37 €	1 215 766,02 €	4 000 775,66 €
5	2 126 382,37 €	1 057 187,84 €	5 057 963,50 €
6	2 126 382,37 €	919 293,78 €	5 977 257,28 €
7	2 126 382,37 €	799 385,89 €	6 776 643,17 €
8	2 126 382,37 €	695 118,17 €	7 471 761,34 €
9	2 126 382,37 €	604 450,58 €	8 076 211,92 €
10	2 126 382,37 €	525 609,20 €	8 601 821,12 €
11	2 126 382,37 €	457 051,48 €	9 058 872,60 €
12	2 125 582,37 €	397 286,54 €	9 456 159,15 €
13	2 126 382,37 €	345 596,58 €	9 801 755,73 €
14	2 126 382,37 €	300 518,77 €	10 102 274,49 €
15	2 126 382,37 €	261 320,67 €	10 363 595,16 €
16	2 126 382,37 €	227 235,36 €	10 590 830,52 €
17	2 126 382,37 €	197 595,97 €	10 788 426,49 €
18	2 126 382,37 €	171 822,58 €	10 960 249,07 €
19	2 126 382,37 €	149 410,94 €	11 109 660,01 €
20	2 126 382,37 €	129 922,56 €	11 239 582,57 €
21	2 126 382,37 €	112 976,14 €	11 352 558,70 €
22	2 126 382,37 €	98 240,12 €	11 450 798,82 €
23	2 126 382,37 €	85 426,19 €	11 536 225,01 €
24	2 125 582,37 €	74 255,70 €	11 610 480,70 €
25	2 126 382,37 €	64 594,47 €	11 675 075,18 €

Tabela C. 4. Cálculo de investimento a 25 anos - Cenário 4.

Período (ano)	Fluxo de caixa	Valor presente	Valor presente acumulado
0	-2 000 000,00 €	-2 000 000,00 €	-2 000 000,00 €
1	3 232 096,34 €	2 810 518,55 €	810 518,55 €
2	3 232 910,54 €	2 444 544,83 €	3 255 063,38 €
3	3 232 910,54 €	2 125 691,16 €	5 380 754,54 €
4	3 232 910,54 €	1 848 427,09 €	7 229 181,63 €
5	3 232 910,54 €	1 607 327,91 €	8 836 509,54 €
6	3 232 910,54 €	1 397 676,44 €	10 234 185,98 €
7	3 232 910,54 €	1 215 370,82 €	11 449 556,80 €
8	3 232 910,54 €	1 056 844,19 €	12 506 400,99 €
9	3 232 910,54 €	918 994,95 €	13 425 395,93 €
10	3 232 910,54 €	799 126,04 €	14 224 521,97 €
11	3 232 910,54 €	694 892,21 €	14 919 414,18 €
12	3 231 296,34 €	603 952,39 €	15 523 366,57 €
13	3 232 910,54 €	525 438,34 €	16 048 804,92 €
14	3 232 910,54 €	456 902,91 €	16 505 707,83 €
15	3 232 910,54 €	397 306,88 €	16 903 014,70 €
16	3 232 910,54 €	345 484,24 €	17 248 498,94 €
17	3 232 910,54 €	300 421,08 €	17 548 920,02 €
18	3 232 910,54 €	261 235,72 €	17 810 155,74 €
19	3 232 910,54 €	227 161,50 €	18 037 317,24 €
20	3 232 910,54 €	197 531,74 €	18 234 848,97 €
21	3 232 910,54 €	171 766,73 €	18 406 615,70 €
22	3 232 910,54 €	149 362,37 €	18 555 978,07 €
23	3 232 910,54 €	129 880,32 €	18 685 858,39 €
24	3 231 296,34 €	112 883,02 €	18 798 741,41 €
25	3 232 910,54 €	98 208,18 €	18 896 949,60 €

Tabela C. 5. Cálculo de investimento a 25 anos - Cenário 5.

Período (ano)	Fluxo de caixa	Valor presente	Valor presente acumulado
0	-2 140 000,00 €	-2 140 000,00 €	-2 140 000,00 €
1	1 011 855,16 €	879 874,05 €	-1 260 125,95 €
2	1 011 855,16 €	765 107,87 €	-495 018,07 €
3	1 011 855,16 €	665 311,19 €	170 293,12 €
4	1 011 855,16 €	578 531,47 €	748 824,59 €
5	1 011 855,16 €	503 070,85 €	1 251 895,44 €
6	1 011 855,16 €	437 452,91 €	1 689 348,35 €
7	1 011 855,16 €	380 393,83 €	2 069 742,18 €
8	1 011 855,16 €	330 777,25 €	2 400 519,43 €
9	1 011 855,16 €	287 632,39 €	2 688 151,82 €
10	1 011 855,16 €	250 115,12 €	2 938 266,94 €
11	1 011 855,16 €	217 491,41 €	3 155 758,35 €
12	1 010 255,16 €	188 823,91 €	3 344 582,26 €
13	1 011 855,16 €	164 454,75 €	3 509 037,01 €
14	1 011 855,16 €	143 004,13 €	3 652 041,14 €
15	1 011 855,16 €	124 351,42 €	3 776 392,56 €
16	1 011 855,16 €	108 131,67 €	3 884 524,23 €
17	1 011 855,16 €	94 027,54 €	3 978 551,77 €
18	1 011 855,16 €	81 763,08 €	4 060 314,85 €
19	1 011 855,16 €	71 098,33 €	4 131 413,17 €
20	1 011 855,16 €	61 824,63 €	4 193 237,81 €
21	1 011 855,16 €	53 760,55 €	4 246 998,36 €
22	1 011 855,16 €	46 748,30 €	4 293 746,66 €
23	1 011 855,16 €	40 650,70 €	4 334 397,36 €
24	1 010 255,16 €	35 292,54 €	4 369 689,90 €
25	1 011 855,16 €	30 737,77 €	4 400 427,67 €

Tabela C. 6. Cálculo de investimento a 25 anos - Cenário 6.

Período (ano)	Fluxo de caixa	Valor presente	Valor presente acumulado
0	-2 000 000,00 €	-2 000 000,00 €	-2 000 000,00 €
1	1 009 308,75 €	877 659,78 €	-1 122 340,22 €
2	1 009 308,75 €	763 182,42 €	-359 157,80 €
3	1 009 308,75 €	663 636,89 €	304 479,09 €
4	1 009 308,75 €	577 075,55 €	881 554,64 €
5	1 009 308,75 €	501 804,83 €	1 383 359,47 €
6	1 009 308,75 €	436 352,03 €	1 819 711,50 €
7	1 009 308,75 €	379 436,54 €	2 199 148,04 €
8	1 009 308,75 €	329 944,82 €	2 529 092,86 €
9	1 009 308,75 €	286 908,54 €	2 816 001,40 €
10	1 009 308,75 €	249 485,69 €	3 065 487,09 €
11	1 009 308,75 €	216 944,08 €	3 282 431,17 €
12	1 008 508,75 €	188 497,50 €	3 470 928,66 €
13	1 009 308,75 €	164 040,89 €	3 634 969,55 €
14	1 009 308,75 €	142 644,25 €	3 777 613,80 €
15	1 009 308,75 €	124 038,48 €	3 901 652,28 €
16	1 009 308,75 €	107 859,55 €	4 009 511,83 €
17	1 009 308,75 €	93 790,91 €	4 103 302,74 €
18	1 009 308,75 €	81 557,31 €	4 184 860,05 €
19	1 009 308,75 €	70 919,40 €	4 255 779,46 €
20	1 009 308,75 €	61 669,05 €	4 317 448,50 €
21	1 009 308,75 €	53 625,26 €	4 371 073,76 €
22	1 009 308,75 €	46 630,66 €	4 417 704,42 €
23	1 009 308,75 €	40 548,40 €	4 458 252,82 €
24	1 008 508,75 €	35 231,53 €	4 493 484,35 €
25	1 009 308,75 €	30 660,42 €	4 524 144,76 €

Tabela C. 7. Cálculo de investimento a 25 anos - Cenário 7.

Período (ano)	Fluxo de caixa	Valor presente	Valor presente acumulado
0	-2 140 000,00 €	-2 140 000,00 €	-2 140 000,00 €
1	2 143 294,54 €	1 863 734,39 €	-276 265,61 €
2	2 143 294,54 €	1 620 638,60 €	1 344 372,98 €
3	2 143 294,54 €	1 409 250,95 €	2 753 623,94 €
4	2 143 294,54 €	1 225 435,61 €	3 979 059,55 €
5	2 143 294,54 €	1 065 596,18 €	5 044 655,73 €
6	2 143 294,54 €	926 605,38 €	5 971 261,11 €
7	2 143 294,54 €	805 743,81 €	6 777 004,92 €
8	2 143 294,54 €	700 646,79 €	7 477 651,70 €
9	2 143 294,54 €	609 258,08 €	8 086 909,78 €
10	2 143 294,54 €	529 789,63 €	8 616 699,41 €
11	2 143 294,54 €	460 686,64 €	9 077 386,05 €
12	2 141 694,54 €	400 298,02 €	9 477 684,07 €
13	2 143 294,54 €	348 345,28 €	9 826 029,36 €
14	2 143 294,54 €	302 908,94 €	10 128 938,30 €
15	2 143 294,54 €	263 399,08 €	10 392 337,38 €
16	2 143 294,54 €	229 042,68 €	10 621 380,06 €
17	2 143 294,54 €	199 167,55 €	10 820 547,60 €
18	2 143 294,54 €	173 189,17 €	10 993 736,77 €
19	2 143 294,54 €	150 599,28 €	11 144 336,05 €
20	2 143 294,54 €	130 955,89 €	11 275 291,95 €
21	2 143 294,54 €	113 874,69 €	11 389 166,64 €
22	2 143 294,54 €	99 021,47 €	11 488 188,11 €
23	2 143 294,54 €	86 105,63 €	11 574 293,73 €
24	2 141 694,54 €	74 818,56 €	11 649 112,30 €
25	2 143 294,54 €	65 108,22 €	11 714 220,52 €

Tabela C. 8. Cálculo de investimento a 25 anos - Cenário 8 (a 1 mês).

Período (ano)	Fluxo de caixa	Valor presente	Valor presente acumulado
0	-2 000 000,00 €	-2 000 000,00 €	-2 000 000,00 €
1	176 256,04 €	153 266,12 €	-1 846 733,88 €
2	174 049,43 €	131 606,38 €	-1 715 127,50 €
3	174 049,43 €	114 440,33 €	-1 600 687,18 €
4	174 049,43 €	99 513,33 €	-1 501 173,85 €
5	174 049,43 €	86 533,33 €	-1 414 640,52 €
6	174 049,43 €	75 246,37 €	-1 339 394,15 €
7	174 049,43 €	65 431,63 €	-1 273 962,52 €
8	174 049,43 €	56 897,07 €	-1 217 065,45 €
9	174 049,43 €	49 475,71 €	-1 167 589,74 €
10	174 049,43 €	43 022,36 €	-1 124 567,38 €
11	174 049,43 €	37 410,75 €	-1 087 156,63 €
12	173 249,43 €	32 381,56 €	-1 054 775,07 €
13	174 049,43 €	28 287,90 €	-1 026 487,18 €
14	174 049,43 €	24 598,17 €	-1 001 889,00 €
15	174 049,43 €	21 389,72 €	-980 499,29 €
16	174 049,43 €	18 599,75 €	-961 899,54 €
17	174 049,43 €	16 173,70 €	-945 725,84 €
18	174 049,43 €	14 064,09 €	-931 661,75 €
19	174 049,43 €	12 229,64 €	-919 432,11 €
20	174 049,43 €	10 634,47 €	-908 797,64 €
21	174 049,43 €	9 247,36 €	-899 550,28 €
22	174 049,43 €	8 041,19 €	-891 509,09 €
23	174 049,43 €	6 992,34 €	-884 516,76 €
24	173 249,43 €	6 052,34 €	-878 464,41 €
25	174 049,43 €	5 287,21 €	-873 177,20 €

Tabela C. 9. Cálculo de investimento a 25 anos - Cenário 8 (a 3 meses).

Período (ano)	Fluxo de caixa	Valor presente	Valor presente acumulado
0	-2 000 000,00 €	-2 000 000,00 €	-2 000 000,00 €
1	529 093,41 €	529 093,41 €	-1 470 906,59 €
2	522 473,60 €	522 473,60 €	-948 432,99 €
3	522 473,60 €	522 473,60 €	-425 959,40 €
4	522 473,60 €	522 473,60 €	96 514,20 €
5	522 473,60 €	522 473,60 €	618 987,79 €
6	522 473,60 €	522 473,60 €	1 141 461,39 €
7	522 473,60 €	522 473,60 €	1 663 934,98 €
8	522 473,60 €	522 473,60 €	2 186 408,58 €
9	522 473,60 €	522 473,60 €	2 708 882,17 €
10	522 473,60 €	522 473,60 €	3 231 355,77 €
11	522 473,60 €	522 473,60 €	3 753 829,36 €
12	521 673,60 €	521 673,60 €	4 275 502,96 €
13	522 473,60 €	522 473,60 €	4 797 976,55 €
14	522 473,60 €	522 473,60 €	5 320 450,15 €
15	522 473,60 €	522 473,60 €	5 842 923,75 €
16	522 473,60 €	522 473,60 €	6 365 397,34 €
17	522 473,60 €	522 473,60 €	6 887 870,94 €
18	522 473,60 €	522 473,60 €	7 410 344,53 €
19	522 473,60 €	522 473,60 €	7 932 818,13 €
20	522 473,60 €	522 473,60 €	8 455 291,72 €
21	522 473,60 €	522 473,60 €	8 977 765,32 €
22	522 473,60 €	522 473,60 €	9 500 238,91 €
23	522 473,60 €	522 473,60 €	10 022 712,51 €
24	521 673,60 €	521 673,60 €	10 544 386,10 €
25	522 473,60 €	522 473,60 €	11 066 859,70 €

Tabela C. 10. Cálculo de investimento a 25 anos - Cenário 9.

Período (ano)	Fluxo de caixa	Valor presente	Valor presente acumulado
0	-2 000 000,00 €	-2 000 000,00 €	-2 000 000,00 €
1	1 957 209,34 €	1 701 921,17 €	-298 078,83 €
2	1 957 209,34 €	1 479 931,45 €	1 181 852,62 €
3	1 957 209,34 €	1 286 896,91 €	2 468 749,53 €
4	1 957 209,34 €	1 119 040,79 €	3 587 790,33 €
5	1 957 209,34 €	973 078,95 €	4 560 869,28 €
6	1 957 209,34 €	846 155,61 €	5 407 024,89 €
7	1 957 209,34 €	735 787,49 €	6 142 812,38 €
8	1 957 209,34 €	639 815,21 €	6 782 627,58 €
9	1 957 209,34 €	556 361,05 €	7 338 988,63 €
10	1 957 209,34 €	483 792,22 €	7 822 780,85 €
11	1 957 209,34 €	420 688,88 €	8 243 469,73 €
12	1 956 409,34 €	365 666,90 €	8 609 136,63 €
13	1 957 209,34 €	318 101,24 €	8 927 237,86 €
14	1 957 209,34 €	276 609,77 €	9 203 847,63 €
15	1 957 209,34 €	240 530,23 €	9 444 377,87 €
16	1 957 209,34 €	209 156,73 €	9 653 534,60 €
17	1 957 209,34 €	181 875,41 €	9 835 410,01 €
18	1 957 209,34 €	158 152,53 €	9 993 562,54 €
19	1 957 209,34 €	137 523,94 €	10 131 086,49 €
20	1 957 209,34 €	119 586,04 €	10 250 672,52 €
21	1 957 209,34 €	103 987,86 €	10 354 660,38 €
22	1 957 209,34 €	90 424,22 €	10 445 084,60 €
23	1 957 209,34 €	78 629,76 €	10 523 714,37 €
24	1 956 409,34 €	68 345,76 €	10 592 060,12 €
25	1 957 209,34 €	59 455,40 €	10 651 515,52 €